

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA
FILHO”
CAMPUS EXPERIMENTAL DE ITAPEVA

RENATO MARINI RONQUIM

**PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-MECÂNICA
DO COMPÓSITO CIMENTO-MADEIRA COM VARIAÇÃO
GRANULOMÉTRICA DOS RESÍDUOS
LIGNOCELULÓSICOS**

Itapeva - SP
2013

RENATO MARINI RONQUIM

**PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-
MECÂNICA DO COMPÓSITO CIMENTO-MADEIRA COM
VARIAÇÃO GRANULOMÉTRICA DOS RESÍDUOS
LIGNOCELULÓSICOS**

Trabalho de Graduação apresentado no Campus Experimental de Itapeva - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", como requisito para a conclusão do curso de Engenharia Industrial Madeireira.

Orientador: Prof.^a Dr.^a Cristiane Inácio de Campos

Itapeva - SP
2013

Ronquim, Renato Marini

R773p Produção e caracterização físico-mecânica do compósito cimento-
madeira com variação granulométrica dos resíduos ligno-celulósicos /
Renato Marini Ronquim. -- Itapeva, SP, 2013
46 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (bacharelado - Engenharia
Industrial Madeireira) - Universidade Estadual Paulista, Câmpus de
Itapeva, 2013
Orientador: Profª. Drª. Cristiane Inácio de Campos
Banca examinadora: Profª. Drª. Maristela Gava; Prof. Dr. Alexandre
Jorge Duarte Souza
Bibliografia

1. Resíduos. 2. Materiais compostos. 3. Cimento. I. Título. II.
Itapeva - Curso de Engenharia Industrial Madeireira.
CDD 620.135

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA
FILHO”
CAMPUS EXPERIMENTAL DE ITAPEVA

**PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-MECÂNICA
DO COMPÓSITO CIMENTO-MADEIRA COM VARIAÇÃO
GRANULOMÉTRICA DOS RESÍDUOS
LIGNOCELULÓSICOS**

RENATO MARINI RONQUIM

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO
COMO PARTE REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
GRADUADO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL MADEIREIRA

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO
DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL MADEIREIRA

Prof. Dr. Carlos Alberto Oliveira de Matos
Coordenador de Curso

BANCA EXAMINADORA:

Prof.^a Dr.^a Cristiane Inácio de Campos
Orientador – Campus Experimental de Itapeva/UNESP

Prof.^a Dr.^a Maristela Gava
Campus Experimental de Itapeva/UNESP

Prof. Dr. Alexandre Jorge Duarte Souza
Campus Experimental de Itapeva/UNESP

RESUMO

A necessidade de diminuir danos ambientais e agregar valor a resíduos faz com que cada vez mais novas alternativas apareçam para unir estes dois pontos. Um dos principais modos de se conseguir isto em indústrias madeireiras é a utilização dos resíduos para a confecção de painéis. Este trabalho teve como objetivo o estudo da influência da granulometria das partículas de eucalipto na densidade e resistência mecânica a compressão de compósitos cimento madeira. Para a realização deste estudo foi efetuada a produção e caracterização físico-mecânica de corpos de prova, utilizando o cimento portland, água e resíduos de eucalipto. A metodologia constituiu-se de um estudo estatístico dos resultados obtidos através do cálculo de densidade aparente e ensaios de compressão axial e uma posterior comparação destes resultados com outras pesquisas. Os resultados mostraram que existem diferenças significativas na densidade e na resistência a compressão quando utilizado granulometrias diferentes das partículas de eucalipto. De forma geral, quanto menor a granulometria, menor será a resistência a compressão e maior será a densidade, quando os corpos de prova forem produzidos com o mesmo traço.

Palavras-chave: Resíduos. Compósito. Cimento-madeira.

ABSTRACT

The need to reduce environmental damage and add value to waste causes more and more new alternatives appear to unite these two points. One of the main ways to achieve this in timber industries and the use of waste for making panels. This work was aimed at studying the influence of particle size and density in Eucalyptus mechanical compressive strength of cement composite wood. For this study was performed production and physico-mechanical characterization of specimens, using portland cement, water and waste eucalyptus. The methodology consists of a statistical study of the results obtained by calculating the density and axial compression tests and a subsequent comparison of these results with other studies. The results showed that there are significant differences in density and compressive strength when using different particle sizes the particles of eucalyptus. In general, the smaller the particle size, the lower the compression strength and the greater the density when the samples are produced with the same trait.

