

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

GÉSSICA KATALYNE BILCATI

**PRODUÇÃO DE PAINÉIS DE CIMENTO PORTLAND REFORÇADOS COM FIBRA
DE CURAUÁ (*Ananas erectifolius*)**

DISSERTAÇÃO

CURITIBA
2015

GÉSSICA KATALYNE BILCATI

**PRODUÇÃO DE PAINÉIS DE CIMENTO PORTLAND REFORÇADOS COM FIBRA
DE CURAUÁ (*Ananas erectifolius*)**

Dissertação de mestrado apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná para
obtenção do título de “Mestre em Construção
Civil” - Área de concentração: Materiais e
Componentes de Construção

Orientador: Adalberto Matoski, Dr. Eng.

Co-Orientadora: Rosilani Trianoski, Dr. Eng.

CURITIBA

2015

Dedico este trabalho aos meus pais, minha irmã, meus familiares e amigos, que têm sido a grande razão e incentivo de aperfeiçoamento técnico. Minha dívida com vocês é inesgotável.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho não é simplesmente mais um estudo realizado com objetivos, métodos e busca por uma contribuição científica. Ele também incorpora um aprendizado intenso, esse aprendizado e crescimento só foram possíveis pelo apoio recebido ao longo do desenvolvimento do trabalho.

Agradeço a Deus, primeiramente, pai misericordioso, que sempre está ao meu lado, que iluminou meu caminho, me protegendo e guiando meus passos e toda minha trajetória.

Dedico este trabalho em memória, ao meu amado pai, Edson Bilcati, que foi fonte de inspiração de todo meu trabalho, é o responsável por todas minhas conquistas, minha educação e que me incentivou a conquistar todos meus objetivos.

A Silvana do Carmo Vieira Bilcati, minha admirável mãe, pela paciência, compreensão, pelas palavras amigas, por seu apoio, por seu grande amor e carinho, que meu deu estrutura para me tornar a pessoa que sou hoje.

A Tatiane Bilcati, minha querida irmã, pela parceria com que me acompanhou em toda essa longa jornada, estando sempre ao meu lado, me ajudando em todos os momentos, sendo uma grande amiga e companheira.

Aos professores, Rosilani Trianoski e Adalberto Matoski, meus orientadores, pela compreensão e ajuda no desenvolvimento deste trabalho, me dando força, principalmente nos momentos de desânimo.

Aos amigos, tão queridos, agradeço pela companhia, carinho e momentos de descontração vividos a cada dia, que me ajudou a superar os dias difíceis.

RESUMO

O presente trabalho trata do estudo referente ao desempenho da fibra vegetal amazônica curauá (*Ananas erectifolius*) aplicada no processo de produção dos painéis de cimento portland, analisando a compatibilidade, os tratamentos realizados nas fibras de curauá, visando à melhoria das propriedades físicas e mecânicas dos painéis. A metodologia deste trabalho foi desenvolvida a partir da produção dos painéis cimento portland reforçados com fibras de curauá, variando os teores e os tipos de tratamentos realizados nas fibras vegetais, sendo realizados ensaios de caracterização da fibra para posteriormente justificar o comportamento da mesma nos painéis. O resultado obtido no ensaio de inibição classificou a fibra de curauá sem tratamento como alta inibição, verificando a necessidade de se fazer tratamentos para sua aplicação. Os tratamentos realizados nas fibras de curauá influenciaram positivamente, tanto na compatibilidade entre o cimento e a fibra de curauá como no grau de cristalinidade da fibra de curauá. Para a produção dos painéis os tratamentos realizados não tiveram influência nas propriedades mecânicas.

Palavras-chave: Painéis, Fibra de Curauá, Cimento Portland

ABSTRACT

The present work addresses the performance of the Amazon vegetal fiber curauá (*Ananas erectifolius*) as applied to the production process of portland cement panels, aimed at the improvement of the physical and mechanical properties of the panels. The methodology of this work was developed from the production of portland cement panels reinforced with curaua fibers, varying of the amounts and the treatments applied to the vegetal fibers, being conducted tests for the fiber characterization to justify at a later stage the behavior of the latter in the panels. The results obtained from the inhibition test classified the curaua fiber without treatment as of high applied to the curaua fibers influenced positively both the compatibility between cement and the curaua fiber and the cristallinity degree of the curaua fiber. For the panels production the applied treatments did not influence on mechanical properties.

Palavras-chave: Panels, Fiber Curauá, Portland Cement

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Tipos de Cimento Portland	24
Tabela 2. Componentes do cimento CPV ARI	25
Tabela 3. Características do cimento CPV ARI	26
Tabela 4. Fonte de Fibras Vegetais	27
Tabela 5. Valores de densidade e propriedades mecânicas de fibras vegetais mais empregadas como reforço em compósitos	32
Tabela 6. Composição química da fibra de curauá	33
Tabela 7. Classificação de materiais lignocelulósicos de acordo com o índice de inibição	41
Tabela 8. Tipos de tratamentos nas fibras ou partículas	43
Tabela 9. Composição da relação ideal dos painéis cimento e madeira.....	47
Tabela 10 Delineamento experimental da composição química da fibra de curauá..	54
Tabela 11. Delineamento experimental para o ensaio de inibição	62
Tabela 12. Exigências físicas e mecânicas do cimento portland CPV ARI	63
Tabela 13. Composição química do cimento portland CPV ARI	64
Tabela 14. Delineamento Experimental dos Painéis cimento/ fibra + madeira.....	65
Tabela 15. Relação das normas e dos ensaios realizados	68
Tabela 16. Teor de extrativos da fibra de curauá	70
Tabela 17. Teores de extrativos totais das fibras e de outras espécies de madeira .	71
Tabela 18. Ensaio obtido da composição química da fibra de curauá	71
Tabela 19. Comparativo da composição química da fibra de curauá, segundo a literatura	73
Tabela 20. Resultados do diâmetro da fibra e espessura da parede	73
Tabela 21. Diâmetro médio de fibras de diferentes espécies.....	74
Tabela 22. Índice de cristalinidade da fibra de curauá e de outras espécies de madeira	75
Tabela 23. Grau de cristalinidade das fibras tratadas e não tratadas	75
Tabela 24. Índice de inibição da fibra de curauá.....	77
Tabela 25. Inibição: tempo, temperatura e taxa de variação máxima	78
Tabela 26. Comparativo da densidade a granel das diferentes espécies de madeira	79

Tabela 27. Resultados obtidos da massa específica absorção de água e inchamento em espessura dos painéis.....	80
Tabela 28. Resultados obtidos do módulo de ruptura e módulo de elasticidade	81
Tabela 29. Resultados obtidos de outros tipos de painéis	83
Tabela 30. Resultados médios da massa específica aparente (12%), absorção de água e inchamento em espessura após 2 e 24 horas de imersão das fibras tratadas e não tratadas	84
Tabela 31. Propriedades físicas dos painéis cimento-madeira de diferentes espécies, segundo a literatura.....	85
Tabela 32. Médias do módulo de ruptura e do módulo de elasticidade à flexão estática.....	86
Tabela 33. MOR e MOE dos painéis cimento-madeira, segundo a literatura.....	86

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Taxa de liberação de calor de uma pasta de cimento portland durante a pega e o período inicial de endurecimento.....	23
Figura 2. Fibra de curauá branco e roxo, respectivamente	28
Figura 3. Plantação de curauá	29
Figura 4. Processo de extração da fibra de curauá.....	30
Figura 5. Tapete feito com fibra de curauá.....	31
Figura 6. Diagrama Tensão vs. Deformação da fibra de Curauá	33
Figura 7. Curva de hidratação do cimento/ madeira.....	39
Figura 8. Painéis cimento-madeira para a construção das casas na UTFPR	45
Figura 9. Casa construída de painéis de cimento-madeira (UTFPR)	49
Figura 10. Processo de produção de painéis cimento–madeira.....	50
Figura 11. Fibras com 4 cm (a) e posteriormente passadas no moinho de facas (b) ..	51
Figura 12. Fibras sem tratamento secas em estufa (a) tratamentos realizados na fibra de curauá, água quente (b), NaOH (c) e secagem ao ar livre (d).....	53
Figura 13. Determinação de lignina.....	55
Figura 14. Ensaio do teor de extrativos em água quente	57
Figura 15. Ensaio do teor de extrativos em NaOH	58
Figura 16. Difratorômetro de raios - x com a fibra de curauá	61
Figura 17. Aparato para o ensaio de inibição	62
Figura 18. Material sendo misturado na betoneira	66
Figura 19. Processo de Montagem dos painéis	67
Figura 20. Ensaio de flexão (a) e ensaio de absorção em água (b)	68
Figura 21. Composição da fibra de curauá	72
Figura 22. Difração das fibras tratadas e não tratadas.....	76
Figura 23. Curva da hidratação dos compósitos com fibra <i>in natura</i> e tratada.....	78
Figura 24. Painéis com 20% de fibra de curauá.....	82
Figura 25. Painéis com 36% de fibra de curauá.....	82

SIGLAS E ABREVIATURAS

AA – Absorção de água

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ASTM – American Society for Testing and Materials

CaCl₂ – Cloreto de cálcio

CPV ARI – Cimento de alta resistência inicial

Cu - Cobre

Et – Extrativos totais

Hol: Holocelulose

IE – Inchamento em espessura

Kv - kilovolt

Lt – Lignina total

mA – miliampere

ME – Massa específica

MPa - Megapascal

MOE- Módulo de elasticidade

MOR – Módulo de ruptura

NaOH – Hidróxido de sódio

Sm – Maior incremento de temperatura em menor tempo

Tm – Temperatura máxima

tm – Tempo máximo

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1 JUSTIFICATIVA	15
1.2 OBJETIVO GERAL	15
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
2. REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1 COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS REFORÇADOS COM FIBRAS VEGETAIS	17
2.2 CIMENTO PORTLAND	21
2.3 ADITIVO QUÍMICO - CLORETO DE CÁLCIO	26
2.4 FIBRA VEGETAL AMAZÔNICA DE CURAUÁ (<i>Ananas erectifolius</i>)	26
2.5 FATORES QUE PODEM AFETAR O DESEMPENHO DE COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS REFORÇADOS COM MATERIAIS LIGNOCELULÓSICOS	34
2.5.1 Cristalinidade	35
2.5.2 Incompatibilidade química entre as fibras vegetais e a matriz cimentícia	36
2.6 DENSIDADE A GRANEL	41
2.7 TRATAMENTOS QUÍMICOS REALIZADOS EM MATERIAIS LIGNOCELULÓSICOS	42
2.8 PAINÉIS CIMENTO – MATERIAL LIGNOCELULÓSICO	44
3. MATERIAIS E MÉTODOS	51
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA FIBRA DE CURAUÁ	51
3.1.1. Tratamentos realizados na fibra de curauá	52
3.1.2. Composição química da fibra de curauá	53
3.1.3 Espessura da parede e diâmetro médio da fibra de curauá	60
3.1.4 Índice de cristalinidade	60
3.1.5 Ensaio de Inibição	61

3.1.6 Densidade a granel	63
3.2 CIMENTO PORTLAND	63
3.3 ADIÇÃO DE CLORETO DE CÁLCIO	64
3.4 CARACTERIZAÇÃO DOS PAINÉIS DE CIMENTO PORTLAND REFORÇADOS COM FIBRA DE CURAUÁ	64
3.4.1 Variação da porcentagem das fibras de curauá	64
3.4.2 Efeito dos tratamentos realizados na fibra de curauá	65
3.4.3 Confeção dos painéis de cimento-madeira reforçados com fibra de Curauá ..	65
3.4.4 Caracterização físico-mecânica dos painéis	67
3.5 Análise estatística	68
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	70
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA FIBRA DE CURAUÁ	70
4.1.1 Composição química da fibra de curauá	70
4.1.2 Determinação da holocelulose, lignina, extrativos totais e cinzas da fibra	72
4.2.1 Influência da cristalinidade quando realizados tratamentos nas fibras de curauá	74
4.2.2 Índice de Inibição	76
4.2.3 Densidade a Granel	79
4.3 CARACTERIZAÇÃO DOS PAINÉIS DE CIMENTO PORTLAND REFORÇADOS COM FIBRA DE CURAUÁ	79
4.3.1 Variação da porcentagem das fibras de curauá	80
4.3.2 Efeito dos tratamentos na fibra de curauá	83
5. CONCLUSÕES	88
6. REFERÊNCIAS	89

1. INTRODUÇÃO

Sendo o Brasil um país com tendência à produção agrícola devido as suas características de solo, clima e dimensões continentais (MANZATTO, FREITAS e PERES, 2002), verifica-se a expressiva ocorrência de resíduos agro-industriais. O crescente volume de resíduos tem impulsionado a busca por novas alternativas de produtos visando à aplicação de compósitos para a construção civil, que apesar do grande potencial de aproveitamento, sua utilização em escala comercial é bastante reduzida (CASSILHA *et al.*, 2011).

Os resíduos gerados pela agroindústria brasileira, como fibras vegetais, produzem matéria-prima que podem ser utilizada para produção de componentes construtivos, uma vez que estas fibras vegetais utilizadas como reforço têm despertado muito interesse, devido sua grande disponibilidade na natureza, economia de energia e consequentemente seu pequeno custo, sendo uma importante estratégia para o reaproveitamento desse resíduo (SAVASTANO Jr. e SANTOS, 2008).

As fibras vegetais tornam-se uma ótima opção como material de construção, sendo um recurso, a fim de minimizar os efeitos da poluição nos principais processos produtivos, pois possui baixa densidade e alta resistência (ALMEIDA, FILHO e FILHO, 2010).

Materiais compósitos reforçados com fibras de celulose extraídas de madeira e plantas são alternativas de uma nova e promissora classe de produtos da construção civil, por serem materiais ecologicamente corretos e oferecem um adequado desempenho técnico (MADEN e GAMSTEDT, 2013).

O uso de fibras vegetais como reforço em compósitos cimentícios tem por finalidade a substituição total ou parcialmente das fibras sintéticas, como o amianto, devido sua recente restrição de utilização (CARVALHO, 2006). Porém, a maioria das pesquisas desenvolvidas com compósitos reforçados com fibras vegetais tem apresentado resultados desanimadores no que se refere à durabilidade do material (SAVASTANO Jr., 2000).

Dentre as fibras vegetais mais promissoras disponíveis destaca-se o curauá (*Ananas erectifolius*), conhecido na Amazônia, no Norte do Brasil, tendo custo

semelhante a outras fibras vegetais, vantagem quanto ao seu desempenho, quando comparadas às fibras de coco, sisal e juta (ORNAGHI Jr. *et al.*, 2011). Pesquisas têm comprovado o grande potencial dessa planta como produtora de fibra de alta qualidade, podendo ser utilizada em empresas automobilísticas, na construção civil, entre outros, devido à sua resistência, maciez e peso reduzido (COSTA, LAMEIRA e YOSHINO, 2002).

Um fator preocupante quanto à viabilidade de utilização de fibras vegetais para confecção de compósitos cimentícios se caracteriza pela incompatibilidade química entre a matriz cimentícia e as fibras vegetais, devido ao elevado teor de extrativos presentes nas fibras vegetais, podendo haver um grande retardamento ou até mesmo, o impedimento total do processo de pega do cimento (MACEDO, SOUZA e NETO, 2012).

Os compósitos cimentícios reforçados com fibras vegetais são materiais de construção relativamente novos, ainda não totalmente estudados, não apresentando normas específicas para verificação da durabilidade desses materiais, sendo necessário o conhecimento da estrutura interna das fibras vegetais e de sua composição química para posterior compreensão da influência nas características mecânicas do compósito, verificando sua compatibilidade, bem como escolher adequadamente os possíveis tratamentos químicos e físicos dessas fibras. (LOPES *et al.*, 2010).

Tem-se realizado tratamentos químicos em materiais lignocelulósicos com a finalidade de retirar os extrativos, que são responsáveis pelo retardamento do tempo de pega e posteriormente pela falta de endurecimento dos compósitos, comprometendo a durabilidade do material. A procura por novas espécies e de tratamentos adequados tem sido o foco de pesquisas no intuito de minimizar os efeitos indesejáveis na produção de painéis de cimento-madeira (POMARICO, 2013).

O emprego das fibras vegetais juntamente com o cimento, pode ser empregado em diversos setores na construção civil, como na produção de telhas de cobertura, painéis de cimento-madeira e componentes pré-fabricados no qual pode representar significativa contribuição para o rápido crescimento da infra-estrutura dos países em desenvolvimento (SAVASTANO JR. e SANTOS, 2008).

Os painéis de cimento-madeira possuem grande relevância devido ao seu baixo custo e à sua fácil confecção, visto que, utilizam em sua composição, resíduos

abundantes da indústria madeireira, caracterizando-se como uma alternativa bastante viável (FERRAZ, 2011).

1.1 JUSTIFICATIVA

Tendo em vista a ampla diversidade de fibras vegetais empregadas como reforço em compósitos cimentícios, como painéis de cimento portland, torna-se imprescindível o estudo mediante a caracterização das fibras vegetais e dos compósitos formados para melhor aplicá-los, bem como avaliar o desempenho para a melhoria dos elementos de construção.

As fibras vegetais têm disponibilidade em abundância na natureza e têm sua utilização motivada por ser um material renovável, biodegradável e muitas vezes esses resíduos possibilitam a produção de painéis viáveis economicamente. No entanto, é necessário considerar a possibilidade de deterioração e redução de vida útil do compósito, devido à incompatibilidade química entre os materiais lignocelulósicos e o cimento portland. Segundo Beraldo *et al.* (1998) a incompatibilidade química entre materiais lignocelulósicos e o cimento é um dos maiores obstáculos para o desenvolvimento comercial da indústria de compósitos à base de aglomerantes minerais.

A utilização de painéis cimento-madeira tem razões para uma boa aceitação que, entre outros fatores, apresentam algumas propriedades tais como: resistência ao ataque de fungos e cupins, bom isolante térmico e acústico, virtualmente incombustível e de fácil trabalhabilidade (POMARICO, 2013).

1.2 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é caracterizar e avaliar o desempenho da fibra de curauá na produção de painéis de cimento portland.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para alcançar o objetivo geral, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Caracterizar as propriedades físicas e mecânicas da fibra de curauá;
- Avaliar a compatibilidade entre a fibra de curauá e a matriz cimentícia;
- Avaliar o efeito de tratamentos químicos sobre a compatibilidade entre a fibra de curauá e o cimento portland;
- Avaliar as propriedades físicas e mecânicas dos painéis de cimento portland reforçados com fibra de curauá, de acordo com a variação do teor e o efeito dos tratamentos realizados nas fibras.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS REFORÇADOS COM FIBRAS VEGETAIS

Segundo Callister (2009), do ponto de vista tecnológico, os compósitos mais importantes são aqueles em que a fase dispersa está na forma de fibra. Sendo assim os compósitos reforçados com fibras são importantes devido à alta resistência ao impacto, tração e a rigidez em relação ao peso.

2.1.1 Histórico

O emprego de fibras vegetais como reforço em matrizes é uma denominação bem antiga, sendo usadas por muitos anos pela humanidade, tendo relatos de seu uso a mais de sete mil anos na Pérsia (MACÊDO, SOUZA e NETO, 2012; SILVA, GHAVAMI e ALMEIDA, 2004).

O uso das fibras vegetais como reforço de aglomerantes minerais vem desde o renascimento, sendo conhecida há décadas, porém seu emprego em escala industrial não é significativo no Brasil, mesmo com grande número de pesquisas apontando sua viabilidade, sendo uma das causas os custos para adaptação do processo produtivo. A estimativa da produção mundial de compósitos cimentícios com reforço de fibras vegetais, combinadas ou não com fibras, é de 1,4 milhões de toneladas ao ano, produção essa localizada, em grande parte, nos EUA, Europa, Oceania, Ásia e África do Sul (BERALDO, CHEN e AZZINI, 2003; SAVASTANO Jr., 2000).

2.1.2 Propriedades e principais fatores que influenciam o desempenho do produto

O emprego vantajoso de fibras vegetais depende de suas propriedades estruturais e mecânicas, que são geralmente influenciadas pelo local de origem, condições climáticas, idade das plantas e dos métodos de extração que são usados (KABIR, LAU e CARDONA, 2012).