Keywords : Waste. Composite. Cement-wood.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Anexo H: Codificação de alguns resíduos classificados como não perigosos.....	5
FIGURA 2 – Pasta do mesmo cimento Portland com diferentes relações água/cimento: da esquerda para direita e de cima para baixo: 0,60, 0,50, 0,40 e 0,30.	11
FIGURA 3 – Composição dos cimentos portland comuns e compostos	14
FIGURA 4 – Evolução média de resistência a compressão dos distintos tipos de cimento portland.....	15
FIGURA 5 – Nome, sigla e a classe dos tipos de cimento portland em 1997	16
FIGURA 6 – Influência dos tipos de cimentos nas argamassas e concretos	17
FIGURA 7 – Aplicação dos diferentes tipos de cimento portland.....	18
FIGURA 8 – Propriedades dos constituintes do compósito cimento madeira	21
FIGURA 9 – Picador de facas, modelo MA 680/3 e marca Marconi.....	24
FIGURA 10 – Moinho do tipo martelo, modelo MA-680 e marca Marconi.....	24
FIGURA 11 – Agitador de peneiras.....	25
FIGURA 12 – Produção dos corpos de prova	39
FIGURA 13 – Balança semi-analítica.....	30
FIGURA 14 – Paquímetro digital	30
FIGURA 15 – Máquina de ensaios universal (EMIC)	31

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Tratamento dos corpos de prova.....	25
TABELA 2 – Valores médios e desvios padrões dos resultados obtidos	33
TABELA 3 – Valores médios e teste Tukey para a densidade	33
TABELA 4 – Valores médios e teste Tukey para a compressão axial.....	35

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1 Definição de resíduos sólidos.....	4
3.2 Resíduo sólido pó de serra na indústria madeireira	6
3.3 Questão ambiental	7
3.4 Compósito cimento-madeira.....	9
3.4.1 Cimento portland	10
3.4.2 Compósito cimento-madeira.....	19
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	23
4.1 Materiais Utilizados	23
4.1.1 Madeira	23
4.1.2 Cimento	26
4.1.4 Água	26
4.2 Equipamentos Utilizados	27
4.3 Preparação dos corpos de prova	28
4.4 Análise dos corpos de prova	29
4.4.1 Densidade aparente	29
4.4.2 Compressão axial.....	31
4.4.3 Análise estatística.....	32
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32
5.1 Densidade aparente	33
5.2 Compressão axial.....	34
6. CONCLUSÃO.....	36
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37
ANEXOS	40

1. INTRODUÇÃO

A crescente preocupação com o meio ambiente tem mudado as diretrizes da sociedade em todo o mundo, principalmente no que se refere à destinação do lixo produzido. As indústrias estão sendo obrigadas a dar um destino correto aos resíduos gerados para não serem multadas. Essa destinação correta dos resíduos acaba gerando um alto gasto e como a fiscalização em algumas regiões é precária, muitos proprietários se arriscam, livrando-se destes resíduos de forma inadequada, causando danos ao meio ambiente.

Nos últimos anos, a preocupação com a reciclagem, reutilização e exploração racional dos recursos naturais é cada vez maior, visto que grande parte das matérias primas vem se tornando escassa, principalmente pela falta de planejamento em relação a sua utilização.

A indústria madeireira é um segmento deficiente em tecnologia e planejamento na utilização da matéria-prima, gerando grande quantidade de resíduos provenientes do beneficiamento da madeira. Estes resíduos, vistos anteriormente como material de descarte e que sempre provocaram prejuízo econômico e danos ao meio ambiente, estão sendo cada vez mais objeto de pesquisas com objetivo de minimizar os problemas ambientais, e também se tornar uma fonte de agregação de valor aos resíduos antes descartados aleatoriamente.

Os resíduos da indústria madeireira podem ter diversas utilidades, como por exemplo, geração de energia, para a compostagem na forma de adubo, ou ainda na fabricação de painéis, entre outros. A fabricação de painéis vem se mostrando como uma das alternativas que mais agrega valor.

Uma das opções de aproveitamento de resíduos que vem sendo objeto de estudo há vários anos é o compósito cimento-madeira, sua produção é simples, barata e agrega bastante valor aos resíduos. São produzidos através da mistura de cimento Portland, água e partículas de madeira, podendo em alguns casos conter aditivos. As principais vantagens desse material é o fato de não necessitar uma prensagem a quente para a cura, economizando uma grande quantidade de energia quando comparado a produção de outros tipos

de painéis. Um aspecto de muito destaque também é a possibilidade de ser moldado em diferentes formatos.