As fibras vegetais empregadas como reforço dos compósitos devem ser facilmente dispersas na mistura, ter boas propriedades mecânicas e possuir uma configuração geométrica apropriada (WANG, WU e LI, 2000).

O uso fibras vegetais, como reforço, tem a possibilidade de proporcionar às matrizes cimentícias maior resistência causada por maior absorção de energia frente a esforços dinâmicos, possibilidade de trabalho no estágio pós-fissurado, no qual seu comportamento é alterado, ao invés de romper subitamente após o início da fissuração da matriz pode apresentar uma deformação plástica considerável, que pode torná-lo um material adequado para a construção civil (SOARES, 2012; SILVA, GHAVAMI e ALMEIDA, 2003; BERALDO e VIEIRA, 2003).

A finalidade do emprego de fibras vegetais é melhorar as propriedades de um material de construção, basicamente as mecânicas. A grande vantagem da fibra como reforço de um material frágil é o comportamento do material compósito após rompimento, a tenacidade e a resistência à tração que as fibras vegetais proporcionam. Elas diminuem a fissuração da matriz e viabilizam esses compósitos como material de construção (AGOPYAN, SAVASTANO Jr. e JHON, 2005; LOPES, 2010).

Em matrizes frágeis reforçadas com fibras, no qual o arrancamento da fibra prevalece sobre a ruptura, sendo a interface fibra/matriz o principal elemento de influência sobre a energia total absorvida do compósito (SAVASTANO Jr., 2000).

A adição de fibras vegetais em argamassas e concretos tem como finalidade de melhorar as propriedades desses materiais quando submetidos a esforços mecânicos, entretanto deve haver estabilidade e aderência das fibras no interior da matriz cimentícia para que seja garantida a durabilidade desses compósitos (BETIOLI, 2003).

A aderência fibra /matriz em compósitos cimentícios é conseguida através do melhor desempenho na zona de transição, fazendo com que as fases da fibra e da matriz trabalhem em conjunto, sendo que a melhor adesão se consegue com a

diminuição da porosidade e pela menor concentração de cristais de hidróxido de cálcio nas proximidades da fibra (SAVASTANO Jr., 2000).

As fibras vegetais geralmente melhoram as propriedades de compósitos cimentícios endurecidos, esse aumento depende do teor, do fator da forma e das propriedades mecânicas das fibras (BERNARDI, 2003). Outra propriedade importante a ser considerada é a avaliação da durabilidade, considerando que os materiais para construção civil, a ser utilizados em uma habitação, é um bem adquirido de grande valor, devendo apresentar uma vida longa (SAVASTANO Jr., 2000).

O comportamento de compósitos reforçados com fibras vegetais depende, geralmente, da relação entre a fibra e a matriz e a capacidade de transferência de tensão da matriz para a fibra, sendo que a eficiência dessa transferência tem um papel importante na determinação das propriedades mecânicas do composto (FERRAZ, 2011).

A produção de materiais lignocelulósicos, permite melhor aproveitamento da madeira, sendo assim, a confecção de produtos reconstituídos de madeira tem possibilidade de agregar valor a materiais de baixa aceitação como madeiras de desbastes e resíduos do processamento madeireiro (SÁ *et al.*, 2010).

2.1.3 Emprego na construção civil

As fibras derivadas da madeira, as fibras vegetais, são materiais usados como reforço de um ligante inorgânico comum: o cimento portland, sendo essa mistura conhecida como compósito (WEI e TOMITA, 2001).

Estudos têm confirmado que fibras vegetais derivadas a partir de resíduos provenientes da madeira são adequadas para reforço de concreto, tendo como vantagens o uso de tais fibras recicladas, incluem geralmente um custo mais reduzido no seu processamento quando comparadas a fibras virgens e a eliminação da necessidade de destinação de resíduos (WANG, WU e LI, 2000).

Segundo Macêdo, Souza e Neto (2012) a crescente necessidade de utilização de resíduos têm levado a indústria à busca de novas alternativas de materiais, como é o caso do uso das fibras vegetais, que vem despertando um maior

interesse em alguns países como uma boa opção, no qual viabiliza construções de baixo custo, por grande sua disponibilidade (MACÊDO, SOUZA e NETO, 2012; BERALDO, CHEN e AZZINI, 2003; SILVA, 2002).

Alguns países em desenvolvimento não têm reservas florestais para atender a demanda para a fabricação de lenha, madeira industrial, madeira serrada, componentes de construção à base de madeira, porém possuem quantidades significativas de outros materiais lignocelulósicos, como fibras vegetais, disponíveis sob a forma de resíduos agrícolas, que vem sendo utilizados com sucesso para produzir painéis e outros componentes de construção (YOUNGQUIST *et al.*, 1996).

A utilização de materiais de construção civil à base de cimento reforçado com fibras vegetais tem aumentado nos últimos anos, sendo que em países em desenvolvimento, como o Brasil, há uma elevada oferta de suprimento de fibras naturais, uma alternativa para aplicação desses materiais em construções, habitações e edificações, podendo acelerar as obras com o desempenho adequado (BERALDO, CHE e AZZINI, 2003; BERALDO e VIEIRA, 2003).

O emprego de fibras vegetais em concreto proporciona para a construção civil, inúmeras vantagens uma vez que é um investimento barato, requer baixo grau de industrialização para seu processamento, e em comparação com o peso equivalente das fibras sintéticas mais comuns, a energia necessária para sua produção é reduzida (FILHO *et al.*, 2003).

A importância do reforço de fibras vegetais em matrizes frágeis como pasta de cimento, argamassa ou concreto é melhorar as propriedades de um material de construção, caso contrário seria inviável buscar novas alternativas de materiais (AGOPYAN, SAVASTANO Jr. e JOHN, 2005).

Muitas fibras vegetais têm sido estudadas para a substituição da fibra de amianto, sendo esta ainda é muito utilizada na construção civil (MOTTA, AGOPYAN e JOHN, 2007; SILVA, 2002). As fibras vegetais são economicamente e ambientalmente mais viáveis quando comparadas as fibras de amianto e têm sido empregadas na produção de telhas de fibrocimento (SAVASTANO Jr. e SANTOS, 2008).

Devido às grandes vantagens que as fibras vegetais apresentam como alta resistência e baixo custo, estão substituindo parcialmente as fibras sintéticas que, apesar de possuírem boas características mecânicas, apresentam alto custo, são abrasivas aos equipamentos de processamento, possuem alta densidade, geram

produtos com um custo muito alto de reciclagem, além de algumas dessas fibras comprometerem a saúde humana (MACÊDO, SOUZA e NETO, 2012; SÁ *et al.*, 2010; MOTHÉ e ARAÚJO, 2004).

Estudos têm sido relatados sobre a produção de componentes construtivos utilizando matrizes à base de cimento reforçado com fibras vegetais, tendo o ramo da construção civil um grande potencial produzindo painéis de vedação vertical, blocos, telhas e pias de cozinha (CORREIA, 2011; GUIMARÃES, 1990 e AGOPYAN, 1991 *apud* VIEIRA, 2008).

As fibras vegetais têm sido empregadas como reforço de peças estruturalmente comprometidas, uma alternativa que tem-se revelado muito viável, pois reúne uma série de conveniências relacionadas com a durabilidade e apresentando um melhor desempenho mecânico que as estruturas de madeiras convencionais (MIOTTO e DIAS, 2006).

A adição de fibras ricas em celulose em matrizes a base de cimento portland é benéfica tanto para indústrias que geram o resíduo quanto para empresas que produzem compósitos (MOSLEMI e MANGALA, 1995).

Compósitos de fibras de madeiras com o cimento portland têm sido utilizados por muitos anos área de materiais de construção, como painéis prensados que garantem o isolamento, paredes e lajes (ZOULALIAN, MOUGEL e BERALDO 1995).

A grande variedade de materiais disponíveis para uso na construção civil é grande e com materiais cada vez mais especializados, sendo as fibras vegetais juntamente com a matriz cimentícia uma caso de particular relevância entre materiais não clássicos, com isso é necessário entender melhor o comportamento desses materiais separadamente, realizando estudos com a fibra e a matriz (PICANÇO e GHAVAMI, 2008).

2.2 CIMENTO PORTLAND

Cimento portland se define como sendo um aglomerante ou aglutinante hidráulico que se apresenta na forma de pó fino, adquirido através da moagem de clínqueres, que são formados essencialmente de silicatos hidráulicos de cálcio, com uma pequena proporção de sulfato de cálcio, podendo eventualmente conter

adições de algumas substâncias que alteram suas propriedades, melhorando seu desempenho (ABCP, 2013; BAUER, 2012; MEHTA, 2008).

O cimento tem a propriedade de reagir quimicamente com a água transformando-se, em princípio, em uma pasta plástica, de fácil modelagem, que endurece com o tempo, ganhando grandes resistências (MEHTA, 2008).

O cimento portland, segundo a ABCP (2013), quando misturado com água, pode ser combinado com outros materiais de construção, como areia, brita e materiais de origem orgânica, como madeira e fibras, sendo que a qualidade e as características dos concretos e das argamassas dependem das propriedades e das combinações dos materiais. Assim o cimento é o componente mais ativo e o grande responsável pela transformação pela aglomeração dos materiais componentes no produto final adequado.

2.2.1 Calor de hidratação do cimento

Uma característica dos aglomerantes minerais, como o cimento portland é que quando em contato com a água ocorre uma reação química liberando calor (reação exotérmica) e formando uma pasta capaz de enrijecer secando naturalmente (IWAKIRI, 2005).

Os resultados dos ensaios do calor de hidratação podem ser utilizados para a caracterização do tempo de pega, posterior endurecimento dos concretos e para prever e mensurar o acréscimo de temperatura (MEHTA, 2008).

O método geralmente utilizado para determinar a hidratação do cimento é do calorímetro (FERRAZ, 2011). A calorimetria isotérmica é um método confiável para averiguar a hidratação do cimento. Essa técnica tem a vantagem de fornecer dados sobre fluxo instantâneo de calor e energia livre global das reações de hidratação (ALBERTO, MOUGEL e ZOULALIAN, 2000).

O calor de hidratação do cimento vem sendo estudado para a verificação da compatibilidade quando misturado a certa espécie arbórea, o ensaio tem a vantagem de fornecer instantaneamente o fluxo de calor livre e o total de energia da reação de hidratação (ALBERTO, MOUGEL e ZOULALIAN, 2000).

Segundo Mehta (2008), o cimento portland possui composto que produz reações a grandes temperaturas devido ao seu estado de não equilíbrio, quando o mesmo passa pelo processo de hidratação ocorre uma reatividade com a água para adquirir baixa energia, e no processo libera energia em forma de calor, o calor de hidratação, conforme mostra a figura 1.

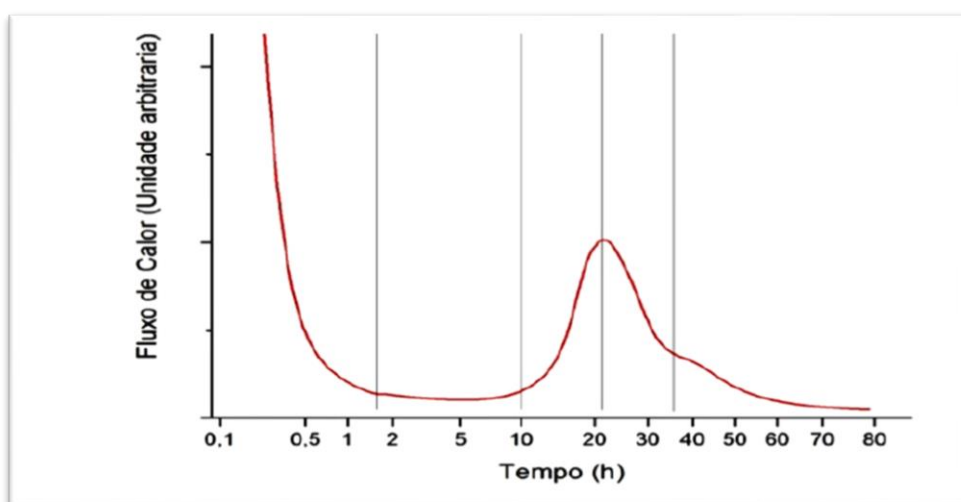


Figura 1. Taxa de liberação de calor de uma pasta de cimento portland durante a pega e o período inicial de endurecimento

Fonte: JOLICOEUR e SIMARD, 1998 *apud* BATISTON, 2012.

2.2.2 Tipos de cimento portland

O mercado nacional oferece variedades de cimento portland que visam atender com o mesmo desempenho as mais variadas construções civis (ABCP, 2013). Os tipos de cimento portland encontrados no mercado são (tabela 1):

Tabela 1. Tipos de Cimento Portland

Tipos de Cimento Portland	
1. Cimento Portland Comum	CPI
Cimento Portland Comum com adição	CPI - S
2. Cimento Portland Composto	CPII
Cimento Portland Composto com Escória	CPII - E
Cimento Portland Composto com Pozolana	CPII - Z
Cimento Portland Composto com Filler	CPII - F
3. Cimento Portland de alto - forno	CPIII
4. Cimento Portland Pozolânico	CPIV
5. Cimento Portland de Alta Resistência Inicial	CPV
6. Cimento Portland Resistente a Sulfato	RS
7. Cimento Portland de Baixo Calor de Hidratação	BC
8. Cimento Portland Branco	CPB

Fonte: ABCP, 2013.

2.2.3 Cimento CPV ARI

O tipo de cimento CPV ARI é o menos empregado em obras, devido a dificuldade de encontrar no mercado brasileiro (POMARICO, 2013), recomendado para a preparação de concreto e argamassa e bastante utilizado na fabricação de blocos pré-moldados, de alvenaria e para pavimentação que requerem altas temperaturas e uma grande velocidade na secagem (ABCP, 2013).

Segundo a NBR 5733 (1991), o cimento portland CPV ARI é um aglutinante hidráulico, adquirido através da moagem de clínquer, constituído em sua maior parte de silicatos de cálcio com propriedades hidráulicas que se adiciona uma ou mais formas de sulfato de cálcio em quantidade necessária, conforme mostra a tabela 2.

Tabela 2. Componentes do cimento CPV ARI

Componentes (% em massa)	
Clínquer + Sulfatos de Cálcio	Material Carbonático
100 - 95	0 - 5

Fonte: NBR 5733, 1991.

Segundo ABCP (2013) o cimento de alta resistência inicial, diferente de outros tipos de cimento, fornece uma resistência mínima de 34 MPa aos 7 dias de idade, sendo que o cimento comum chega a mesma resistência apenas com 28 dias de idade.

Concluiu Bauer *et al.*(2006) que o cimento CPV ARI, para o mesmo fator A/C, apresentou resultados superiores quando comparado a outros tipos de cimentos e uma melhor uniformidade, provavelmente pela maior hidratação nos primeiros dias.

Segundo ABCP (2013), o cimento portland CPV ARI pode ser empregado em obras desde as pequenas construções até as grandes edificações, e em todas as aplicações que necessitem de resistência inicial elevada e desforma rápida.

O cimento portland, quando usado para a confecção de painéis cimento-madeira, tem o papel de agir como aglomerante dando ao material propriedades físico-químicas de resistência e durabilidade (MATOSKI, 2005), formando painéis de qualidade térmica e de melhor desempenho ao ataque de fungos e ao fogo (HOSFSTRAND, MOSLEMI e GARCIA, 1985). Outra vantagem da utilização desse aglutinante, em painéis, é o custo bem reduzido quando comparado a outros aglutinantes usados (MORI *et al.* 2007).

A escolha do cimento para produção de painéis cimento-madeira é de suma importância considerando a incompatibilidade química existente, devendo buscar um tipo de cimento que seja mais adequado, ou menos sensível, à combinação com a matéria-prima vegetal, dessa maneira pode-se usar o cimento aluminoso (pouco disponível no Brasil) ou um cimento de pega rápida, como, por exemplo, o CPV ARI, largamente utilizado na fabricação de pré-moldados (POMARICO, 2013), caracterizados na tabela 3:

Tabela 3. Características do cimento CPV ARI

Determinações Químicas	Limites (% da massa)
Resíduo Insolúvel	1,0
Perda ao fogo (PF)	4,5
Óxido de Magnésio (MgO)	6,5
Trióxido de Enxofre (SO ₃)	
Quando C ₃ A do Clínquer - 8%	3,5
Quando C ₃ A do Clínquer < 8%	4,5
Anidrido Carbônico	3,0

Fonte: NBR 5733, 1991.

2.3 ADITIVO QUÍMICO - CLORETO DE CÁLCIO

Os aditivos químicos são utilizados em painéis com o intuito de diminuir o tempo de pega do cimento, sendo os sais como cloreto de cálcio, cloreto de magnésio, silicato de sódio e silicato de potássio alguns dos aditivos mais usados (IWAKIRI e PRATA, 2008).

O cloreto de cálcio tem sido o produto empregado como aditivo químico acelerador de endurecimento do cimento, sendo muito eficiente para acelerar a hidratação dos silicatos de cálcio, principalmente o C₃S, isso se dá devido a uma reduzida variação da alcalinidade da água dos poros (IWAKIRI e PRATA, 2008; MATOSKI, 2005).

O custo reduzido é uma das grandes vantagens de utilização do aditivo químico cloreto de cálcio que também melhora a resistência à erosão e à abrasão em todas as idades (MATOSKI, 2005).

2.4 FIBRA VEGETAL AMAZÔNICA DE CURAUÁ (*Ananas erectifolius*)

As fibras vegetais são de origem orgânica, sendo matérias-primas muito importantes para indústria em geral, como exemplo as fibras de juta, coco, algodão, curauá e sisal, a maioria das plantas são fontes de fibras (BARROS, 2006). A tabela 4 apresenta a classificação das fibras vegetais segundo a sua origem:

Tabela 4. Fonte de Fibras Vegetais

Parte do Vegetal	Caule	Folhas	Sementes	Frutos	Lenhosa (madeira)
Espécie	Linho	Sisal	Algodão	Coco	Pinheiro
	Juta	Rami	Kapoc	Paina	Eucalipto
	Cânhamo	Curauá			
	Kenaf	Bananeira			
	Bagaço de cana	Abacaxi			

Fonte: YOUNG, 1994 *apud* BARROS, 2006.

2.4.1 A planta, características e local de ocorrências

O curauá (*Ananas erectifolius*) é uma planta identificada como sendo da família do abacaxi (*Ananas comosus*), pertencente ao gênero das bromélias ou bromeliáceas. Possui folhas de 5 cm de largura em média, podendo atingir um comprimento de 1,5 m, genuinamente brasileira, originalmente encontrada na região da região amazônica, apresenta potencial para o uso de suas fibras lignocelulósicas, com excelente comportamento mecânico, tendo aproveitamento na área da construção civil (CEAPAC, 2013; BANNA *et al.*, 2011; FERREIRA *et al.*, 2010; PICANÇO e GHAVAMI, 2008; MONTEIRO *et al.*, 2006; ERENO, 2004).

O cultivo do curauá teve início no Lago Grande de Curuaí, no município de Santarém, localizado no estado do Pará, e vem se expandindo para outras regiões. Pode ser encontrada também na região Centro-Oeste do Brasil, no entanto, é cultivada em larga escala na região Amazônica (FERREIRA *et al.*, 2010; SILVA, 2010; MONTEIRO *et al.*, 2006).

Há duas variedades distintas do curauá, uma de folha roxa-avermelhada ("curauá-roxo"), e outra de folha verde-claro ("curauá-branco"), conforme ilustra a figura 2. Apresentam poucas diferenças entre si, sendo o curauá branco a preferência de muitos produtores devido à maior produção de mudas de curauá (CEAPAC, 2013).



Figura 2. Fibra de curauá branco e roxo, respectivamente

Fonte: COSTA, LAMEIRA e YOSHINO, 2002.

As folhas do curauá são rígidas eretas, com faces planas. As margens não são armadas de espinhos, podendo aparecer algumas amostras com alguns espinhos (CEAPAC, 2013; MONTEIRO *et al.*, 2006). Quando as plantas adquirem oito meses de idade, as folhas passam a obter cerca de 8% de fibra numa base de peso seco (AMARASEKERA *et al.*, 2009).