Os compósitos cimento-madeira foram criados em escala industrial nos anos 1970, na Alemanha e possuem grande aceitação em outros países, sendo utilizados principalmente, na construção civil. São considerados bons isolantes térmicos e acústicos, incombustíveis, resistentes ao ataque de agentes biodegradadores, apresentam alta estabilidade dimensional e são de fácil trabalhabilidade.

O seu uso é bastante amplo, podendo ser utilizado para decoração, isolamento térmico e acústico, paredes, divisórias, pisos, entre outros. Porém, no Brasil ainda não é um produto utilizado em escala industrial, principalmente devido ao preconceito, falta de oferta e a falta de conhecimento.

Com base nestas informações é que se pretende estudar melhores alternativas para a produção de um compósito cimento-madeira que apresente boas características, utilizando resíduos de madeira de reflorestamento com variação granulométrica.

2. OBJETIVOS

Este trabalho tem por objetivo principal a produção e caracterização físico-mecânica do compósito cimento-madeira com variação granulométrica dos resíduos lignocelulósicos.

Os objetivos específicos foram:

- a) Estudar a influência da granulometria das partículas de *Eucalyptus grandis* na densidade do compósito cimento-madeira;
- b) Estudar a influência da granulometria das partículas de *Eucalyptus Grandis* na resistência a compressão do compósito cimento-madeira;
- c) Análise comparativa dos resultados com base em trabalhos anteriores.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica que serviu de embasamento teórico para o desenvolvimento do presente estudo e foi dividida em 4 itens, sendo eles:

- Definição de Resíduos Sólidos;
- Resíduos da indústria madeireira;
- Questão Ambiental;
- Compósito cimento-madeira como alternativa de aproveitamento de resíduo;

3.1. Definição de resíduos sólidos

Resíduos sólidos: Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível (ABNT NBR 10004, 2004).

A classificação de resíduos envolve a identificação do processo ou atividade que lhes deu origem e de seus constituintes e características e a comparação destes constituintes com listagens de resíduos e substâncias cujo impacto à saúde e ao meio ambiente é conhecido.

A identificação dos constituintes a serem avaliados na caracterização do resíduo deve ser criteriosa e estabelecida de acordo com as matérias-primas, os insumos e o processo que lhe deu origem (ABNT NBR 10004, 2004).

Segundo a ABNT NBR 10004 (2004, p. 3), os resíduos são classificados em duas classes, sendo:

- Resíduos classe I – Perigosos;
- Resíduos classe II – Não perigosos.

- Resíduos classe II A – Não inertes;
- Resíduos classe II B – Inertes.

Resíduos classe II: Os códigos para alguns dos resíduos para essa classe encontram-se no anexo H da norma citada, como mostra a Figura 1.

Figura 1 – Anexo H: Codificação de alguns resíduos classificados como não perigosos

Código de identificação	Descrição do resíduo	Código de identificação	Descrição do resíduo
A001	Resíduo de restaurante (restos de alimentos)	A009	Resíduo de madeira
A004	Sucata de metais ferrosos	A010	Resíduo de materiais têxteis
A005	Sucata de metais não ferrosos (latão etc.)	A011	Resíduos de minerais não-metálicos
A006	Resíduo de papel e papelão	A016	Areia de fundição
A007	Resíduos de plástico polimerizado	A024	Bagaço de cana
A008	Resíduos de borracha	A099	Outros resíduos não perigosos
NOTA Excluídos aqueles contaminados por substâncias constantes nos anexos C, D ou E e que apresentem características de periculosidade.			

Fonte: (ABNT NBR 10004, 2004, p. 71)

Como verificado na Figura 1, os resíduos de madeira são classificados como não perigosos, no entanto, basta saber se são da classe II A ou classe II B., sendo identificados com o código A009.

Os resíduos classe II A – Não inertes podem ter propriedades, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

Os resíduos classe II B – Quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa, segundo a ABNT NBR 10007 (2004), e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou desionizada, à temperatura ambiente, conforme ABNT NBR 10006 (2004), não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de portabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor, conforme anexo G da norma citada.

Sendo a madeira um material com propriedades biodegradáveis, combustibilidade e também de alguns componentes químicos serem solúveis

em água, os resíduos de madeira são classificados como não perigosos e não inertes (classe II A).