O interesse econômico pelo curauá está prioritariamente ligado às fibras extraídas de suas folhas, embora seu fruto seja comestível (MONTEIRO *et al.*, 2006).

Segundo o Ceapac (2013) o curauá é uma cultura pouco exigente em relação à fertilidade do solo. Desenvolve-se bem em solos de textura arenosa e apresenta baixa perda durante o período seco no verão. Contribui para a recuperação e valorização de áreas desmatadas e facilita o surgimento de novas áreas de floresta ou capoeirão para o seu cultivo e consequentemente reduz a pressão sobre as áreas de Reserva Legal. Assim, seu plantio é economicamente

recomendável para as empresas que visam reduzir custo florestal. A figura 3 ilustra a plantação do curauá (BANNA *et al.*, 2011).



Figura 3. Plantação de curauá

Fonte: CEAPAC, 2013.

Segundo Barros (2006), a colheita da planta curauá é feita manualmente e no primeiro ano posterior ao replantio, o curauá rende 24 folhas por planta, sendo equivalente a dois quilos de fibra em média, tendo um rendimento de fibra seca de aproximadamente 6% independente da variedade do curauá. O processo de produção da fibra de curauá é mostrado na figura 4:



Figura 4. Processo de extração da fibra de curauá

Fonte: Autora, 2014.

2.4.2 O uso da fibra de curauá

As fibras de curauá são de uso popular, utilizadas pelos índios para trançar redes de dormir, na manufatura de cordas, linhas de pesca, cestas e tapetes (figura 5), pois são produtos que atestam as qualidades de resistência e leveza (PICANÇO e GHAVAMI, 2008; MONTEIRO *et.al*, 2006; ERENO, 2004).

Quando misturadas a outros materiais como sobras de cobertores e tapetes rejeitados pela indústria têxtil, as fibras picadas de curauá reforçam matrizes de polipropileno, empregadas nas indústrias automobilísticas. Esse compósito é utilizado na parte interna e no teto dos automóveis do Fox e o Pólo da Volkswagen do Brasil (PEMATEC, 2013; CASTRO, 2010; FERREIRA *et al.*, 2010; CORRÊA *et al.*, 2009; MONTEIRO *et al.*, 2006; ERENO, 2004).

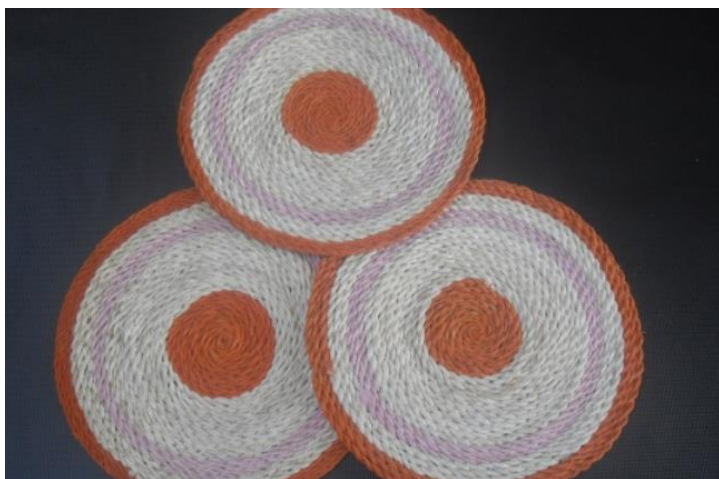


Figura 5. Tapete feito com fibra de curauá

Fonte: CEAPAC, 2013.

2.4.3 Características físico-mecânicas da fibra de curauá

Pesquisas demonstraram que a fibra do curauá apresenta excelente qualidade, sendo comparável à fibra de vidro devido à sua resistência, maciez e peso reduzido (FERREIRA *et al.*, 2011).

A fibra de curauá, segundo Ereno (2004), tem como principal característica uma grande resistência mecânica, mesmo com uma espessura reduzida, possui capacidade de suportar tensões elevadas.

Dentre as fibras vegetais com potencial para o aproveitamento como reforço destaca-se o curauá, pois a mesma produz uma fibra com propriedades mecânicas específicas parecidas com fibras inorgânicas, podendo dar origem a produtos com menor densidade com grandes aplicações (SPINACÉ *et al.*, 2011; MOTHÉ e ARAÚJO, 2004).

As características das fibras de curauá têm chamado atenção devido a sua elevada resistência mesmo com espessura reduzida, sua capacidade de suportar tensões elevadas podendo substituir a fibra de vidro, que se faz importante para o uso como reforço em compósitos (SPINACÉ *et al.*, 2011; ERENO, 2004).

O curauá se destaca quando comparada a outras fibras, considerando o módulo de elasticidade específico (em relação à densidade), que permitem

compósitos com uma diminuição de até 15% do seu peso (AMARASEKERA *et al.*, 2009).

Várias fibras vegetais vêm sendo usadas em compósitos, tais como: fibra de coco, algodão, juta, sisal e curauá (SPINACÉ, 2011), cujas propriedades são mostradas na tabela 5. O curauá está tendo destaque dos pesquisadores brasileiros e do exterior, pois possui propriedades mecânicas adequadas para o reforço em relação às outras fibras vegetais, o que torna essa espécie a mais promissora entre as produzidas na Amazônia (SPINACÉ, 2011; FERREIRA *et al.*, 2010).

Tabela 5. Valores de densidade e propriedades mecânicas de fibras vegetais mais empregadas como reforço em compósitos

Fibras Vegetais	Densidade (g/cm³)	Alongamento (%)	Tensão na ruptura (MPa)	Módulo de Young (GPa)
Algodão	1,5 - 1,6	7,0 - 8,0	287 - 597	5,5 - 12,6
Coco	1,2	3,0	175	4,0 - 6,0
Curauá	1,4	4,2	890 - 4.200	50,4
Juta	1,3	1,5 - 1,8	393 - 773	26,5
Sisal	1,5	2,0 - 2,5	5511 - 635	4,0 - 6,0

Fonte: MARINELLI *et al.*, 2008.

Picanço (2005) encontrou valores médios das fibras de curauá com resistência à tração em torno de 492 MPa, sendo superior às de coco e de juta, tendo sido alcançado um valor máximo de cerca de 832 MPa, conforme o diagrama apresentado na figura 6.

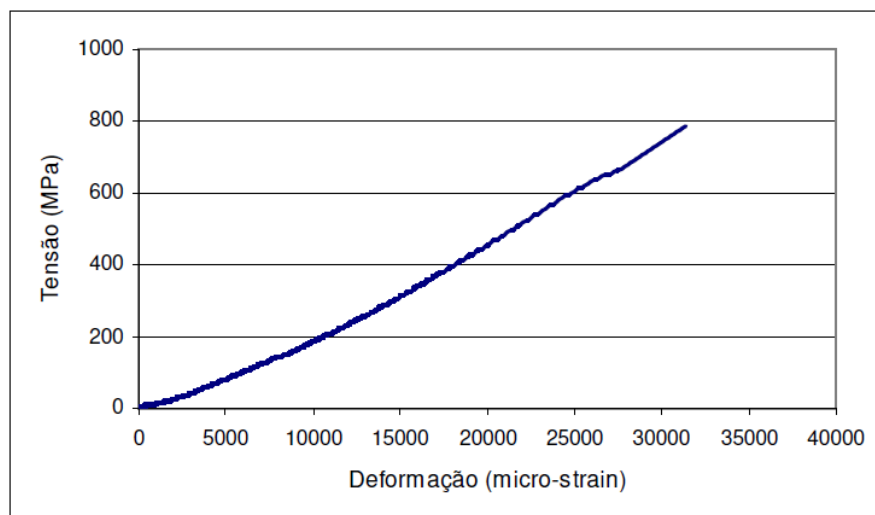


Figura 6. Diagrama Tensão vs. Deformação da fibra de Curauá

Fonte: PIKANÇO, 2005.

Uma característica apresentada pela fibra de curauá é o elevado teor de celulose (BARROS, 2006). A tabela 6 mostra a composição química da fibra de curauá.

Tabela 6. Composição química da fibra de curauá

Caracterização Química da Fibra de Curauá	(%)
Holocelulose	91,80
Celulose	70,70
Polioses	21,10
Lignina Klason Solúvel	1,57
Lignina Klason Insolúvel	9,57
Lignina Klason Total	11,10
Grau de Cristalização	75,60

Fonte: LEDO, 2005.

Segundo Picanço (2005) a capacidade de absorção de água das fibras de curauá foi superior quando comparadas as demais fibras, absorvendo mais de 350% de massa de água que as fibras coco, sendo que a absorção de água do curauá ocorre com mais intensidade nas primeiras horas de imersão.

A fibra de curauá é a terceira numa análise econômica no Brasil, perdendo somente para sisal e juta, sendo umas das lignocelulósicas de maior rigidez, com isso, vem crescendo o interesse por esta fibra indicando como a mais competitiva entre as fibras brasileiras, sendo cultivada em larga escala, compensando de certa forma a diminuição no cultivo de juta (BANNA *et al.*, 2011; SILVA, 2010).

Segundo Picanço e Ghavami (2008) a inserção de fibras de curauá à matriz cimentícia foi responsável por conferir maior ductilidade ao compósito após a fissuração da matriz, assim, ao invés da fratura frágil apresentada pela matriz no início da fissuração, o compósito continua a absorver energia, apresentando grandes deformações.

A fibra do curauá possui as seguintes características:

- Resistência Mecânica;
- Leveza;
- Suavidade ao Toque;
- Ausência de odor (PEMATEC, 2013).

Baseado no conhecimento da fibra curauá, segundo Picanço e Ghavami (2008), há necessidade de pesquisas específicas sobre suas propriedades físicas, químicas e mecânicas, possibilitando o aproveitamento seguro desse reforço em compósitos para a construção civil (PICANÇO e GHAVAMI, 2008).

2.5 FATORES QUE PODEM AFETAR O DESEMPENHO DE COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS REFORÇADOS COM MATERIAIS LIGNOCELULÓSICOS

Dentro de uma espécie vegetal, há uma variação da composição química das fibras de madeira, como teores de açúcares, tanino, hemicelulose e outros, que podem ser provocadas por alguns fatores como a época de corte, tipo de solo onde está plantada, ou da forma e duração da estocagem após o corte, esta composição química pode variar também dentro de uma mesma árvore, se o material lignocelulósico é retirado da casca, do cerne ou do alburno (TOMCZAK, 2010;

WEATHERWAX e TARKOW, 1964 *apud* BERALDO, 1998). Suas características afetam diretamente os produtos fabricados com materiais lignocelulósicos, sendo necessário avaliar suas propriedades, como índice de cristalinidade e a incompatibilidade química, a fim de verificar se as fibras vegetais podem ser empregadas na construção civil na forma de compósitos cimentícios.

2.5.1 Cristalinidade

O conhecimento da caracterização química de uma 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, como o arranjo cristalino e a parte amorfa, a parte cristal-estrutura (celulose), o grau de cristalinidade, pois os mesmos têm grande influência sobre as características mecânicas dos compósitos (ANJOS, GHAVAMI e BARBOSA, 2002; BERALDO e 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 química (HU e HSIEH, 2001).

Fibras vegetais possuem estrutura celular muito complexa, consideradas compósitos com seus componentes celulose, hemicelulose e lignina, assim a celulose é composta por um polissacarídeo linear com grande massa molecular que apresenta uma composição empacotada devido às suas cadeias muito orientadas que é responsável pela rigidez da planta por causa de seu módulo elástico elevado. Já a hemicelulose é um polissacarídeo ramificado composto por muitas pentoses e hexoses, que tem um alto número de hidroxila, apresentando maior polaridade que a celulose, essas ramificações impedem a formação de cristais sendo um polímero amorfo. Por fim a lignina é a mais complicada quando comparada a celulose e hemicelulose, pois é polímero aromático e não cristalino, de natureza hidrofóbica com baixa polaridade, se comportando como um agente de acoplamento (FERRAN *et al.*, 2006).

Segundo Lopes *et al.* (2010) a celulose é primariamente responsável pela resistência das fibras, por seu alto grau de polimerização e orientação linear.

Materiais lignocelulósicos contêm muitas substâncias que podem dissolver-se e afetar a cristalização do cimento (FAN *et al.*, 2012). Tratamentos alcalinos são eficientes para retirada de extraíveis amorfos das fibras vegetais, podendo aumentar os índices de cristalinidade e resistência à degradação térmica (OLIVEIRA, MARQUEZE e MERAT, 2013). A técnica padrão utilizada para mensuração do Índice de Cristalinidade é a difração de raios-X (ZUGENMAIER, 2008).

2.5.2 Incompatibilidade química entre as fibras vegetais e a matriz cimentícia

A utilização de componentes de madeira ainda é pouco significativa na área da construção civil, devido a falta de compreensão de mecanismos e de tecnologias envolvidas na interface entre o cimento e materiais lignocelulósicos para o desenvolvimento de materiais compósitos de madeira-cimento (FAN *et al.*, 2012).

2.5.2.1 Inchamento

Reações químicas extremamente complexas desenvolvem-se entre os constituintes do compósito (BERALDO *et al.*, 1998). A água e os sais dissolvidos, principalmente o hidróxido de cálcio, são absorvidos pela madeira causando inchamento, que ocorre principalmente nas hemiceluloses devido à sua estrutura amorfa. As ligações como os cátions metálicos e os íons hidróxidos, são migradas para o interior da parede celular e determinadas substâncias da madeira, como extrativos, açúcares simples hemiceluloses, começam a formar complexos, solúveis e ou insolúveis, com os sais dissolvidos. As reações cessam com ligações de hidrogênio e formam-se novos complexos iônicos, posteriormente favorecem o inchamento da madeira, assim alguns extrativos e hemiceluloses são dissolvidos em meio alcalino e difundidos na interface cimento-madeira (POMARICO, 2013).

2.5.2.2 Ataque alcalino

A principal desvantagem do uso de fibras vegetais em compósitos a base de cimento é sua vulnerabilidade a decomposição química de certos componentes químicos da madeira em ambiente alcalino do cimento (PEHANICH, BLANKENHORN e SILSBEE, 2004).

O entendimento das alterações químicas das fibras vegetais e sua influência nos parâmetros estruturais são importantes para novas aplicações das fibras que poderão surgir como menores limitações podendo resolver problemas advindos do uso dessas fibras vegetais, que apresentam notadamente baixa durabilidade em meios alcalinos (TOMCZAK, 2010; BERALDO, CHEN e AZZINI, 2003).

As fibras vegetais sofrem com o ataque alcalino do cimento portland ao longo do tempo, os cristais de hidróxido de cálcio, provenientes da hidratação do cimento penetram nas fibras mineralizando e fragilizando as mesmas, provocando também perda de aderência com a matriz, com isso ocorre uma diminuição na resistência do compósito, sendo necessário encontrar alternativas para proteção das fibras, seja por modificação da matriz ou das fibras (SAVASTANO Jr., 2000)

2.5.2.3 Retardamento da pega

A incompatibilidade química entre a fibra da madeira e o cimento é um dos maiores obstáculos para o desenvolvimento em escala comercial da indústria de compósitos à base de aglomerante minerais (BERALDO *et al.*, 1998). Os compostos fenólicos, ácidos, açúcares solúveis, resinas e extrativos são grandes responsáveis quando em contato ao meio alcalino criado pelo cimento. Eles solubilizam e reagem com o cimento impedindo sua cristalização e seu endurecimento (IWAKIRI, 2005; BERALDO *et al.*, 1998; HOFSTRAND, MOSLEMI e GARCIA, 1985).

A utilização de fibras vegetais em uma matriz cimentícia apresenta efeitos nocivos, podendo haver um grande retardamento ou até um impedimento total do tempo de pega do concreto, sendo comprovadamente incompatível. Este fenômeno de interação é geralmente expresso por uma redução das propriedades físicas e

mecânicas de compósitos cimento/fibra. Para alguns autores, não é recomendável o uso desses materiais orgânicos como componente aglomerado por cimento portland (MACÊDO *et al.*, 2011; BALEY, 2002).

Algumas espécies de fibras vegetais necessitam de tratamentos para tornarem-se compatíveis com o cimento portland, sendo a fabricação de compósitos de cimento/ madeira limitada ao emprego de poucas espécies, pois se sabe que inúmeras espécies não são aptas para serem usadas com o cimento devido à constituição química (ALBERTO, MOUGEL e ZOULALIAN, 2000).

As madeiras apresentam algumas características que dificultam sua utilização na construção civil devido principalmente, a sua anisotropia, sendo a variação das propriedades nas madeiras também observada entre espécies, entre árvores de uma espécie (IWAKIRI, 2005).

A utilização de outro material na combinação cimento-água, tais como partículas de madeira, fibras e aditivos químicos (orgânicos puros e substâncias inorgânicas) terão influência na magnitude da reação da hidratação, o tempo para as fases e a resistência do cimento (IWAKIRI, 2005).

Alguns materiais lignocelulósicos podem inibir a formação de cristais totalmente essenciais para o desenvolvimento da resistência, portanto, agregados de origem vegetal devem ser estudados, a fim de se analisar a melhor maneira de efetuar seu tratamento, antes de seu uso (BERALDO *et al.*, 1998; HOFSTRAND, MOSLEMI e GARCIA, 1985). As matérias-primas de origem vegetal, na maioria dos casos, são inibitórias à pega e a hidratação do aglomerante e, geralmente, pode-se atribuir esse comportamento indesejável à presença das substâncias solúveis em água (BERALDO e VIEIRA, 2003).

A incompatibilidade química entre a madeira e o cimento foi bastante verificada, ele é facilmente detectável pela curva de hidratação, como mostrado na figura 7, sendo que curva de cimento-água é mais acentuada que a curva cimento-madeira, mostrando que a madeira inibiu a reação exotérmica entre ocorrido quando o cimento entra em contato com água (IWAKIRI, 2013). O calor é liberado durante a reação de hidratação, determinando suas características e assim verificando o comportamento do compósito (ALBERTO, MOUGEL e ZOULALIAN, 2000; BERALDO *et al.*, 1998).

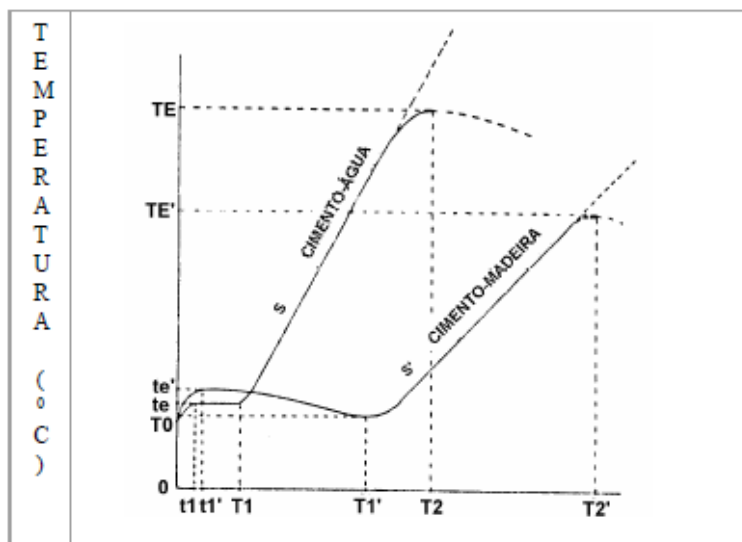


Figura 7. Curva de hidratação do cimento/ madeira

Fonte: IWAKIRI, 2013.

De uma maneira geral, quando há compatibilidade química entre a madeira e o cimento, a hidratação do aglomerante atinge um nível significativo, o qual permite a formação de uma rede de silicatos, ligando as partículas (BERALDO e CARVALHO, 2004). A incompatibilidade é possível de ser combatida de diversas formas: com o uso de aditivos aceleradores de pega, ou com combinação de espécies vegetais com lenta liberação de extrativos na presença de água com o uso simultâneo de agregados minerais (MACÊDO *et al.*; 2011).

Nas reações químicas entre o cimento e a madeira, a inibição pode ocorrer na interface desses materiais, ou na matriz, enfraquecendo as ligações mecânicas ou químicas entre o material e o cimento (POMARICO, 2013).

Muitos materiais lignocelulósicos podem ser empregados como matéria-prima para juntamente com o cimento para fabricação de painéis minerais, porém a maior restrição para sua comercialização se refere à composição química desses materiais, na qual pode afetar a solidificação do cimento, sendo as essências florestais geralmente mais utilizadas nas indústrias de painéis, mesmo com vários estudos realizados, visando o aproveitamento de resíduos vegetais, tais como, fibras, bagaço da cana, casca de arroz (REMADE, 2013).

O maior problema tecnológico na fabricação de painéis cimento/ madeira é que a resistência à adesão depende de inúmeras propriedades dos materiais

lignocelulósicos empregados (POMARICO, 2013). A limitação intrínseca ao uso de uma determinada matéria-prima vegetal está relacionada, principalmente a garantia do seu suprimento contínuo e das suas propriedades químicas (REMADE, 2013).

2.5.2.4 Índice de inibição

O efeito da inibição do cimento pode ser visto quando se varia a concentração das mesmas em relação à massa do cimento, concentração de 1% de glicose inibi completamente a pega do cimento (BERALDO e CARVALHO, 2004).

Para a verificação do quanto o material lignocelulósico inibe as reações exotérmicas do cimento é possível mensurar, através do índice de inibição. Uma maneira de se mensurar a inibição dos compósitos cimento/madeira é segundo Hofstrand, Moslemi e Garcia (1985), no qual é calculado, conforme mostrado na equação 01:

$$I (\%) = \left[\frac{(T_{cim} - T_m)}{T_{cim}} \times \frac{(H_m - H_{cim})}{H_{cim}} \times \frac{(S_{cim} - S_m)}{S_{cim}} \right] \times 100 \quad (\text{Equação 01})$$

Onde:

I = índice de hidratação da cura do cimento (%);

TCIM= temperatura máxima da mistura cimento/água (°C);

TM = temperatura máxima da mistura madeira/cimento/água (°C);

HCIM = tempo para atingir a temperatura máxima de hidratação do cimento na mistura cimento/água (h);

HM = tempo para atingir a temperatura máxima da mistura de hidratação do cimento na mistura madeira/cimento/água (h);

SCIM= máximo incremento de temperatura da curva na mistura cimento/água (°C /h);

SM = máximo incremento de temperatura da curva na mistura madeira/cimento/água (°C /h).

Segundo Okino *et al.* (2004), o índice de inibição pode ser classificado de acordo com a tabela 7:

Tabela 7. Classificação de materiais lignocelulósicos de acordo com o índice de inibição

Índice de inibição	Classificação
$1 \leq 10$	Baixa Inibição
$10 < I \leq 50$	Média Inibição
$50 < I \leq 100$	Alta Inibição
$I > 100$	Inibição Extrema

Fonte: OKINO *et al.*, 2004

O grande responsável pelo processo de inibição entre o cimento e a madeira são os açúcares simples, que migram para a superfície da madeira durante a secagem e formam uma camada inibitória, reduzindo a velocidade da reação de hidratação do cimento, podendo também os extrativos, tais como terpenos, resinas e gorduras, reduzir a resistência dos compósitos (POMARICO, 2013).

A madeira e suas fibras podem ser uma importante matéria – prima para a produção de painéis minerais, porém não sabendo qual o efeito dessa matéria - prima na compatibilidade com o cimento, deve ser estudado o efeito do tratamento das partículas nas propriedades dos painéis produzidos (OKINO *et al.* 2004).

2.6 DENSIDADE A GRANEL

A densidade a granel pode ser definida como a relação entre o peso obtido e o volume e é dada em kg/m^3 (BRITO *et al.* 1982). Com o intuito de quantificar volumes de produtos com formas irregulares, com a finalidade de fornecer informações que poderão ser úteis para a logística dos mesmos. Os espaços vazios fornecem dados

reais dos volumes para o transporte e se faz importante no estudo da densidade a granel (GARCIA,

de materiais lignocelulósicos, torna-se necessário a verificação das variáveis que afetarão os mesmos, sendo que a densidade a granel é uma das maneiras para avaliar a utilização desse material (SOUZA *et al.* 2002). A densidade aumenta à medida que diminui o tamanho do material, devido ao fato de que os espaços vazios, desta forma quanto maior a densidade a granel, maior será a massa que poderá ser transportado ou armazenado num recipiente de volume fixo (GARCIA, CARASCHI e VENTORIM, 2013).

2.7 TRATAMENTOS QUÍMICOS REALIZADOS EM MATERIAIS LIGNOCELULÓSICOS

As composições químicas das fibras vegetais e do cimento são diferentes e a interação entre eles são geralmente complicadas, fazendo com que essa interação cause incompatibilidade ao longo da interface dos compósitos, portanto, tratamentos químicos realizados nas fibras vegetais são necessários, sendo geralmente baseados na utilização de reagentes que são capazes de interagir com as estruturas das fibras, alterando a sua composição (KABIR, LAU e CARDONA, 2012).

A incompatibilidade química entre o cimento e materiais lignocelulósicos podem ser minimizadas através dos tratamentos realizados nos materiais lignocelulósicos, com a finalidade de reduzir a presença de substâncias inibidoras (FERRAZ, 2011; MORI *et al.*, 2007)

Métodos físicos e químicos podem ser usados para modificar as fibras de reforço, otimizando a interface fibra-matriz, sendo existentes vários estudos das propriedades físico-químicas e da modificação da superfície das fibras vegetais, objetivando sua utilização em materiais compósitos (IOZZI *et al.*, 2010).

Segundo John e Anandjiwala (2008) *apud* Ferraz (2011) o tratamento alcalino leva uma grande quantidade de celulose amorfa a custo da celulose cristalina, com isso removendo parcialmente constituintes amorfos como a

hemicelulose, lignina e óleos solúveis em soluções alcalinas. Ocorre uma alteração com a remoção da ponte de hidrogênio da estrutura da fibra, os grupos OH presentes nas fibras reagem com o NaOH (FERRAZ, 2011).

Os tratamentos para melhorar a compatibilidade da interface da fibra e do cimento têm sido utilizados, com êxito, visando eliminar ou minimizar os efeitos inibidores de substâncias químicas presentes nas fibras provenientes da madeira, baseando - se essencialmente na diminuição destas por meio físico, químico ou biológico (REMADE, 2013).

Vários tratamentos vêm sendo empregados em fibras vegetais com a finalidade de aumentar a aderência com a matriz cimentícia em compósitos, como exemplo:

- Pré-tratamentos com produtos químicos;
- Adição de aditivos aceleradores da pega;
- Modificação do material lignocelulósico por meio da remoção de substâncias inibidoras da cura do cimento (FERRAZ, 2011).

Os tratamentos como imersão em água quente e fria, imersão em solução de 1% de NaOH e a utilização de aditivos químicos são realizados na madeira/fibra para minimizar os extrativos presentes, como mostrado na tabela 8:

Tabela 8. Tipos de tratamentos nas fibras ou partículas

Tipos de tratamentos			
Tratamento em água fria	Imersão de 12 - 24 h	-	Secagem
Tratamento em água quente	Imersão a 80° C por 6 h	Lavagem periódica por 2h	Secagem
Tratamento em NaOH	Imersão de solução diluída de 1% de NaOH por 24 h	Lavagem Ataque com fungos manchadores por 4 semanas	Secagem
Tratamento biológico	Exposição das partículas		-

Fonte: IWAKIRI, 2013.

A viabilidade do uso de espécies com altos teores de extrativos é normalmente realizada por meio do tratamento das partículas, para utilização como reforço na construção civil, sendo um dos tratamentos realizados com a finalidade de

extração de substâncias químicas inibidoras é: extrativos solúveis em água ou álcali, carboidratos livres, através da imersão das partículas em água fria por 24 horas, imersão em água quente por 6 horas e imersão em solução de NaOH a 1% (MOSLEMI, GARCIA e HOFSTRAND, 1983; SAVASTANO Jr., 2000).

As propriedades mecânicas das fibras são afetadas por tratamentos químicos como a alcalinização, os quais são empregados para alterar a superfície das fibras naturais, melhorando a interação das fibras quando empregadas como reforço em materiais compósitos (FERRAZ, 2011; TOMCZAK, 2010). Fibras naturais apresentam impurezas, tais como ceras, óleos naturais ou óleos de processamento que ficam depositadas na superfície das fibras, afetando as propriedades dos compósitos (TOMCZAK, 2010).

Segundo Beraldo *et al.* (2002), o problema relacionado ao tempo de pega do cimento pode ser minimizado com a aplicação de tratamentos como incorporação dos aditivos químicos e minerais aceleradores da cura.

O conhecimento da estrutura interna das fibras lignocelulósicas e da sua composição química é importante para compreensão de sua influência nas características do compósito e também na escolha dos seus tratamentos químicos e físicos (LOPES *et al.*, 2010).

2.8 PAINÉIS CIMENTO – MATERIAL LIGNOCELULÓSICO

Diferentes tipos de painéis, como aglomerados, OSB, MDF, cimento-madeira entre outros, vêm ganhando espaço em grandes empresas, devido à melhor relação custo/ desempenho que este tipo de produto oferece (SANTOS *et al.*, 2008).

Uma das soluções de diminuir as características indesejáveis da madeira, como dimensões, defeitos naturais, higroscopicidade e anisotropia, é a produção de painéis reconstituídos, utilizando os mais diversos compostos, como material lignocelulósico combinado com o cimento (PAULA *et al.*, 2009).

Os painéis cimento-madeira são produzidos com materiais lignocelulósicos relativamente pequenos e com tecnologia arcaica, sendo sua capacidade industrial

variando de 1,39 a 10,22 milhões de m² , onde essa baixa capacidade se dá, principalmente, pela cura lenta do material (FERRAZ, 2011).

Painéis cimento-madeira, mostrados na figura 8, são tipos especiais de aglomerados, de composição simples, onde seus componentes são: partículas ou fibras de biomassa vegetal, água, aditivos e aglomerante mineral (POMARICO, 2013; SÁ *et al.*, 2010; IWAKIRI, 2005).



Figura 8. Painéis cimento-madeira para a construção das casas na UTFPR

Fonte: SUSTAINABLE, 2014.

O material pioneiro de madeira e aglomerante inorgânico apareceu no mercado com a denominação de “*Heraklith*” no ano de 1914 e veio a ser muito popular na Alemanha, sendo em 1928 o início do uso do cimento portland como aglomerante em painéis de cimento-madeira, mas seu desenvolvimento só ocorreu após a II Guerra Mundial, e em 1940, nos Estados Unidos foram produzidos, em escala industrial, dois tipos de painéis com partículas do tipo *Excelsior*, utilizados com a finalidade de isolamento acústico e decorativos (IWAKIRI, 2005; PIMENTEL e CAMARINI, 2005).

A aplicação de painéis minerais no setor da construção tem -se intensificado ao longo dos anos, principalmente na Europa e Ásia, com uma produção de 2,5 milhões de m³ em 1996, que foi consolidada em 1976 na Alemanha e hoje em dia

estes painéis são bastante utilizados além da Alemanha, no Japão, na Rússia, dentre outros (POMARICO, 2013; REMADE, 2013; IWAKIRI, 2005).

A produção comercial de painéis está no mercado nacional; porém, possuem uma longa história de aplicação e aceitação no setor de construção civil, principalmente na Europa e Ásia (MORI *et al.*, 2007).

No Brasil, os painéis cimento-madeira ainda não são empregados em grande escala, devido a questões culturais de priorizar as construções em alvenaria, porém, esse cenário deve ser alterado gradativamente, por meio de políticas públicas voltadas para construções de habitações populares (IWAKIRI *et al.*, 2013).

O uso de painéis cimento-madeira tem inúmeras vantagens ganhando uma posição de destaque entre os produtos florestais, sendo promissor, considerando a possibilidade e a necessidade de melhor uso de resíduos gerados em exploração florestal e em processamento industrial, que ainda são desprezados (MORI *et al.*, 2007; LATORRACA e IWAKIRI, 2000).

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; HOFSTRAND *et al.* 1985).

A fabricação de painéis de cimento-madeira ocorre desde construções civis simples até as mais sofisticadas, sendo o cimento, utilizado como aglutinante, de custo bastante reduzido quando comparado a adesivos sintéticos e a madeira proporciona uma produção de baixa exigência (POMARICO, 2013; LATORRACA e IWAKIRI, 2000).

Parte considerável das madeiras e seus resíduos podem ser utilizados como matéria-prima que junto com o cimento que compõem os painéis cimento-madeira, porém alguns parâmetros são requeridos da matéria-prima, de modo que os mesmos possam ser empregados sendo que a dificuldade de uso de uma determinada matéria – prima está relacionada, principalmente, com a garantia do seu suprimento contínuo e das propriedades químicas (IWAKIRI, 2005).

As chapas de cimento-madeira têm em geral, menos exigências em relação à matéria-prima (madeira) quanto a sua forma, dimensões, defeitos naturais e também a não utilização de resinas sintéticas como aglutinante (MORI *et al.*, 2007; IWAKIRI, 2005).

Segundo Iwakiri (2005) os aglomerantes utilizados na manufatura dos painéis minerais são: o cimento portland, a Magnesita e a Gipsita. O cimento portland pode formar painéis resistentes e de qualidade térmita, ao fogo, ao ataque de fungos (HOFSTRAND, MOSLEMI e GARCIA, 1985).

A composição dos painéis cimento-madeira é simples, conforme ilustrado na tabela 9, sendo composto por partículas do tipo *Excelsior*, *strands*, *flakes* ou fibras de materiais lignocelulósicos incorporadas com cimento Portland, água e reduzida quantidade de aditivos químicos, com isso as partículas de madeira são agregadas e agentes reforçantes, tendo o cimento como material ligante, a água como reagente e os aditivos como catalisadores (OKINO *et al.*, 2003).

Tabela 9. Composição da relação ideal dos painéis cimento e madeira

Composição de painéis cimento/ madeira	
	Relação Ideal
Madeira: Cimento	1 : 2,5 a 1 : 2,75
Água: Cimento	0,40

Fonte: IWAKIRI, 2013.

O emprego de resíduos provenientes da madeira pode ser uma solução viável para indústria de painéis cimento-madeira, pois resultaria em aumentar o valor agregado da madeira, diminuindo os depósitos de resíduos e possibilitaria a instalação de novas indústrias, gerando receitas e aumentando empregos (IWAKIRI, 2005).

Aditivos químicos têm sido utilizados em painéis de cimento madeira com o intuito de aperfeiçoar suas propriedades, principalmente na função de aumentar a resistência à umidade (SILVA *et al.*, 2006).

O emprego de painéis de cimento-madeira tem algumas limitações, como a incompatibilidade de algumas espécies e a carência de estudos científicos com espécies florestais brasileiras, podendo restringir o emprego destes painéis (POMARICO, 2013). Um dos fatores de grande influência na fabricação de painéis cimento-madeira é a composição química da madeira, pois tem elevada importância na cura e no endurecimento do cimento (IWAKIRI, *et al.*, 2012).

A viabilidade dos painéis se deve, de maneira geral, às propriedades como: resistência ao ataque de fungos e cupins, adequado isolante térmico e acústico, virtualmente incombustível e de fácil trabalhabilidade, proporcionando assim uma sensação de segurança (POMARICO, 2013; REMADE, 2013; SÁ *et al.*, 2010; MATOSKI, 2005).

As propriedades mecânicas ajudam a utilização dos painéis de cimento-madeira, pois esses painéis podem ser serrados, pregados, parafusados ou colados permitindo assim grande emprego, permite também que sejam pintados, chapiscados, rebocados e revestidos com outros tipos de materiais. Assim a versatilidade desse material permite que o fabricante agregue valor a esses painéis na medida em que em vez de brutos, eles podem ser entregues lixados ou pintados, permitindo que sejam utilizados como material de acabamento (REMADE, 2013; MATOSKI, 2005).

Quando comparado a outros tipos de painéis, os painéis cimento-madeira têm apresentado melhores resultados quanto à resistência compressão, à umidade, abrasão e a dureza (SILVA *et al.*, 2006).

Os painéis de madeira são produtos de boa aceitação e de grande aplicabilidade na construção civil, pois podem ser utilizados na execução de paredes, pisos e coberturas de forma modulada, além da facilidade de sua utilização, a madeira tem um forte apelo ecológico e baixo consumo de energia (SÁ *et al.*, 2010; MATOSKI, 2005). A Universidade Tecnológica Federal do Paraná construiu uma casa a partir de painéis cimento – madeira, conforme mostra a figura 9.



Figura 9. Casa construída de painéis de cimento-madeira (UTFPR)

Fonte: SUSTAINABLE, 2014.

A aplicação de painéis de forma modulada em obras extingue várias etapas, bem como as dificuldades na execução de acabamentos, sendo a exatidão geométrica, o grande número de dimensões, os formatos de acabamento, incorporação de revestimentos na fábrica e a facilidade na instalação de caixilhos, alguns benefícios da viabilidade de utilização de painéis como material de construção (MATOSKI, 2005; SILVA e SILVA, 2004).

Na produção dos painéis cimento-madeira, primeiramente é feito o processo de moagem da madeira transformando-a em partículas, que são classificadas de acordo com o tamanho desejado, posteriormente são misturados os materiais cimento, madeira, aditivo e água, para formação do colchão (TROYA, 2012).

Os materiais constituídos para a produção dos painéis são consolidados sob pressão a temperatura ambiente, sendo utilizados aditivos químicos e minerais para acelerar a cura do cimento (SÁ *et al.*, 2010), não sendo necessária aplicação de altas temperaturas, considerado um processo de baixo consumo de energia (IWAKIRI, 2005).

Na próxima etapa, ocorre a prensagem e grampeamento dos colchões, passando para o processo de cura, que varia de acordo com os tipos de materiais utilizados pelo fabricante, e após a cura dos painéis, os grampos são retirados e o produto é estocado para posterior processo de secagem (TROYA, 2012).

O processo de endurecimento do cimento portland necessita de um tempo maior, quando comparado a outros tipos de painéis, pois sua reação é mais lenta,

sendo que o processo de endurecimento ocorre depois de oito dias, geralmente, porém a resistência máxima a ser alcançada continua por longos períodos de tempo (IWAKIRI, 2005). As etapas do processo de produção de painéis cimento-madeira são esquematizadas na figura 10.

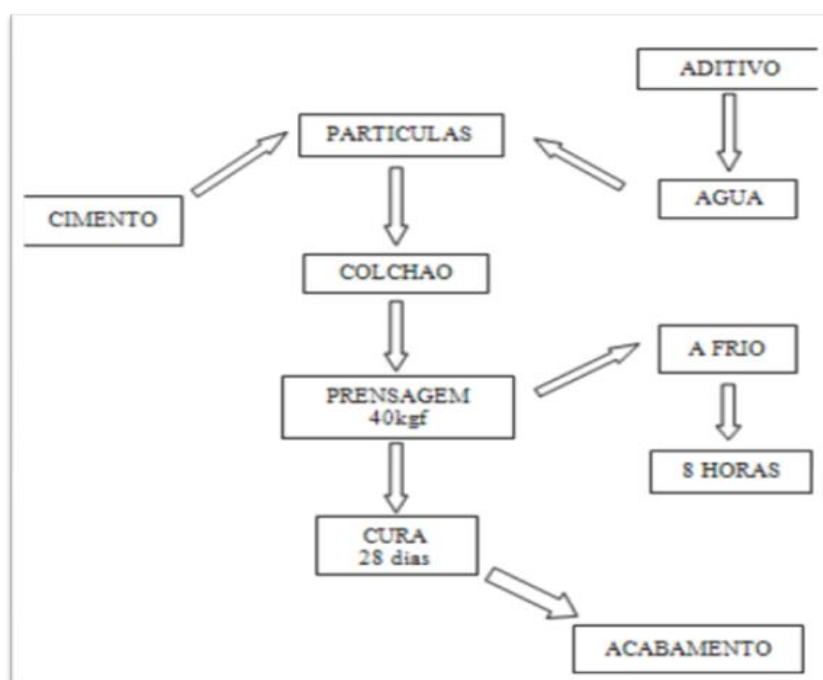


Figura 10. Processo de produção de painéis cimento–madeira

Fonte: POMARICO, 2013.