Segundo a definição proposta pela Organização Mundial de Saúde (OMS), um resíduo é algo que seu proprietário não mais deseja, em um dado momento e em um determinado local, e que não tem um valor de mercado. Os resíduos resultam, em sua grande maioria, do uso impróprio de materiais ou de energia, ou decorrem de processos produtivos inadequados ou mal geridos.

Há que considerar também, que um resíduo não é, por princípio, algo nocivo. Muitos resíduos podem ser transformados em subprodutos ou matérias-primas para outras linhas de produção (VALLE, 2004).

3.2. Resíduos sólidos da indústria madeireira

Segundo Roque e Valença (1998) apud Hillig *et al.* (2006), a indústria madeireira pode ser classificada em função do produto final obtido. Por exemplo: para o produto madeira serrada, denomina-se indústria de serraria; para os produtos lâminas de madeira, painéis colados, painéis compensados, painéis MDP, chapas duras de fibras, painéis MDF entre outros painéis de madeira, denominam-se de indústria de painéis de madeira; para os produtos celulose e papel, denominam-se indústrias de celulose e papel. Afirmam ainda, que todo o processo de usinagem da madeira nas indústrias madeireiras geram resíduos sólidos.

Segundo Finotti *et al.* (2006) citado por Hillig *et al.* (2006), grande quantidade de resíduos sólidos gerados provem do processamento da madeira serrada. A porcentagem de resíduos gerados de madeira serrada varia em função do tipo de processo, da tecnologia empregada nos maquinários e dimensões das toras.

O rendimento volumétrico, também chamado de coeficiente de serragem ou coeficiente de transformação, ou ainda fator de rendimento, é a relação entre o volume produzido de madeira serrada e o volume utilizado de madeira em forma de tora, expresso em porcentagem (FONTES, 1994).

Segundo Vianna Neto (1984) citado por Fontes (1994), o rendimento volumétrico varia em função do tipo de equipamento, tipo de matéria-prima,

espessura do corte no desdobro, afiação e manutenção das serras, tolerâncias e medidas para a secagem, aparelhamento e desvios da serra ou pode variar também em função do sistema de desdobro, tipo de produto, desenho de corte, aproveitamento de subprodutos, tais como costaneiras, cavacos, refilos e destopos.

Ainda segundo o mesmo autor os resíduos sólidos de madeira, decorrentes dos processos de usinagem da madeira, podem ser classificados em três tipos distintos:

- Serragem;
- Cepilho;
- Lenha.

Sendo, para este trabalho, importante somente tratar do assunto resíduo sólido serragem.

De acordo com Keles (2011), o tamanho das partículas dos resíduos produzidos a partir do beneficiamento da madeira varia em função do tamanho dos dentes que usinaram a madeira, sendo possível separar os resíduos com diferentes dimensões através de peneiras.

Sanadi *et al.* (1998) citado por Keles (2011), frisa que para produção de compósitos, a fibra de madeira representa um bom potencial, em consequência da sua elevada geração nas indústrias madeireiras.

Segundo Sales *et al.* (2011) Keles (2011), a indústria da madeira serrada gera uma grande quantidade de resíduos, desde a extração da matéria-prima, até os processos de produção para fabricar o produto final. No Brasil uma pequena parte desses resíduos é aproveitada.

3.3. Questão Ambiental

Segundo Valle (2004) o homem ao construir seus primeiros aldeamentos jogava seus lixos nas periferias de suas aldeias. Com o crescimento da população humana despejavam seus lixos nos rios e, posteriormente, nos mares. Atualmente utilizam-se aterros e lixões, além da incineração como forma de reduzir o volume de lixos. Mas foi recentemente que o homem

percebeu que a verdadeira solução é não gerar resíduos, e sim desenvolver técnicas que eliminem os desperdícios, buscando desse modo um desenvolvimento sustentável.

Segundo Dantas Filho (2004), em um cenário global as organizações visam melhorar a eficiência de seus processos de forma a eliminar ou reduzir a cultura dos desperdícios, assim consolidando a cultura da redução de perdas. Para os resíduos gerados através da ineficiência dos processos, as organizações visam criar projetos de reciclagem para aproveitamento dos resíduos. Esses dois fatores ajudam a minimizar o impacto ambiental negativo, como também o consumo de recursos naturais e energéticos. Tanto o gás monóxido de carbono, como gás dióxido de carbono são grandes responsáveis por um impacto ambiental muito negativo denominado efeito estufa. Logo, a queima desse resíduo como biomassa não é uma medida ecologicamente correta.