Segundo a Remade (2013), o uso de painéis cimento–madeira é viável considerando a necessidade de um melhor emprego de resíduos gerados tanto na exploração florestal, quanto no processamento industrial, onde estes são bastante desprezados, sendo que esta prática aumentaria o valor agregado à madeira e diminuiria os depósitos de resíduos.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente, foi apresentada a caracterização da fibra de curauá e, posteriormente, a caracterização dos painéis de cimento portland reforçados com fibra de curauá.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA FIBRA DE CURAUÁ

As fibras de curauá (*Ananas erectifolius*) foram doadas pelo Centro de Apoio a Projetos de Ação Comunitária (CEAPAC), localizada na cidade de Santarém no estado do Pará e foram cortadas na empresa Pematec Triangel, também localizada na cidade de Santarém, com comprimento de 4 cm (figura 11.a). Posteriormente as fibras foram passadas no moinho de facas no Laboratório de Química da Universidade Federal do Paraná para desagregação (figura 11.b).



Figura 11. Fibras com 4 cm (a) e posteriormente passadas no moinho de facas (b)

Fonte: Autora, 2014.

3.1.1. Tratamentos realizados na fibra de curauá

Os tratamentos realizados nas fibras de curauá foram água fria, água quente e solução de 1% de NaOH, com o intuito de melhorar a compatibilidade da fibra com o cimento, tendo como base a metodologia de Moslemi, Garcia e Hofstrand (1983). As fibras sem tratamento foram secas em estufa por duas horas (figura 13.a). O tratamento em água fria consistiu na imersão das fibras de curauá em água a temperatura ambiente por 24 horas, após esse período, as fibras foram secas ao ar livre. Já o tratamento em água quente consistiu na imersão das fibras de curauá em água a uma temperatura de aproximadamente 60°C por 6 horas (figura 13.b), em seguida, foram secas ao ar livre. Por fim, o tratamento em solução de hidróxido de sódio, que consistiu na imersão da fibra de curauá na solução de NaOH 1% (100g de fibra de curauá para cada litro de solução), que ficaram em contato com a solução alcalina por 2 horas (figura 12.c), e após esse período, as fibras de curauá foram lavadas com água em temperatura ambiente. Prosseguiu-se com a lavagem e a troca de água até que a mesma tornasse incolor, em seguida, as fibras foram secas ao ar livre (figura 12.d).



Figura 12. Fibras sem tratamento secas em estufa (a) tratamentos realizados na fibra de curauá, água quente (b), NaOH (c) e secagem ao ar livre (d).

Fonte: Autora, 2014.

3.1.2. Composição química da fibra de curauá

As análises da composição química da fibra de curauá foram realizadas no laboratório de Polpa e Papel/Química da Madeira do Departamento de Tecnologia Florestal/UFPR. Os ensaios realizados foram: teor de umidade, de lignina, de cinzas, de extrativos solúveis em água fria, água quente, hidróxido de sódio e extrativos totais. O delineamento experimental é mostrado na tabela 10:

Tabela 10 Delineamento experimental da composição química da fibra de curauá

Ensaio	Amostra	Repetições
Composição Química	Teor de umidade	2
	Teor de lignina	2
	Teor de cinzas	2
	Teor de extrativos solúveis em água quente	2
	Teor de extrativos solúveis em água fria	2
	Teor de extrativos solúveis em NaOH	2
	Teor de extrativos totais	2

Fonte: Autora, 2014.

3.1.2.1 Teor de umidade

A determinação da umidade foi feita de acordo com a NBR 11941 (2003). Em uma balança analítica pesaram-se 2g de amostra em duplicata da fibra de curauá. Primeiramente foi colocado o recipiente com fibra em estufa para secar durante 48 horas. Após esse período foi colocado a amostra em um dessecador, e por fim a amostra seca foi pesada. A partir do peso seco e úmido da fibra de curauá, calculou-se o teor de umidade (% A.S.), conforme equação 02:

$$\% \text{ A. S.} = \frac{P_s}{P_u} \times 100 \quad (\text{Equação 02})$$

Onde: Ps – peso seco; Pu – peso úmido.

3.1.2.2 Determinação do teor de lignina

A determinação do teor de lignina foi feita de acordo com a norma TAPPI T - 222 om-02 (2006). Pesou-se 1g de amostra em uma balança analítica. A amostra foi seca em estufa, sendo posteriormente resfriado em dessecador. Transferiu-se a amostra seca e sem extrativos para um becker pequeno de 100 ml e adicionou-se

15ml de ácido sulfúrico 72%, no qual mexeu-se a fim de evitar que o material ficasse na borda do recipiente (figura 13). O ácido ficou em contato com o material durante 2 horas. Posteriormente transferiu o material para um erlenmeyer de um litro. Adicionou-se 560 ml de água destilada com temperatura variando entre 90°C e 100°C, colocando o material em banho-maria, por 4 horas. Passado o tempo filtrou-se a mistura em cadinho filtrante, com auxílio da bomba a vácuo e água destilada, com isso levou-se o material para estufa e retirado após 24 horas. Por fim, os cadinhos foram pesados após resfriados em dessecador. Com isso calculou-se o teor de lignina (Ti%), conforme a equação 03:

$$Ti (\%) = \frac{Pac - Pc}{Pas} \times 100 \quad (\text{Equação 03})$$

Onde: Pac – peso do cadinho+amostra; Pc – peso do cadinho filtrante; Pas – peso da amostra seca.

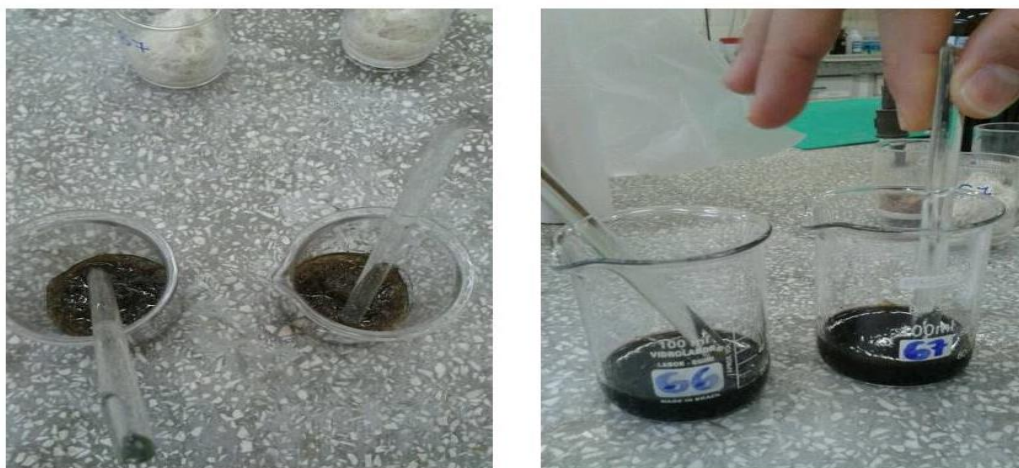


Figura 13. Determinação de lignina

Fonte: Autora, 2014.

3.1.2.3 Determinação do teor de cinzas

A determinação do teor de cinzas foi feita, segundo a norma TAPPI 413 om-02 (2008). Pesaram-se 2 g de amostra em uma balança analítica. Após a pesagem colocou-se a amostra na mufla, por 2 horas. Posteriormente foi colocado no dessecador, permanecendo por 30 minutos. Por fim, pesou-se o material. Com isso calculou-se o teor de cinzas (Tc %), através da equação 04:

$$Tc (\%) = \frac{Pac - Pc}{Pas} \times 100 \quad (\text{Equação 04})$$

Onde: Pac – peso de cinzas + cadinho; Pc – peso do cadinho; Pas – peso da amostra seca.

3.1.2.4 Determinação dos extrativos solúveis em água fria

A determinação dos extrativos solúveis em água fria foi feita de acordo a norma NBR 7988 (2012). Pesaram-se 2 g da amostra em uma balança analítica. Transferiu-se todo material para um becker de 400 ml e adicionou-se 300 ml de água destilada, mantendo o recipiente, durante 48 horas, a temperatura ambiente, agitando frequentemente. Posteriormente foi transferido o material para o cadinho filtrante e removeu-se a água com auxílio da bomba de vácuo e filtrou-se a amostra. O cadinho foi levado para estufa, durante 24 horas até atingir peso constante. Por fim, os cadinhos foram pesados. Com isso calculou-se o percentual de extrativos solúveis em água fria (TEaf %), através da equação 05:

$$TEaf (\%) = \frac{Pas - (Pac - Pc)}{Pas} \times 100 \quad (\text{Equação 05})$$

Onde: Pas – peso da amostra seca; Pac – peso da amostra + cadinho; Pc – peso do cadinho.

3.1.2.5 Determinação dos extrativos solúveis em água quente

A determinação dos extrativos solúveis em água quente foi feita de acordo com a norma NBR 7988 (2012). Pesou-se 2g de amostra, em balança analítica. Posteriormente transferiu-se todo material para um erlenmeyer de 250 ml e adicionou-se 100 ml de água destilada, colocando-o em banho-maria com água em ebulição, mantendo-o por 3 horas (figura 14). O material foi colocado em um cadinho filtrante removendo a água com auxílio da bomba de vácuo e filtrou-se a amostra. Por último, levou-se o cadinho para estufa, durante 24 horas até a amostra atingir peso constante, seguido de sua pesagem. Com isso calculou-se o percentual de extrativos solúveis em água quente (TEaq %), através da equação 06:

$$\text{TEaq (\%)} = \frac{\text{Pas} - (\text{Pac} - \text{Pc})}{\text{Pas}} \times 100 \quad (\text{Equação 06})$$

Onde: Pas – peso da amostra seca; Pac – peso da amostra + cadinho; Pc – peso do cadinho.



Figura 14. Ensaio do teor de extrativos em água quente

Fonte: Autora, 2014.

3.1.2.6 Determinação dos extrativos solúveis em NaOH a 1%

A determinação dos extrativos solúveis em NaOH a 1%, foi feita de acordo com a norma NBR 7990 (2010). Pesaram-se 2 g da amostra em uma balança analítica. Transferiu-se todo material para um erlenmeyer de 400 ml (figura 16) e adicionou-se 100 ml de água NaOH colocando-o em banho-maria com água em ebulição, mantendo-o por 1 hora, sendo agitado rapidamente nos tempos 10, 15 e 25 minutos após o início. Após transferiu-se o material para o cadinho filtrante (figura 15) e lavou-se a amostra com água destilada quente, 50 ml de ácido acético a 10% para neutralizar, e novamente com água destilada quente, com auxílio da bomba de vácuo filtrou-se a amostra. Levou-se o cadinho para estufa, durante 24 horas até atingir peso constante. Por fim foi pesado o cadinho. Com isso, calculou-se o percentual de extrativos solúveis em hidróxido de sódio, através da equação 07:

$$TE = \frac{Pas - (Pac - Pc)}{Pas} \times 100 \quad (\text{Equação 07})$$

Onde: Pas – peso da amostra seca; Pac – peso da amostra + cadinho; Pc – peso do cadinho.



Figura 15. Ensaio do teor de extrativos em NaOH

Fonte: Autora, 2014.

3.1.2.7 Determinação dos extrativos totais

A determinação de extrativos totais foi feita de acordo com a NBR 7987 (2012). Pesou-se 2 g de amostra. Transferiu-se todo material para um cartucho de extração e colocaram-se duas pedrinhas de porcelana em um balão volumétrico de 250 ml, posteriormente adicionou-se 200 ml da solução 1:2 de etanol-tolueno no balão, esse material foi conectado ao condensador da bancada de extração e permaneceu ligada por 6 horas. Terminado o período, retirou-se o cartucho e recuperado a solução, deixando o cartucho secar para perder o excesso de solvente. Posteriormente, adicionou-se 200 ml de etanol 95% no balão volumétrico de 250 ml, transferiu-se todo material para um cartucho de extração, colocando duas pedrinhas de porcelana em um balão volumétrico de 250 ml, adicionando 200 ml da solução 1:2 de etanol tolueno no balão, esse material foi conectado ao condensador da bancada de extração e permaneceu ligada por 4 horas. Terminado o período, retirou-se o cartucho do extrator e recuperou-se o álcool, deixando o cartucho secar para extrair o solvente residual. Por fim, o solvente residual foi pesado. Com isso, calculou-se o percentual de extrativos totais, através da equação 08:

$$TEt = \frac{Pas - (Pac - Pc)}{Pas} \times 100 \quad (\text{Equação 08})$$

Onde: Pas – peso da amostra seca; Pac – peso da amostra + cadinho; Pc – peso do cadinho.

3.1.2.8 Determinação da Holocelulose

Holocelulose (Hol %) foi calculada através da equação 09 (Andrade 2010):

$$Hol (\%) = 100 - (ET - Lt) \quad (\text{Equação 09})$$

Onde: ET – extrativos totais; Lt – teor de lignina.

3.1.3 Espessura da parede e diâmetro médio da fibra de curauá

A determinação da espessura da parede e diâmetro médio foram realizados no Laboratório de Anatomia da Madeira da Universidade Federal do Paraná. Foram medidas 30 amostras para definir o diâmetro médio e, posteriormente, à espessura da parede. O equipamento utilizado foi o microscópio óptico Olympus modelo Cx 410 equipado com câmera e software de medição.

3.1.4 Índice de cristalinidade

A determinação do Índice de Cristalinidade da celulose da fibra de curauá foi realizada no Laboratório de Óptica de Raios – X e Instrumentação da Universidade Federal do Paraná. O equipamento utilizado foi o difratômetro de raios-X XRD – 7000 da Shimadzu (figura 16). A configuração adotada para análise foi monocromador com fendas (1;1;0,3), operando a 40 kV com uma corrente de 20 mA. A velocidade adotada foi de 1º min usando uma radiação de Cu – Ka com comprimento de ordem de 0,5418 nm.

O índice de cristalinidade foi obtido pelo método de Segal *et al.* (1959). Utilizou – se o software Origin Pro 8.5 onde os dados tiveram um tratamento de alisamento por transformada de Fourier com 15% de corte nos pontos para obtenção das intensidades dos picos cristalino e amorfo.

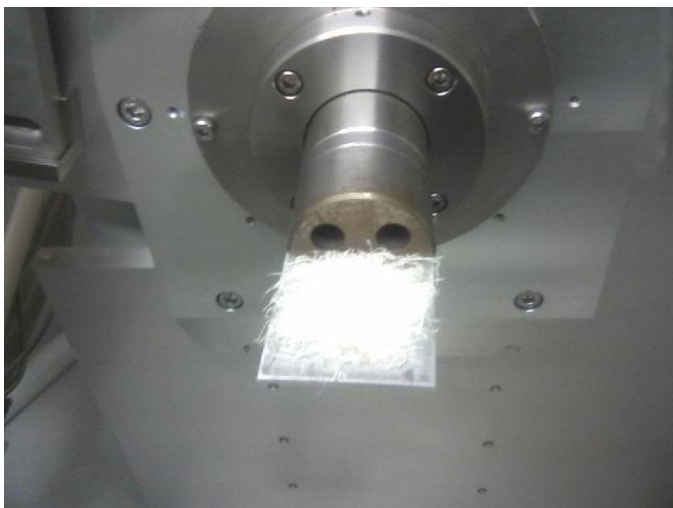


Figura 16. Difratorômetro de raios - x com a fibra de curauá

Fonte: Autora, 2014.

3.1.5 Ensaio de Inibição

No ensaio de inibição foi analisada a evolução da temperatura de hidratação do cimento na ausência e na presença de fibra para determinar o índice de inibição da pega do cimento pelo curauá. O método utilizado para avaliar a compatibilidade química entre a fibra de curauá e o cimento foi baseada metodologia de Hofstrand *et al.* (1984).

Os ensaios foram feitos, em quadriplicata, na Universidade Tecnológica Federal do Paraná com o aparelho aquisitor de dados A202 da marca Warne, conforme ilustrado na figura 17.



Figura 17. Aparato para o ensaio de inibição

Fonte: Autora, 2014.

Em sacos plásticos foram colocados 200 g de cimento portland CPV ARI (marca Itambé), 15 g de fibra de curauá seca e 90 ml de água destilada. Em seguida, o cabo termopar tipo “K” (instrumento de medição de temperatura) com proteção de silicone modelo KMP AFD 1P x 24 AWG foi introduzido na mistura. Cada saco plástico com uma mistura foi colocado em um recipiente térmico. O cabo termopar foi conectado a um receptor de sinais e os dados foram lidos e convertidos em valores de temperatura por um programa de computador (Lynx). As leituras foram coletadas em intervalos de dez segundos por um período de 24 horas. O delineamento experimental do ensaio de inibição é demonstrado na tabela 11.

Tabela 11. Delineamento experimental para o ensaio de inibição

Ensaio	Amostra	Repetições
Ensaio de Inibição	Cimento	4
	Sem Tratamento	4
	Água Fria	4
	Água Quente	4
	NaOH	4

Fonte: Autora, 2014.

3.1.6 Densidade a granel

Para a determinação da densidade a granel, baseou - se na metodologia estabelecida pela NR 6922 (1991). Utilizou-se um cilindro de PVC com volume conhecido de 1,6 litros, tarou-se esse cilindro e em seguida foi preenchido até a borda com fibra de curauá. Por fim o material foi pesado. Foram realizados cinco repetições.

3.2 CIMENTO PORTLAND

O aglomerante utilizado foi o cimento portland CPV ARI da marca ITAMBÉ. A massa específica média é de 3, 12 g/ cm³ . As especificações são apresentadas nas tabelas 12 e 13.

Tabela 12. Exigências físicas e mecânicas do cimento portland CPV ARI

Finura		Tempo de Pega		Expansibilidade	Resistência a Compressão (MPa)			
Malha 0,075 mm (%)	Malha 0,044 mm (%)	Início (h)	Fim (h)	A Quente (mm)	1 Dia	3 Dias	7 Dias	28 Dias
0,41	2,94	< 2	< 3	0,61	23, 5	39,4	43,5	52,1

Fonte: ITAMBÉ, 2014.

Tabela 13. Composição química do cimento portland CPV ARI

Resíduo Insolúvel (%)	Perda ao fogo (%)	Al ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)	FeO ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)
0,72	2,7	4,38	19,24	2,78	60,78	4,78	2,86

Fonte: ITAMBÉ, 2014.

3.3 ADIÇÃO DE CLORETO DE CÁLCIO

O aditivo químico CaCl₂, na proporção de 3%, em relação ao peso do cimento, foi adicionado à água e incorporado como agente acelerador da cura do cimento, para a produção dos painéis, baseado na metodologia de Iwakiri e Prata (2007).

3.4 CARACTERIZAÇÃO DOS PAINÉIS DE CIMENTO PORTLAND REFORÇADOS COM FIBRA DE CURAUÁ

Os painéis foram produzidos no Laboratório de Painéis da Universidade Federal do Paraná. Foram confeccionados três painéis para cada porcentagem de fibra e para cada tratamento químico, totalizando 21 painéis com dimensões de 50 cm x 38,5 cm x 1,5 cm (comprimento, largura e espessura) e densidade de 1,3 g/cm³. A relação de cimento: água foi constante e igual a 2,5: 1 baseado na metodologia de Iwakiri e Prata (2007).

3.4.1 Variação da porcentagem das fibras de curauá

Foram usadas 4 porcentagens de fibras de curauá: 5%, 10%, 20% e 36%, com a finalidade de estabelecer o percentual mais adequado.

3.4.2 Efeito dos tratamentos realizados na fibra de curauá

Após a seleção do melhor percentual de fibras (primeira etapa) foram produzidos e analisados painéis com os tratamentos realizados nas fibras vegetais (imersão em água fria por 24 horas, imersão em água quente a 60 ° C por 6 horas e imersão em solução aquosa de NaOH a 1% por 2 h), conforme mostrado na tabela 14.