A geração de energia a partir da queima dos resíduos da madeira pode dar origem a problemas relacionados com o efeito estufa. Uma grande quantidade de gases que contribuem para este efeito podem ser emitidos durante o armazenamento de aparas de madeira e serragem, especialmente se elas se decompõe rapidamente (WIHERSAARI, 2005 apud KELES, 2011). Desta forma destaca-se que o uso dos resíduos como matéria-prima para queima é uma solução pouco viável tanto do ponto de vista ambiental como econômico, pois agrega pouco valor ao produto final.

Segundo Matoski (2005) o pó de serra está entre os resíduos gerados pela indústria madeireira que não possui uma destinação nobre. O aproveitamento do pó de serra na confecção de concretos e argamassas pode se tornar uma alternativa viável, tanto do ponto de vista técnico como ambiental. Do ponto de vista técnico, a adição do pó de serra em compósitos cimentícios pode alterar algumas propriedades, como massa específica, isolamento térmico e resistência à tração. Do ponto de vista ambiental a madeira é praticamente o único material capaz de armazenar carbono. Alguns produtos contêm o carbono como, por exemplo, o aço, mas em quantidades insignificantes. A madeira contém o carbono até que seja queimada ou sofra a biodeterioração, por isso é a melhor solução em longo prazo.

Grandi (1995) citado por Dantas Filho (2004), diz que utilizar o pó de

serra como agregado miúdo no concreto e em argamassas fornece um ambiente com mais conforto térmico e acústico no edifício e ao resíduo uma utilização mais nobre que a combustão.

Segundo Stancato, Burke e Paulon (2001) apud Dantas Filho (2004), o pó de serra apresenta-se como uma excelente alternativa ecológica para agregado miúdo da composição das argamassas e concretos, pois além de ser gerado em grandes quantidades pela indústria madeireira, ele também é um recurso renovável, enquanto que o agregado miúdo areia não. Afirma ainda que em função de a madeira ter baixa condutividade térmica acaba gerando uma argamassa ou concreto com maior isolamento térmico.

3.4. Compósito cimento-madeira

A indústria da construção civil, segundo estimativas, é responsável por 45 a 50% do consumo dos recursos naturais extraídos do planeta. Contudo, a utilização de resíduos como matéria-prima na construção civil pode vir a reduzir a quantidade de recursos naturais retirados do meio ambiente. Os resíduos podem se tornar uma grande alternativa na produção de novos materiais, como os compósitos, reduzindo os custos com matéria-prima, em grande parte, dos agregados naturais empregados em concretos, argamassas, blocos, *pavers*, bases para pavimentação, entre outros (FIORITI, 2012).

Dentro da construção civil há diferentes tipos de compósitos provenientes de fontes de matérias-primas distintas. Sendo que, na linha do aproveitamento de resíduos existem compósitos produzidos com materiais lignocelulósicos, polímeros entre tantos outros. Neste segmento destacam-se os compósitos lignocelulósicos produzidos com madeira, fibras vegetais e produtos agrícolas.

Segundo Matoski e Iwakiri (2007), o compósito trata-se de um material composto por dois ou mais materiais constituintes, possuindo uma fase reforçada, geralmente as fibras e uma fase ligante, sendo o cimento ou outro elemento adesivo, conferindo assim propriedades ligadas aos materiais que o compõem, como por exemplo, no caso compósito cimento-madeira, a resistência, dureza e baixa densidade. A fase ligante transmite o esforço entre

as fibras, mantendo-as protegidas do meio e permitindo sua orientação apropriada. Já as fibras além de aumentarem a resistência do meio, reduzem seu custo.

Além das características próprias de cada constituinte, as interações físicas e químicas entre estes modificam o comportamento final do compósito, originando um material com propriedades que podem não ser encontradas isoladamente nos constituintes (Costa e Souza, 2006).

3.4.1. Cimento Portland

Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland - ABCP (2002), o cimento Portland é um pó fino com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece sob a ação da água em reações irreversíveis, ou seja, uma vez endurecido após o tempo de cura (massa seca), pode-se molhar novamente que permanecerá endurecido, não se decompondo novamente. Quando o cimento é misturado com água, areia, pedra britada, pó-de-pedra, cal e outros materiais da construção civil, obtém-se concretos e argamassas com características e propriedades físico-mecânicas variando em função da qualidade e das proporções dos materiais compondo a mistura. As características e propriedades físico-mecânica do concreto ou argamassa produzidos devem estar de acordo com as qualidades requeridas do produto final desejado. No Brasil com a evolução do conhecimento técnico do assunto é possível produzir um concreto ou argamassa com a resistência e durabilidade desejadas de forma bem econômica.