Tabela 14. Delineamento Experimental dos Painéis cimento/ fibra + madeira

Espécie	Tratamento	Relação cimento/água	Nº de painéis
<i>Ananas erectifolius</i>	Sem tratamento		3
	Imersão em água fria		3
	Imersão em água quente	2,5:1	3
	Imersão em NaOH		3

Fonte: Autora (2014).

3.4.3 Confecção dos painéis de cimento-madeira reforçados com fibra de Curauá

A mistura foi feita em uma betoneira (figura 18. a), no qual inicialmente adicionou-se a fibra de curauá e o cimento portland. Posteriormente, por uma abertura na tampa do misturador, adicionou-se água com auxílio de uma pistola de ar comprimido (figura 18. b). O aditivo químico CaCl_2 foi misturado à água e adicionado à mistura.



Figura 18. Material sendo misturado na betoneira

Fonte: Autora, 2014.

Com intuito de deixar a mistura homogênea foram retirados manualmente alguns nós que se formaram durante a mistura. Com a mistura preparada, foi iniciada a montagem dos colchões. Foram utilizadas duas placas de metal de superfícies lisas, nas dimensões de 50 cm x 38, cm para cada colchão. Em seguida, foi feita a pré-prensagem manual para reduzir a espessura do colchão, Após a pré-prensagem, o colchão foi prensado à temperatura ambiente e pressão constante de 4 MPa por 24 horas (figura 19). Após a prensagem, os painéis foram retirados da prensa e colocados em uma sala de climatização por 28 dias com condições ambientais controlada a $(20^{\circ} \pm 2^{\circ} \text{ C})$ e umidade relativa de $65 \pm 5 \%$ para maturação final do cimento.



Figura 19. Processo de Montagem dos painéis

Fonte: Autora, 2014.

3.4.4 Caracterização físico-mecânica dos painéis

Após 28 dias de cura, foram seccionados sendo retirados cinco corpos de prova por painel para a determinação de cada propriedade física e mecânica. Esta caracterização foi realizada por meio dos ensaios de flexão estática (módulo de elasticidade), módulo de ruptura, inchamento em espessura, absorção de água em 2 e 24 horas de absorção de água.

Para o ensaio de flexão estática utilizou-se o equipamento universal de ensaios Ermic, 2000 kgf (ou 20 kN) com sistema de coleta de dados digital, com isso foi obtido os valores de módulo de elasticidade na ruptura e o módulo de elasticidade na flexão.

Para os ensaios de absorção de água e inchamento em espessura, primeiramente mediu-se a espessura dos corpos de prova no equipamento micrometro com divisão de 0,001 mm, faixa de trabalho de 0-25 mm, em seguida os corpos de prova foram imersos em água por duas horas. Mediram-se novamente os corpos de prova. Após a medição foram novamente imersos em água por 24 horas e pesados.

A avaliação das propriedades dos painéis de cimento/ fibra de curauá e normas que os ensaios foram baseados (figura 20), são mostradas na tabela 15.

Tabela 15. Relação das normas e dos ensaios realizados

Propriedades físicas	Norma
Massa específica	EN 317.2002
Absorção de água	
Inchamento em espessura	
Propriedades mecânicas	
Módulo de elasticidade	EN 310.2002
Módulo de ruptura	

Fonte: Autora, 2014.



Figura 20. Ensaio de flexão (a) e ensaio de absorção em água (b)

Fonte: Autora, 2014.

3.5 Análise estatística

Após o encerramento da fase experimental dos ensaios de inibição e dos painéis, foi realizado tratamento estatístico em cada conjunto de dados a fim de verificar a existência de diferença estatística em cada um deles.

Para a análise do ensaio de inibição foram feitos testes para verificação de diferença estatística significativa entre os compósitos sem tratamentos e com os tratamentos realizados. Testou-se a homogeneidade das variâncias entre os tratamentos pelo teste de Levene ao nível de 5% de probabilidade. Inicialmente, o

teste indicou a heterogeneidade das variâncias. A transformação logarítmica dos dados possibilitou homogeneizar as variâncias entre os tratamentos. Os tratamentos apresentaram diferença estatística conforme a Análise de Variância ao nível de 1% de probabilidade. Em seguida, testou-se a diferença entre as médias pelo teste Tukey ao nível de 1% de probabilidade.

Para a análise dos ensaios dos painéis foram feitos testes para verificação de diferença estatística significativa das propriedades físicas e mecânicas entre as diferentes porcentagens de fibra, primeiramente, e posteriormente a verificação da influência dos tratamentos realizados. Testou-se a homogeneidade das variâncias pelo teste Bartlett, verificando todas as variâncias das amostras analisadas, sendo que associadas às variáveis de respostas e provenientes dos diferentes tratamentos apresentaram-se homogêneas. Em seguida, testou-se a diferença entre as médias pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Primeiramente foram apresentados os resultados obtidos dos ensaios realizados na caracterização da fibra de curauá e posteriormente os resultados da caracterização dos painéis de cimento portland reforçados com fibra de curauá

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA FIBRA DE CURAUÁ

As fibras de curauá têm a função de reforço para os painéis produzidos nessa dissertação. A caracterização das fibras é necessária para o conhecimento sobre as vantagens ou limitações que a matéria-prima possui e se isso ocasiona em aspectos próprios necessários nas propriedades finais do painel.

4.1.1 Composição química da fibra de curauá

Os resultados obtidos dos extrativos solúveis de cada tratamento feito na fibra de curauá (*Ananas Erectifolius*) estão relacionados na tabela 16.

Tabela 16. Teor de extrativos da fibra de curauá

Propriedade	Participação (%)
Teor de extrativos em água fria	3,62
Teor de extrativos em água quente	4,02
Teor de extrativos em hidróxido de sódio	15,26
Teor de extrativos em etanol tolueno	5,36
Teor de extrativos totais	7,07

Fonte: Autora (2013).

Os extrativos solúveis em hidróxido de sódio apresentaram uma maior porcentagem quando comparado ao teor de extrativos totais. Isso ocorre quando a solução em hidróxido de sódio dissolve não somente os extrativos, como parte da composição da fibra de curauá (celulose e hemicelulose). Na tabela 17 é mostrado o comparativo dos teores de extrativos totais de outras espécies de madeira com a fibra de curauá.

Tabela 17. Teores de extrativos totais das fibras e de outras espécies de madeira

Teor de extrativos totais	Autores	%
Curauá	Autora (2014)	7,07
Coco	Ferraz (2011)	4,86
<i>Pinus elliotii</i>	Baloni (2009)	2,98
<i>Eucalyptus E. grandis</i>	Andrade <i>et al.</i> (2009)	4,04

Fonte: Autora, 2014.

. O teor de extrativos totais da fibra de curauá foi consideravelmente maior quando comparadas com as fibras de coco e espécies de madeira como pinus e eucalipto. Os extrativos encontrados em materiais lignocelulósicos são os responsáveis pela incompatibilidade química com a matriz cimentícia e, dependendo do seu teor, pode impedir o endurecimento do compósito.

O teor de umidade, teor de lignina e cinzas da fibra são mostrados na tabela 18:

Tabela 18. Ensaio obtido da composição da fibra de curauá

Propriedade	Participação (%)
Teor de umidade	7,93
Teor de lignina	5,1
Cinzas da fibra	0,82

Fonte: Autora, 2014.

4.1.2 Determinação da holocelulose, lignina, extrativos totais e cinzas da fibra

Os resultados da porcentagem de holocelulose, teor de lignina, de extrativos totais e cinzas da fibra são mostrados na figura 21.

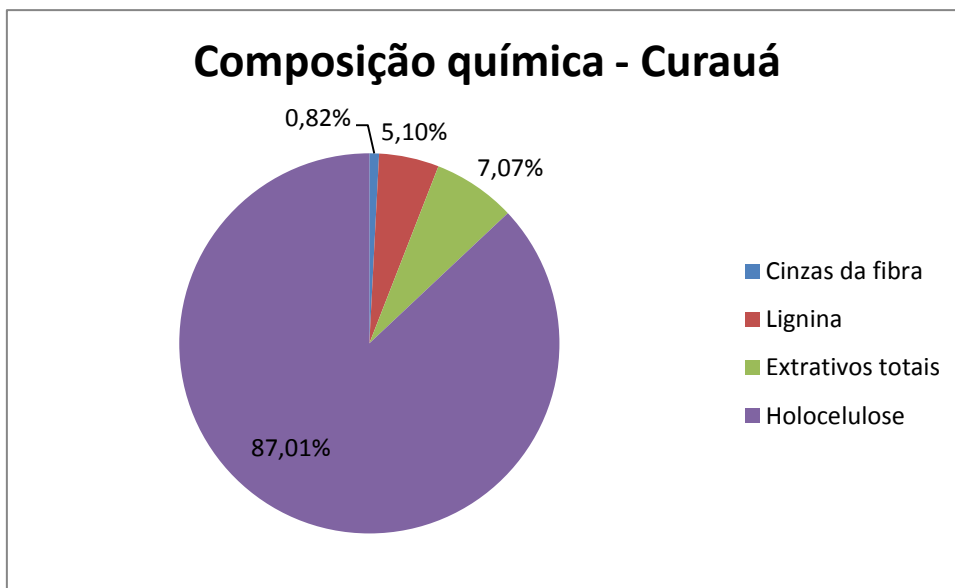


Figura 21. Composição da fibra de curauá

Fonte: Autora (2013).

Os resultados obtidos da composição química da fibra de curauá, utilizadas nessa dissertação, foram comparados com a de outros autores e são apresentadas na tabela 19.

Tabela 19. Comparativo da composição química da fibra de curauá, segundo a literatura

	Teor de lignina	Teor de umidade	Teor de cinzas	Extrativos em água quente	Extrativos em água fria	Extrativos em NaOH
Amasekera <i>et al.</i> (2009)	7,50%	7,90%	0,90%	-	-	-
Leal Neta (2010)	9,53%	-	1,86%	-	-	-
Spinacé <i>et al.</i> (2011)	7%	-	1%	-	-	-
Caraschi e Leão (2000)	11,10%	7,92%	0,79%	1,03%	-	1%
Silva (2010)	6,50%	-	-	-	-	-
Ledo (2005)	-	7,92%	0,79%	1,03%	-	19,30%
Autora (2014)	5,10%	7,93%	0,81%	4,02%	3,62%	15,26%

Fonte: Autora, 2014.

A composição química da fibra de curauá apresentou resultados similares quando comparadas a outros autores. As diferenças de alguns resultados podem estar associadas à procedência, sitio de crescimento, local de extração e as variedades das fibras de curauá

4.2 Determinação do diâmetro médio e espessura da parede

O diâmetro médio e a espessura da parede das fibras de curauá são apresentados na tabela 20. As fibras de curauá não têm diâmetro uniforme ao longo da fibra. O diâmetro é maior em uma extremidade e diminui no outro extremo da fibra.

Tabela 20. Resultados do diâmetro da fibra e espessura da parede

Estatística	Diâmetro Médio (μm)	Espessura da Parede (μm)
Média	7,29	2,02
Desvio Padrão	4,62	0,85
Valor Máximo	25,00	3,75
Valor Mínimo	2,50	0,63

Fonte: Autora, 2013.

A comparação do diâmetro médio com outras espécies de fibras está relacionada na tabela 21:

Tabela 21. Diâmetro médio de fibras de diferentes espécies

Espécie		Diâmetro médio (µm)
Fibra de sisal	Spinacé <i>et al.</i> (2011)	235
Fibra de coco	Monteiro <i>et al.</i> (2006)	250
Fibra de curauá	Autora (2014)	7,29

Fonte: Autora, 2014.

O diâmetro médio da fibra de curauá é significativamente inferior quando comparada com as fibras de coco e sisal. Esse aspecto é justificado pelo comportamento da fibra durante a mistura com cimento, onde observou-se que para teores acima de 20% houve a formação de pelotas ou bolas. Ou seja não foi possível obter uma mistura uniforme.

4.2.1 Influência da cristalinidade quando realizados tratamentos nas fibras de curauá

A cristalinidade das fibras vegetais de curauá é um indicativo de seu potencial como reforço para painéis cimento–madeira, pois a cristalinidade do material está diretamente relacionada às propriedades mecânicas. As análises de difração de raios X foram utilizadas para determinar o índice de cristalinidade da fibra de curauá. A cristalinidade da fibra de Curauá foi de 73,82%. A tabela 22 mostra o comparativo dos índices de cristalinidade de outros materiais lignocelulósicos com a fibra de curauá

Tabela 22. Índice de cristalinidade da fibra de curauá e de outras espécies de madeira

I (%) da fibra de curauá		Espécie		I (%)
		<i>Pinus ssp</i>	Viana (2013)	80,80%
73,82%	Autora (2014)	<i>Eucalyptus grandis</i>	Legowski (2013)	79,22%
73%	Corrêa <i>et al.</i> (2009)	Fibra de sisal	Oliveira <i>et al.</i> (2009)	68%
50,20%	Tomczak (2010)	Fibra de coco	Machado (2011)	40,10%
64%	Castro (2010)	Fibra de curauá	Autora (2014)	73,82%

Fonte: Autora, 2014.

A fibra de curauá apresentou um índice de cristalinidade semelhante ao da fibra vegetal de sisal e significativamente superior ao das fibras de coco. Contudo inferior quando comparada aos índices de outras espécies de madeira, como pinus e eucalipto, podendo ser justificada o comportamento mais flexível das fibras vegetais, sendo que quanto maior índice de cristalinidade mais rígido é o material.

Os tratamentos realizados na fibra de curauá influenciaram no grau de cristalinidade como mostra a tabela 23:

Tabela 23. Grau de cristalinidade das fibras tratadas e não tratadas

Amostras	Índice de Cristalinidade
Sem tratamento	73,82%
Água Fria	75,44%
Água Quente	77,39%
NaOH	74,22%

Fonte: Autora, 2014.

Os pré-tratamentos realizados nos materiais lignocelulósicos podem sofrer alteração do índice de cristalinidade, dependendo do tipo de tratamento e da constituição do material lignocelulósico. Os pré-tratamentos realizados nas fibras de curauá aumentaram o índice de cristalinidade.

Pode-se observar que o tratamento em água quente aumentou numericamente o índice de cristalinidade em 4,83% sendo o tratamento que obteve o maior aumento do índice de cristalinidade, devido à retirada dos extrativos (parte amorfa), sendo o segundo tratamento que retirou a maior quantidade de extrativos

das fibras. Já o tratamento em solução de 1% de NaOH foi o que teve menor influência numérica quanto ao índice de cristalinidade, seu aumento foi de 0,54%, podendo ser justificada pois o hidróxido de sódio faz com que as fibras de curauá sofram um inchamento e consequentemente ele acaba quebrando as ligações intracristalinas diminuindo assim as regiões cristalinas da fibra de curauá. Os picos de cristalinidade das fibras tratadas e não-tratadas são mostrados na figura 22.

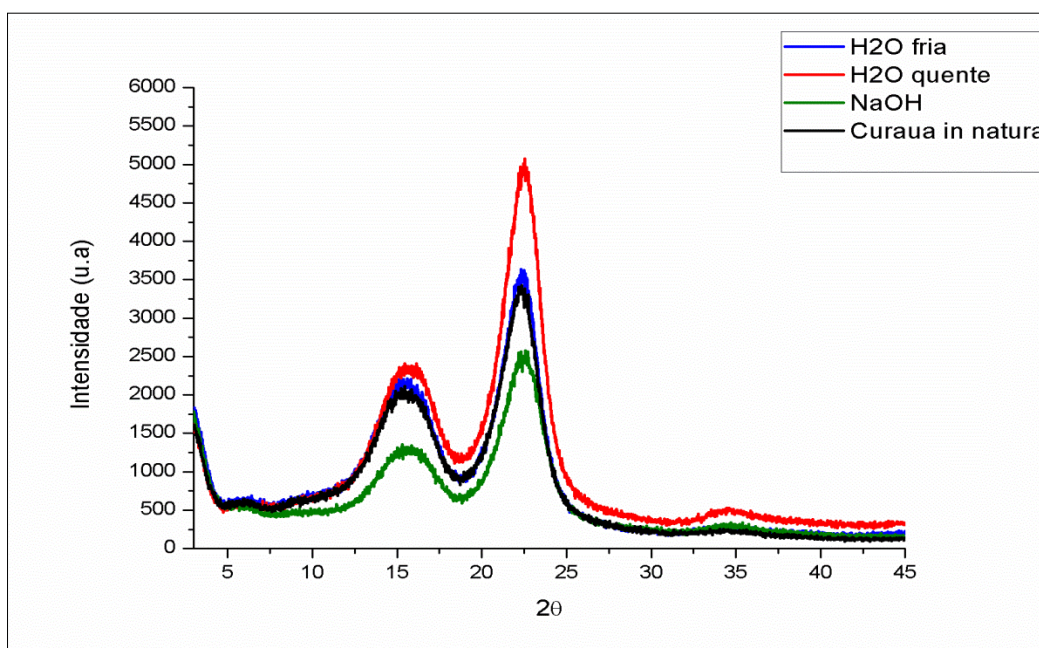


Figura 22. Difração das fibras tratadas e não tratadas

Fonte: Autora, 2014.

4.2.2 Índice de Inibição

Os valores obtidos no ensaio de inibição são demonstrados na tabela 24. A mistura do material ideal deve atingir a temperatura máxima (T_m) em menor tempo (t), com máximo incremento (S_m). O índice de inibição da mistura cimento-fibra de curauá *in natura* (sem tratamento) foi de 68,83 sendo considerada alta inibição de acordo com a tabela 7.

Tabela 24. Índice de inibição da fibra de curauá

Tratamento	Índice de inibição (%)
	Média
Sem tratamento	68,83 d
Água fria	19,96 c
Água quente	7,88 b
NaOH	1,21 a

^{a b c d} **Letras diferentes indicam diferenças estatísticas no Teste de Tukey ao nível de 1% de probabilidade.**

Fonte: Autora, 2014.

Os valores médios dos tratamentos foram estatisticamente inferiores que o da testemunha, sendo que o tratamento em água fria passou a ser classificada como média inibição e os tratamentos em água quente e NaOH passaram a ser classificados como baixa inibição, conforme tabela 7. O tratamento com o menor valor para o índice de inibição foi o NaOH. Esse tratamento foi estatisticamente diferente em relação aos demais tratamentos, sendo este tratamento que apresentou melhor compatibilidade química, quando comparado aos outros tratamentos e testemunha. Os tratamentos retiraram os extrativos, ceras, polifenóis, carboidratos, aumentando assim a compatibilidade química entre a matriz cimentícia e a fibra de curauá.

As temperaturas, o tempo e a taxa de variações máximas da pasta de cimento e das misturas de cimento-curauá tratadas e não tratadas podem ser observadas na tabela 25.

Tabela 25. Inibição: tempo, temperatura e taxa de variação máxima

Tratamento	Tempo para se alcançar a temperatura máxima (h)	Temperatura máxima (°C)	S máx (°C/h)
Sem fibra	12,09	42,1	-
Sem tratamento	2,1	23,77	0,32
Água Fria	16,16	25,65	1,05
Água Quente	17	27,22	4,67
NaOH	14,06	33,12	3,15

Fonte: Autora, 2014.

As curvas de hidratação, ao longo do tempo, do composto cimento-água, dos compósitos com fibra *in natura* (sem tratamento) e tratadas (água fria, água quente e NaOH) são mostradas na figura 23. Verifica-se o efeito inibitório desta fibra em relação às reações de hidratação do cimento, uma vez que a mistura cimento-água atingiu a temperatura máxima próxima a 42°C em 12h, enquanto o compósito cimento-água-fibra sem tratamento atingiu sua temperatura máxima 23,7°C em torno de 2h.

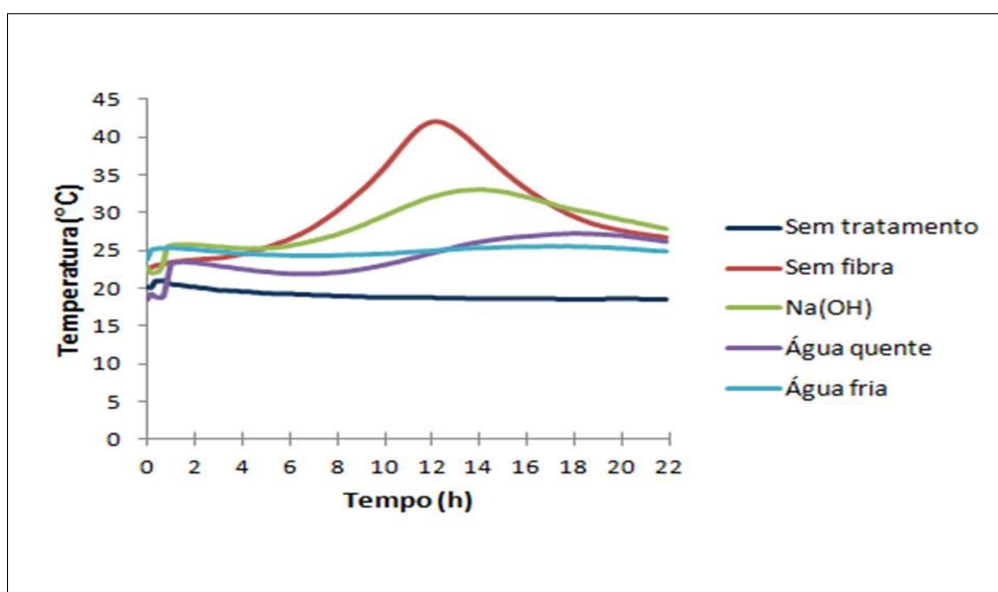


Figura 23. Curva da hidratação dos compósitos com fibra *in natura* e tratada

Fonte: Autora, 2014.

4.2.3 Densidade a Granel

O resultado obtido da densidade a granel das fibras de curauá e o comparativo com outras espécies são mostrados na tabela 26:

Tabela 26. Comparativo da densidade a granel das diferentes espécies de madeira

Espécie	Fonte	Densidade a granel
		kg/m ³
Curauá	Autora (2014)	67
Coco	Ferraz (2011)	57,94
Pinus spp	Brito et al. (1982)	177,5
Eucalyptus spp	Ribeiro e Machado (2005)	190
Acácia negra	Brito et al. (1982)	227,7

Fonte: Autora, 2014.

O valor médio da densidade a granel da fibra de curauá foi de 67 kg/m³. Pode-se notar que a densidade a granel das fibras de curauá, tiveram resultados próximos ao de outra fibra vegetal como o coco, porém quando comparadas as madeiras tradicionais empregadas na construção civil como pinus e eucalipto são consideravelmente menores, como consequência a fibra de curauá apresenta grande volume em relação ao peso.

4.3 CARACTERIZAÇÃO DOS PAINÉIS DE CIMENTO PORTLAND REFORÇADOS COM FIBRA DE CURAUÁ

Neste tópico são apresentados os resultados obtidos dos ensaios físico-mecânicos realizados nos painéis de cimento portland reforçados com fibra de curauá.

4.3.1 Variação da porcentagem das fibras de curauá

Os resultados das propriedades físicas e mecânicas dos painéis de cimento portland reforçados com fibra de curauá, variando o percentual de fibra são mostrados nas tabelas 27 e 28, respectivamente:

Tabela 27. Resultados obtidos da massa específica absorção de água e inchamento em espessura dos painéis

Tratamento	ME 12% (g/cm ³)	AA 2h (%)	AA 24h (%)	IE 2h (%)	IE 24h (%)
5%	1,63 a (8,03)	8,36 b (25,86)	8,77 b (24,35)	0,32 b (90,38)	0,62 b (56,27)
10%	1,54 b (10,64)	13,22 a (28,47)	15,37 a (26,10)	1,02 a (65,26)	1,68 a (48,75)
20%	-	-	-	-	-
36%	-	-	-	-	-

NOTA: Médias seguidas de letras diferentes na mesma coluna são estatisticamente diferentes pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade. Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação.

Onde: ME: massa específica; AA: absorção de água; IE: inchamento em espessura.

Fonte: Autora, 2014.

Tabela 28. Resultados obtidos do módulo de ruptura e módulo de elasticidade

Tratamento	MOR (MPa)	MOE (MPa)
5%	3,99 a (49,33)	1,949,75 a (59,72)
10%	3,23 a (50,06)	2.185,10 a (55,67)
20%	-	-
36%	-	-

NOTA: Médias seguidas de letras diferentes na mesma coluna são estatisticamente diferentes pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade. Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação.

Onde: ME: massa específica; AA: absorção de água; IE: inchamento em espessura.

Fonte: Autora, 2014.

Foi analisada a porcentagem padrão em painéis cimento-madeira (36%), porém não houve condições mínimas para a realização dos ensaios, devido à grande quantidade de fibra, com isso a quantidade de cimento não foi suficiente para a aglomeração das fibras na formação dos painéis.

As porcentagens que possibilitaram a realização dos ensaios foram de 5% e 10%. A massa específica dos painéis com 10% obtiveram valores médios estatisticamente menores quando comparados aos painéis de 5%, devido à maior incorporação das fibras vegetais nos painéis. Já os ensaios de absorção de água e inchamento em espessura foram estatisticamente maiores dos painéis com 10% de fibras, devido a natureza higroscópica dos materiais lignocelulósicos, como as fibras de curauá.

Os valores médios das propriedades mecânicas dos painéis não obtiveram diferença estatística quanto às porcentagens de 5% e 10%. Os painéis de cimento portland reforçados com fibra de curauá que tiveram melhor desempenho e visando o melhor desenvolvimento e a maior incorporação de fibras, a fim de verificar do efeito dos tratamentos, foi adotada a porcentagem de 10% para a análise da influência dos tratamentos realizados na fibra de curauá. As porcentagens 20% e 36% não apresentaram condições mínimas para realização dos ensaios, sendo descartados do estudo. Na figura 24 mostra os painéis de 20% e na figura 25 mostra os painéis de 36%:



Figura 24. Painéis com 20% de fibra de curauá

Fonte: Autora, 2014.



Figura 25. Painéis com 36% de fibra de curauá

Fonte: Autora, 2014.

Os painéis de cimento portland reforçados com fibra de curauá produzidos neste trabalho foram comparados com outros tipos de painéis, como aglomerados, compensados e OSB e estão relacionados na tabela 29:

Tabela 29. Resultados obtidos de outros tipos de painéis

Tipos de painéis		MOR (MPa)	MOE (MPa)
Aglomerados	Haselein <i>et al.</i> (2002)	23,2	2.825,60
Compensados	Albino <i>et al.</i> (2011)	22,19	2.292,10
OSB	Saldanha e Iwakri <i>et al.</i> (2009)	25,07	2.977,30
Cimento-Madeira	Autora (2014)	3,23	2.185,10

Fonte: Autora, 2014.

Onde: MOR: módulo de ruptura; MOE: módulo de elasticidade.

Os valores médios do módulo de elasticidade dos painéis aglomerados, compensados e OSB, assemelharam-se ao valor médio encontrado nesta pesquisa para painéis cimento-fibra de curauá. Já os valores médios do módulo de ruptura dos painéis, aglomerados, compensados e OSB, foram significativamente superiores ao valor médio encontrado para painéis de cimento-fibra de curauá.

4.3.2 Efeito dos tratamentos na fibra de curauá

Para análise do efeito dos pré-tratamentos realizados nas fibras de curauá na produção dos painéis foram obtidos os resultados dos valores médios das propriedades físicas, conforme mostrado na tabela 30.

Tabela 30. Resultados médios da massa específica aparente (12%), absorção de água e inchamento em espessura após 2 e 24 horas de imersão das fibras tratadas e não tratadas

Tratamento	ME 12% (%)	AA 2h (%)	AA 24h (%)	IE 2h (%)	IE 24h (%)
Testemunha	1,54 a (10,64)	13,22 a (28,47)	15,37 a (26,10)	1,02 a (65,26)	1,68 a (48,75)
Água Fria	1,59 a (8,54)	6,12 b (35,66)	7,38 b (30,96)	0,34 b (92,78)	0,51 b (81,41)
Água Quente	1,62 a (8,81)	4,44 c (34,84)	5,31 c (31,34)	0,22 b (105,64)	0,41 b (77,41)
NaOH	1,62 a (5,93)	4,53 c (25,45)	5,07 c (21,15)	0,22 b (93,49)	0,36 b (84,69)

Médias seguidas de letras diferentes na mesma coluna são estatisticamente diferentes pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade. Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação.

Onde: ME: massa específica; AA: absorção de água; IE: inchamento em espessura.

Fonte: Autora, 2014.

Os valores médios da massa específica dos painéis obtidos em cada tratamento foram considerados estatisticamente iguais. Isso ocorreu provavelmente devido ao controle em laboratório, durante a produção dos painéis, proporcionou a homogeneidade das massas específicas, não causando efeito sobre os tratamentos.

Os tratamentos realizados nas fibras de curauá apresentaram valores médios melhores que o da testemunha, que é demonstrado pela diferença estatística. Os resultados de AA após duas horas de imersão em água apontaram para o melhor desempenho do tratamento em água quente e em solução de 1% de NaOH com 4,44% e 4,53%, respectivamente, diferindo-se estatisticamente da testemunha (13,22%) e do tratamento em água fria (6,12%). Os valores médios encontrados após as vinte quatro horas de imersão em água apontaram o mesmo comportamento, sendo que os tratamentos em água quente (5,31%) e em solução em 1% de NaOH (5,07%) também obtiveram os melhores resultados quando comparados a testemunha (15,37%) e ao tratamento em água fria (7,38%).

As médias dos valores obtidos no ensaio de inchamento em espessura dos tratamentos realizados não proporcionaram diferença significativa, sendo que o tratamento em solução de 1% de NaOH obteve a menor porcentagem. Porém quando comparados ao da testemunha, os tratamentos melhoraram

significativamente. Os resultados de IE de imersão em água indicaram menor variação dimensional nos tratamentos realizados o que indica que os tratamentos promovem um aumento na resistência à umidade. Pode-se observar um alto coeficiente de variação para os ensaios de inchamento em espessura, esse fator está relacionado à irregularidade superficial que os painéis apresentaram. Na tabela 31 é apresentado o comparativo de outras espécies de madeira com as fibras de curauá:

Tabela 31. Propriedades físicas dos painéis cimento-madeira de diferentes espécies, segundo a literatura

Espécie	Autor	Propriedades físicas	
		AA 24h (%)	IE 24h (%)
Paricá	Iwakiri <i>et al.</i> (2012)	23,22 a 25,27	1,38 a 1,95
Embaúba	Iwakiri <i>et al.</i> (2012)	17,64 a 20,86	0,39 a 0,92
Fibra de coco	Ferraz (2011)	26,70 a 30,7	0,79 a 1,60
Fibra de curauá	Autora (2014)	5,07 a 15,37	0,36 a 1,68
<i>Hevea brasiliensis</i>	Okino <i>et al.</i> (2004)	15,70 a 18,50	0,87 a 1,20

Fonte: Autora, 2014.

Os valores médios do módulo de elasticidade na ruptura (MOR) e do módulo de elasticidade na flexão (MOE), segundo os tratamentos realizados na fibra, são mostrados na tabela 32:

Tabela 32. Médias do módulo de ruptura e do módulo de elasticidade à flexão estática

Tratamento	MOR (MPa)	MOE (MPa)
Testemunha	3,23 a (50,06)	2.185,10 a (55,67)
Água Fria	4,18 a (31,38)	2.711,15 a (36,75)
Água Quente	3,87 a (20,19)	2.210,00 a (31,18)
NaOH	3,55 a (25,52)	2.047,07 a (36,78)

Médias seguidas de letras diferentes na mesma coluna são estatisticamente diferentes pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade. Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação.

Onde: ME: massa específica; AA: absorção de água; IE: inchamento em espessura.

Fonte: Autora, 2014.

Com base nos resultados, pode-se notar que os tratamentos realizados não promoveram efeito significativo em relação à testemunha, não causando melhoria dos resultados, pois não houve diferença estatística entre os tratamentos e a testemunha. Na tabela 33 é apresentado o comparativo de outras espécies de madeira com as fibras de curauá:

Tabela 33. MOR e MOE dos painéis cimento-madeira, segundo a literatura

Espécie	Autor	Propriedades mecânicas	
		MOR (MPa)	MOE (MPa)
Paricá	Iwakiri <i>et al.</i> (2012)	6,48 a 7,91	2571 a 3586
Embaúba	Iwakiri <i>et al.</i> (2012)	6,81 a 8,32	2836 a 3539
<i>Eucalyptus grandis</i>	Iwakiri e Prata (2007)	6,47 a 8,32	3330 a 4780
Fibra de coco	Ferraz (2011)	1,84 a 2,60	634,3 a 1783,1
Fibra de curauá	Autora (2014)	3,23 a 4,18	2047,07 a 2711,15
<i>Hevea brasiliensis</i>	Okino <i>et al.</i> (2004)	4,8 a 8,7	4238 a 6280

Fonte: Autora, 2014.

Os painéis de cimento portland reforçados com fibra de curauá apresentaram valores superiores quando comparados aos painéis de cimento portland reforçados

com fibra de coco, porém quando comparadas a painéis de cimento portland reforçados com madeiras das espécies *eucalyptus grandis*, paricá, embaúba e *hevea brasiliensis*, os painéis reforçados com fibra de curauá obteve resultados consideravelmente inferiores.

5 CONCLUSÕES

Nesta pesquisa foi feita a caracterização físico-química das fibras de curauá, oriundas do Pará e a caracterização físico-mecânica de painéis cimentícios reforçados com fibras de curauá. Os resultados obtidos permitem chegar às seguintes conclusões:

A fibra de curauá *in natura* apresentou um alto índice de inibição, confirmando a necessidade de realizar tratamentos na fibra de curauá.

Os tratamentos aumentaram a compatibilidade, pois o índice de inibição reduziu, diferenciando estatisticamente da mistura com as fibras *in natura*. Os tratamentos que tiveram alta compatibilidade com o cimento foram água quente e NaOH. No entanto, na produção de painéis cimentícios reforçados com a fibra de curauá, os tratamentos realizados nas fibras não influenciaram nas propriedades mecânicas referentes ao módulo de ruptura à flexão e o respectivo módulo de elasticidade. Esse aspecto pode ser justificado pelo baixo teor de fibra utilizado.

De acordo com as variações do percentual de fibras, os teores que apresentaram melhores desempenhos foi os de 5% e 10%. O percentual adotado para análise da influência dos tratamentos foi 10% visando a maior incorporação das fibras. O aumento da porcentagem de fibra para 20% não apresentou condições mínimas de resistência para a realização dos ensaios.

Quanto as propriedades físicas dos painéis, todos os tratamentos reduziram o inchamento em espessura, não diferindo estatisticamente, já na absorção de água os tratamentos que obtiveram melhores desempenhos foram o de água quente e o de solução de 1% de NaOH.

6 REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. Normas Técnicas. NBR 7987 – Determinação de extrativos totais madeira, 2012.

_____ NBR 7988 – Determinação de extratíveis da madeira em água, 2012.

_____ NBR 7990 – Madeira - Determinação do material solúvel em hidróxido de sódio a 1%, 2010.

_____ NBR 11941 – Determinação do teor de umidade da madeira, 2003.

_____ NBR 5733 – Cimento Portland de alta resistência inicial, 1991.

_____ NBR 6922 – Carvão vegetal, ensaios físicos – Determinação da massa específica – Densidade a granel, 1981.

ASTM D 1037 – Standard test Methods for evaluating properties of Wood – Base Fiber and Particle Panel Materials, 1996.

TAPPI . Technical Association of the Pulp and Paper Industry. T 413 - Determinação do teor de cinzas da madeira, 2008.

TAPPI. Acid-insoluble lignin in wood and pulp. T 222 – Determinação do teor de lignina da madeira, 2006.

AGOPYAN, V.; SAVASTANO Jr., H.; JOHN, V. M., CINCOTTO, M. A. Developments on vegetable fibre – cement based materials in São Paulo: an overview. **Cement and Concrete Composites**, v. 27, p. 527 – 536, 2005.

ALBINO, V. C. S.; SÁ, V. A.; BULFALINO, L.; MENDES, L. M.; ALMEIDA, N. A. Avaliação das propriedades físico-mecânicas de painéis compensados de *Toona ciliata* M. Roem var. australis. **Cerne**, v.17, n.1, p. 103-108, Lavras, 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. 83-88, 2000.

ALMEIDA, R.; FILHO, T.; FILHO, M. J. Cement Composites reinforced by short curaua fibers. **Matéria**, v. 15, n. 2, p. 151 – 156, 2010.

AMARASEKERA, J.; SANTOS, J. C. G.; MANO, B.; PAOLI, M. A. The Curauá Challenge: Optimizing fibers. **Plastics Adtives e Compounding**, 2009.

ANDRADE, M. C. M.; MINHONI, M. T. A.; SANSÍGOLO, C., A.; ZIED, D. C. Análise química da maeira e casca de diferentes tipos de eucalipto antes e durante o cultivo de shiitake em toras. **Árvore**, v. 34, n.1, p. 165 – 175, 2010.

ANJOS, M. A.S.; GHAVAMI, K.; BARBOSA, N. P. Uso da Polpa de Bambu como Reforço de Matrizes Cimentícias. **Escola Técnica de Palmas**, Artigo Técnico p. 2 -4, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/colaborativo-portal/perguntas-frequentes.php?id=22>>. Acesso em: 08 de novembro de 2013.

BALEY, C. Analysis of the flax fibers tensile behavior and analysis of the tensile stiffness increase. **Composites**. Part A, p. 415-422, 2002.

BALONI, C.J.V. **Caracterização física e química da madeira de *Pinus elliottii***. Monografia. UEP. Itapeva. 2009.

BANNA, W.R.; FUJIYAMA, R.T.; SANTOS, I. P.; PEREIRA, L.C.O. Fibras de Bananeira como material de Engenharia. Artigo Científico, **COBENGE**, 2011.

BARROS, Alysson, R. F. **Compósitos hídridos: Desenvolvimento de configuração e efeitos de umidificação**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). UFRN, Natal, 2006.

BATISTON, Eduardo, R. **Incorporação de nanutubos de carbono em matriz de cimento Portland**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). UFSC, Florianópolis, 2012.

BAUER, Falcão, L.A. **Materiais de Construção**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

BAUER, R.J.F.; CURTI, R.; MARTINS, A.; TAKASHIMA, S. **Estudo e Característica Física e Mecânica do Concreto pelo Efeito de vários tipos de Cura**. Boletim Técnico, Bauer Centro Tecnológico de Controle de Qualidade LTDA, São Paulo, 2006.

BENTUR, A.; MINDESS, S. Fibre Reinforced Cementitious Composites. **2 ed. Modern Concrete Technology Series**, 2006.

BERALDO, A. L.; CARVALHO, J. V. Compósito *Eucalyptus grandis* – Cimento Portland. **Scientia Florestalis**, n 66, p 150 – 161, Piracicaba, 2004.

BERALDO, A. L.; PIMENTEL, L.L.; LIMA, I. L.; BARCHET, V. G. Efeito de Tratamentos Físicos - Químicos sobre a Resistência à Compressão de Compósitos Madeira-Cimento. **IN: Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira 6º**, artigo técnico, Florianópolis, v.4, p.261-271, 1998.

BERALDO, A.L.; VIEIRA, F.F. Argamassa com Adição de Fibras de Sisal. Artigo Científico, **V Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas**, p 1 – 9, São Paulo, 2003.

BERALDO, Antônio, L.; CHEN, Felix, K. C. H.; AZZINI, Anísio. Telhas onduladas de bambu – cimento. **Encontro Nacional sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis**, 10 p., São Carlos, 2003.

BERNARDI, S.T. **Avaliação do comportamento de materiais compósitos de matrizes cimentícias reforçadas com fibra de Arami Kevlar**. Dissertação (Mestrado). UFRGS. Rio Grande do Sul, 2003.

BETIOLI, A. M. **Degradação de fibras de PET em Materiais à base de Cimento Portland**. Dissertação (Mestrado). UFSC, Florianópolis, 2003.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G.; MURAMOTO, M.C.; COUTO, H.T. Z. Estimativa da densidade a granel do carvão vegetal a partir de sua densidade aparente. **Scientia Forestalis**, 1982.

CALLISTER, Jr.,W., D. **Ciência e engenharia dos materiais: uma introdução**; tradução Sérgio Murilo Stamile Soares.7. Ed – [Reimpr.] – Rio de Janeiro: LTC, 2009.

CARVALHO, L.,H. Propriedades Mecânicas de Tração de Compósitos Poliéster/Tecidos Híbridos Sisal/Vidro. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v.16,n.1, p. 33-37, 2006.

CASSILHA, A. C.; PODLASEK, C. L.; CASAGRANDE, E. F.; SILVA, M. C.; MENGATTO, S. N. F. Indústria moveleira e resíduos sólidos: Considerações para o equilíbrio ambiental. **Revista Educação e Tecnologia**, 2011.

CASTRO, P. O. **Biocompósitos a partir de Biopolietileno de alta densidade reforçado com fibra de curauá**. Dissertação (Mestrado). USP, São Carlos, 2010.

CENTRO DE APOIO A PROJETOS DE AÇÃO COMUNITÁRIA. Disponível em: <<http://www.ceapac.org.br/exibir-atividades.php?id=9>>. Acesso em : 08 de novembro de 2013.

CORRÊA, A. C.; TEIXEIRA, E. M.; MARCONCINI, J. M.; PESSAN, L. A.; MATTOSO, L. H. Nanofibras de celulose a partir de fibras de curauá. **Congresso Brasileiro de Polímeros**, 2009.

CORREIA, V.C. **Produção e Caracterização de Polpa organossolve de Bambu para reforço de matrizes cimentícias**. Dissertação (Mestrado). USP, Pirassununga, 2011.

COSTA M. R.; LAMEIRA, O. A.; YOSHINO, V.C. Caracterização genética do Curauá *Ananas erectifolius* através de marcadores para RAPD. **Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento**, nº 26, jun, 2002.

DEDAVID, B. A.; GOMES, C. I.; MACHADO, G. Microscopia eletrônica de varredura: aplicações e preparação de amostras: materiais poliméricos, metálicos e semicondutores. **EDIPUCRS**. ISBN 978 – 85 – 7430 – 702 – 2 , Porto Alegre, 2007.

ERENO, D. Fibra para toda obra. **Revista Tecnológica Novos Materiais**, FADESP. Belém, Ed. 104, p 70 – 75, 2004.

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**, n. 36, p. 135 – 140, 2012.

FERRAN, M.F.; VILAPLASMA, F.; AMPARO, R.G.; BORRÁS, B.A.; CONCHA, S.B. Flour Rice husk as filler in block copolymer polypropylene: Effect of different coupling agents. **Science**, vol. 99, 2006.

FERRAZ, J. M.; **Produção e Propriedades de Painéis de Fibra de Coco Verde (Cocos nucifera L.) em Mistura com Cimento Portland**. Dissertação (Mestrado). UnB, Brasília, 2011.

FERREIRA, J. F.; SBRUZZI D.; BARROS, K. V. G.; MACHADO, I.S.; TAMBOURGI, E. B. Purificação da Enzima Bromelina presente no Curauá (*Ananas erectifolius* L.B.Smith) variedade roxa, por sistema bifásico aquoso PEG 4000 (Fosfato de Potássio). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.13, n.2, p.197-202, Campina Grande, 2011.

FERREIRA, J.F.; SBRUZZI, D.; BARROS, K.V.G.; MACHADO, I. S.; TAMBOURGI, E.B. Extração e Caracterização de uma Enzima Proteolítica do Curauá (*Ananas erectifolius*). Artigo Científico, **Exacta**, v 8, n 2, p 179 – 184, São Paulo, 2010.

FILHO, Romildo, D. T.; GHAVAMI, Khosrow; ENGLAND, George, L.; SCRIVENER, Karen. **Development of vegetable fibre–mortar composites of improved durability**. Cement and Concrete Composite, p. 185 – 196, 2003.

GARCIA, D.P.; CARASCHI, J.C.; VENTORIM, G. **Caracterização energética de pellets de madeira**. 7º Congresso internacional de bioenergia, 2013.

GAVA, M. **Viabilidade técnica e econômica da produção de componentes construtivos para habitação social utilizando madeira serrada de pinus de terceira classe de qualidade**. Dissertação (Mestrado). USP, São Carlos, 2005.

HASELEIN,C.R.; CALEGARI, L.; BARROS, M.V.; PAULESKI, D. T.; POZZERA, F. Resistência mecânica e à umidade de painéis aglomerados com partículas de madeira de diferentes dimensões. **Ciência Florestal**, v.12, n. 2, p. 127-137, Santa Maria, 2002.

HOFSTRAND, A.D.; MOSLEMI, A.A.; GARCIA, J.F. Curing characterisitcs of Wood particles from nine northern Rocky Mountain species mixed with portland cement. **Forest**, v. 34, n.2, p. 57 – 61, 1985.

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, Princeton, 2001.

IOZZI, M. A.; MARTINS, G.S.; MARTINS M.A.; FERREIRA, F. C.; JOB, A. E.; MATTOSO, L. H. C. Estudo da influência de Tratamentos Químicos da Fibra de Sisal

nas Propriedades de Compósitos com Borracha Nitrílica. **Polímeros Ciência e Tecnologia**, vol 20, nº 1, p 25 – 32, 2010.

IWAKIRI, S. **Painéis cimento madeira**. Disponível em <
<http://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=5&ved=0CD4QFjAE&url=http%3A%2F%2Fwww.madeira.ufpr.br%2Fdisciplinassetsuo%2Fs etsuo-pcm.pdf&ei=9bBzU-yrPPHgsAS-p4H4Cg&usq=AFQjCNEybcPrOo0T0CfGy6FjOqDoh5liyw&sig2=Cl6slw7z0hyLYK1R3N381w>> Acesso em : 08 de novembro de 2013.

IWAKIRI, S. **Painéis de Madeira Reconstituída**. FUPEF. Curitiba, 2005.

IWAKIRI, S.; PRATA, J. G. Utilização da madeira *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii* na produção de Painéis de Cimento-Madeira. **Cerne**, Lavras, v. 4, n. 1, p. 68-74, 2008.

IWAKIRI, S.; SILVA, L. S.; TRIANOSKI, R.; BONDUELLE, G. M. ROCHA, V. Y. Avaliação do Potencial de utilização da madeira de *Schizolobuem amazonicum* “Paricá” e *Cecropia hololeuca* “Embaúba” para a produção de painéis cimento – madeira. **Cerne**, v.18, n.2, p. 303 – 308, Lavras, jun, 2012.

KABIR, M. M.; LAU, H. W. K. T.; CARDONA, F. Chemical treatments on plant – based natural fibre reinforced polymer composites. **Elsevier. Composites: Part B**, v. 43, p. 2883 – 2892, 2012.

LATORRACA, João, V.F.; IWAKIRI, Setsuo. Efeitos do Tratamento das partículas de *Eucalyptus dunnii* (Maid), da variação da relação madeira – cimento e do uso de aditivos sobre as propriedades físicas e mecânicas de Chapas de madeira – cimento. **Cerne**, v. 6, n. 1, p. 068 – 076, 2000.

LEDO, I. A. M. **O cultivo do curauá no lago grande da França. Banco de crédito da Amazônia S/A**, 2005.

LENGOWSKI, E. C.; MUNIZ, G. I. B.; NISGOSKI, S.; MAGALHÃES, W. L. E. Avaliação de métodos de obtenção de celulose com diferentes graus de cristalinidade. **Scientia Forestalis**, v. 41, n. 98, p. 185 – 194, Piracicaba, jun, 2013.

LOPES, F.F.M.; ARAUJO, G.T.; NASCIMENTO, J.W.B.; GADELHA, T. S.; SILVA, V.R. Estudo dos efeitos da acetilação em fibras de sisal. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n. 7, p. 783-788, 2010.

MACÊDO, A. N.; LIMA A. M.; FONSECA F. O.; LAVÔR B. V. A. Análise Estatística do Comportamento Mecânico à Compressão do Compósito Cimento – Madeira. **Revista Matéria**, v. 16, n. 2, pp. 658 – 667, 2011.

MACÊDO, A. N.; SOUZA A.A.C.; NETO B.B.P. Chapas de cimento madeira com resíduos de indústria madeireira da região Amazônica. **Associação Nacional de Tecnologia de Ambiente Construído**, v. 12, n. 2, p. 131-150, Porto Alegre, 2012.

MACHADO, B.A.S **Desenvolvimento e caracterização de filmes flexíveis de amido de mandioca com nanocelulose de coco**. Dissertação (Mestrado). UFB. Salvador, Bahia, 2011.

MADEN, B.; GANSTEDT, E. K. Wood versus Plant Fibers: Similarities and Differences in Composite Applications. **Advances in Materials Science and Engineering**, 2013.

MANZATTO, C. V.; FREITAS Jr., E.; PERES, J. R. R. Uso agrícola dos solos brasileiros. **Embrapa Solos**, Rio de Janeiro, 2002.

MARINELLI, Alessandra L.; MONTEIRO, Marcos R.; AMBRÓSIO José D.; BRANCIFORTI, Márcia C.; KOBAYASHI, Márcio; NOBRE, Antonio D. Desenvolvimento de Compósitos Poliméricos com Fibras Vegetais Naturais da Biodiversidade: Uma contribuição para a sustentabilidade Amazônica. **Polímeros, Ciência e Tecnologia**, v. 18, n. 2, p. 92 – 99, 2008.

MATOSKI, A. **Utilização de Pó de Madeira com Granulometria Controlada na Produção de Painéis de Cimento Madeira**. Tese (Doutorado). UFPR, Curitiba, 2005.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P.J.M. Concreto: **Estrutura, Propriedades e Materiais**. 3. ed. IBRACON, 2008.

MIOTTO, José, L.; DIAS, Antônio, A. Reforço e recuperação de estruturas de madeira. **Ciências Exatas e Tecnológicas**, v.27, n. 2, p. 163 – 174, dez, 2006.

MONTEIRO, S.N.; AQUINO, R.C.M.P; LOPES, F.P.D; CARVALHO, E.A.; ALMEIDA, R.M. Comportamento e Características Estruturais de Compósitos Poliméricos Reforçados com fibras contínuas e alinhadas de Curauá. **Revista Matéria**, v 11, n 3 p 197 – 203, Rio de Janeiro, 2006.

MORI, Fábio, A.; LOPES, Yústane, L. V.; MENDES, Lorival, M.; LATORRACA, João, V. F. Estudo da compatibilidade entre a madeira e as cascas de *Eucalyptus grandis* e cimento portland. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.17, n. 3, p. 257-264, 2007.

MOSLEMI, A. A.; GARCIA, J. F.; HOFSTRAND, A. D. Effect of various treatments and addtives on Wood – Portland Cement – Water Systems. **Wood and Fiber Science**, v. 15, n. 2, p. 164 – 176, 1983.

MOSLEMI, Award. A.; MANGALA, Pierre. The Hydration Behavior of Kraft and CMP/RMP Pulp and Paper Sludge – Portland Cement Mixtures. **Inorganic – Bonded Wood and Fibre Composite**, v. 4, p. 12 – 18, 1995.

MOTHÉ, C.G.; ARAUJO, C. R. Caracterização Térmica e Mecânica de Compósitos de Poliuretano com fibras de Curauá. **Polímeros Ciência e Tecnologia**, vol 14, nº 4, p 274 – 278, 2004.

MOTTA, L. A. C.; AGOYPAN, V.; JHON , V. M. **Caracterização de fibras curtas empregadas na Construção Civil**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, São Paulo, 2007.

OKINO, Esmeralda, Y. A.; SOUZA, Mário, R. de; SANTANA, Marcos, A. E.; SOUSA, Maria, E. de; TEIXEIRA, Divino, E. Chapa Aglomerada de Cimento – Madeira de *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. **Revista Árvore** , v. 28, n. 3, Viçosa, jun. 2004.

OLIVEIRA, F. B.; TEIXEIRA, E. M.; TEODORO, K. B. R.; MARCONCINI, J. M.; MATTOSO, L. H. C. Obtenção de nanofibras de celulose a partir de fibras de sisal para atuar como reforço em matrizes biodegradáveis. **Congresso Brasileiro de Polímeros**, 2009.

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, 2013.

ORNAGUI Jr., H.L; SILVA, H. S. P.; ZATTERA, A. J.; AMICO, S. C. Dynamic Mechanical Properties of curaua Composites. **Polymer Science**, v. 125, 2011

PAULA, Luana, E. R.; MENDES, Lourival, M.; REZENDE, Raphael, N.; ARANTES, Marina, D. C. Efeito da temperatura e tempo de vaporização na cura de painéis cimento madeira. **Cerne**, v. 15, n. 4, p. 439 – 447, Lavras, dez, 2009.

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, p. 59 – 65, 2004.

PEMATEC TRIANGEL. Disponível em : <<http://www.pematec.com.br/curaua.htm>>
Acesso em : 08 de novembro de 2013.

PICANÇO, M. S. **Compósitos cimentícios reforçados com fibras de Curauá**. Dissertação (Mestrado). PUC, Rio de Janeiro, 2005.

PICANÇO, M., S.; GHAVAMI, K. Comportamento à compressão de argamassas reforçadas com fibras vegetais da Amazônia. **REM:R. Esc**, Ouro Preto, p 13-18, 2008.

PIMENTEL, L.L.; CAMARINI G. Avaliação de Compósitos Biomassa Vegetal – Cimento Modificados por Polímero. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, n.1, p. 26 – 33, 2005.

POMARICO, Fernanda, .A. **Potencial de utilização da madeira de Clones de Eucalipto na Produção de Painéis – Cimento**. Dissertação (Mestrado). UFLA, Lavras, 2013.

REVISTA DA MADEIRA (REMADE). Disponível em:<
http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=323&subject=Cimento> Acesso em : 08 de novembro de 2013.

RIBEIRO, A.S.; MACHADO, A.A. Carbonização de resíduos do processamento mecânico da madeira de eucalipto. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 1, p1-7, 2005.

ROSA, S.M.L. **Estudo das propriedades de compósitos de polipropileno com casca de arroz**. Dissertação (Mestrado). UFRGS, Porto Alegre, 2007.

SÁ, V. A.; BUFALINO, L.; ALBINO, V.C.S.; CORRÊA, A. A.; MENDES, L. M.; ALMEIDA, N. A. Mistura de três espécies de reflorestamento na produção de painéis cimento – madeira. **Revista Árvore**, v. 36, n. 3, p. 549 – 557, Viçosa, 2012.

SÁ, V. A.; MENDES, L.M.; COUTO A. M.; LIMA N.N. Manufatura de painéis cimento madeira de cedro australiano (*Toona aliata M. Roem var australis*) de diferentes procedências e idade. **Scientia Florestalis**, v 38, n 88, p. 559 – 566, Piracicaba, 2010.

SALDANHA, L. K. ; IWAKIRI, S. Influência da densidade e do tipo de resina nas propriedades de painéis OSB de Pinus taeda L. **Revista Floresta**, v.39, n.3, p. 571-576, Curitiba, PR, 2009.

SANTOS, R. C.; CARNEIRO, A. C. O.; CASTRO, A. F. N. M.; CASTRO, R. V. O.; PIMENTA, A. S.; ARAÚJO, S. O.; ATAÍDE G. M. Efeito inibidor da madeira de candeia em misturas com aglutinantes minerais. **Scientia Forestalis**, v. 40, n. 93, p. 113 – 119, 2012.

SANTOS, R. C.; MENDES, L. M.; MORI, F. A.; MENDES, R. F. Aproveitamento de resíduos da madeira de Candeia (*Eremarthus erythropappus*) para produção de painéis cimento – madeira. **Cerne**, v. 14, n. 3, p. 241 – 250, Lavras, set, 2008.

SAVASTANO Jr., H. **Materiais à Base de Cimento Reforçados com Fibra Vegetal: Reciclagem de Resíduos para Construção de Baixo Custo**. Tese (Doutorado). USP, São Paulo, 2000.

SAVASTANO, Jr. H.; SANTOS, S. **Uso de resíduos em Construção**. Com ciência: Revista eletrônica de jornalismo científico, 8 ed., 2008.

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.

SILVA F.A.; K. GHAVAMI; D' ALMEIDA J.R.M. Comportamento ao Impacto de Materiais Compósitos Cimentícios Reforçados com Polpa de Bambu. Artigo Científico, **Associação Brasileira de Materiais e Tecnologias Não Convencionais**, p 1 – 11, Rio de Janeiro, 2004.

SILVA, C.,A. **Estudo da Durabilidade de Compósitos Reforçados com Fibras de Celulose**. Dissertação (Mestrado). UPE, São Paulo, 2002.

SILVA, F.A.; GHAVAMI, K.; ALMEIDA, J.R.M. Comportamento ao impacto de materiais compósitos cimentícios reforçados com polpa de bambu. **NOCMAT**, p. 1 – 11, Pirassununga, Nov, 2004.

SILVA, G. C.; LATORRACA, J. V. F.; CARMO, J. F.; FERREIRA, E. S. Efeito de aditivos minerais sobre as propriedades de chapas cimento – madeira. **Árvore**, v. 30, n. 3, p. 451 – 456, Viçosa, 2006.

SILVA, H. S. P. **Desenvolvimento de Compósitos Poliméricos com fibras de Curauá e Híbridos com fibras de vidro**. Dissertação (Mestrado). UFRGS, Porto Alegre, 2010.

SILVA, M.G.; SILVA, V. G. **Painéis de Vedação**. Bibliografia Técnica. Açominas S/A e Gerdau S/A, p. 8 – 31, 2004.

SPINACÉ, M.A.S.; JANEIRO, L.G.; BERNADINO, F.C.; GROSSI, T.A.; PAOLLI, M.A. Poliolefinas reforçadas com fibras vegetais curtas: sisal x curauá. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 21, n 3, São Carlos, 2011.

SOARES, I.M. **Produção e Caracterização de Compósitos de Matriz de Epóxi Reforçada com fibra de Rami para fins de reforço Estrutural**. Dissertação (Mestrado). UFU, Uberlândia, 2012.

SOUZA, M.C.H.; REIS, E.R.; SERAFIM, K.P.; PEDRAZZI, C.; FRIZZO, S.M.B. Variação da densidade a granel de cavacos de *Eucalyptus saligna* em função das suas dimensões e da umidade. **ABTCP**. Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2002.

SUSTAINABLE. Disponível em:
<http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/browse?type=subject&value=Sustainable+development>. Acesso em: 28/11/2014

TOMCZAK, F. **Estudos sobre a estrutura e propriedades de fibras de coco e curauá do Brasil**. Tese (Doutorado). UFPR, Curitiba, 2010.

TROYA, N. L. **Propriedades mecânicas de compósito lignocelulósico produzido a partir de madeira de *Eucalyptus grandis*, bambu da espécie *Guadua angustifolia* e cimento Portland**. Monografia. UNESP, Itapeva, 2010.

VIEIRA, E. S. **Análise comparativa de sistema de impermeabilização incorporando como estruturante fibra de sisal e de poliéster**. Dissertação (Mestrado). UFF, Niterói, 2008.

VIANA, L.V. **Desenvolvimento de fios celulósicos nanoestruturados a partir da polpa Kraft de *Pinus spp***. Tese (Doutorado). UFPR, Curitiba, Paraná, 2013.

WANG, Y.; WU, H. C.; LI, V. C. Concrete reinforcement with recycled fibers. **Journal of Materials in Civil Engineering**, p. 314 – 319, Nov., 2000.

WEI, Yi M.; TOMITA, Bunichiro. Effects of Five additive materials on mechanical and dimensional properties of Wood cement – bonded boards. **The Japan Wood Research Society**, p. 437 – 444, Japão, dez. 2001.

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.

ZOULALIAN, André; MOUGEL, Eric; BERALDO, Antonio, L. **Dimensionally Stable Cement – Bonded Particleboard**. Inorganic – Bonded Wood and Fibre Composite, v. 4, p. 19 – 24, 1995.

ZUGENMAIER, P. Crystalline cellulose and derivatives. **Characterization and Structures**. Berlim: Springer – Verlaq, p. 175 – 206, 2008.