Segundo Andrade e Helene (2010), o Cimento Portland, juntamente com a água, forma uma pasta mais ou menos fluida, dependendo do percentual de água adicionado. Essa pasta envolve as partículas de agregados com diversas dimensões para produzir um material, que, nas primeiras horas, apresenta-se em um estado capaz de ser moldado nas mais variadas formas geométricas. Com o tempo, a mistura endurece pela reação irreversível da água com o cimento, adquirindo resistência mecânica capaz de torná-lo um material de excelente desempenho estrutural, sob os mais diversos ambientes de exposição. O concreto de Cimento Portland deve conter cimento, água e

agregados, além da possibilidade de contar com aditivos, pigmentos, fibras, agregados especiais e adições minerais, cujos empregos tornam-se cada vez mais freqüentes nos concretos atuais. A proporção entre os diversos constituintes é buscada pela tecnologia do concreto, para atender simultaneamente as propriedades mecânicas, físicas e de durabilidade requeridas para o concreto, além das características de trabalhabilidade necessárias para o transporte, lançamento e adensamento, condições estas que variam caso a caso.

Ainda os mesmos autores afirmam ainda que a fluidez da pasta constituída de cimento e água é proporcional a distribuição granulométrica do cimento e da quantidade de água adicionada, ou seja, quanto maior a quantidade de água, maior será a fluidez da pasta. A fluidez da pasta é expressa pela relação água/cimento. Quanto maior for essa relação, mais fluidez a pasta terá. A Figura 2 ilustra quatro relações água/cimento distintas no valor de 0,60; 0,50; 0,40 e 0,30, obtidas com um mesmo cimento.

Figura 2 – Pasta do mesmo cimento Portland com diferentes relações água/cimento: da esquerda para direita e de cima para baixo: 0,60, 0,50, 0,40 e 0,30.



Fonte: (ANDRADE E HELENE, 2010)

As quatro pastas, mostradas na Figura 2, possuem desempenho bem distintos quando endurecidas, sendo crescente com a redução da relação água/cimento. A pasta de 0,30 de relação água/cimento possui uma resistência mecânica muito superior à pasta de 0,60. (ANDRADE E HELENE, 2010).

Atualmente, no mercado existem diversos tipos de cimentos Portland com características e propriedades distintas, sendo classificados conforme a composição do cimento. Todo cimento portland é composto de clínquer e de adições, sendo o clínquer o principal composto e, este constituinte está presente em todos os tipos de cimento portland. Conforme a variação dos tipos e das quantidades de produtos das adições ao clínquer é que se definem os diferentes tipos de cimento. (ABCP, 2002)

O clínquer em pó tem a peculiaridade de desenvolver uma reação química em presença de água, na qual ele, primeiramente, torna-se pastoso e, em seguida, endurece, adquirindo elevada resistência e durabilidade. Essa característica adquirida pelo clínquer, que faz dele um ligante hidráulico muito resistente, é sua propriedade mais importante (ABCP, 2002).

Segundo Kaefer (2000), o cimento tipo Portland é um aglomerante hidráulico obtido da moagem do clínquer ao qual é adicionada gipsita (CaSO_4). O clínquer é obtido do aquecimento de uma mistura de calcário e argila. Assim o cimento Portland é formado essencialmente por compostos que possuem cálcio e sílica em sua composição.

Os principais constituintes do cimento Portland são os silicatos de cálcio: C_3S (silicato tricálcico – $3 \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) e C_2S (silicato dicálcico – $2 \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$); os aluminatos de cálcio: C_3A (Aluminato tricálcico – $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) e o C_4AF (ferroaluminato de cálcio – $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$) e a gipsita adicionada para inibir a tendência à pega instantânea ocasionada grande reatividade do C_3A . (KAEFER, 2000)

As adições são outras matérias-primas que, misturadas ao clínquer na fase de moagem, permitem a fabricação dos diversos tipos de cimento portland hoje disponíveis no mercado. Essas outras matérias-primas são o gesso, as escórias de alto-forno, os materiais pozolânicos e os materiais carbonáticos. (ABCP, 2012)

Dependendo da finalidade do cimento, são adotados limites diferenciados para seus componentes básicos (C_3S , C_2S , C_3A , C_4AF) e limites

máximos para as impurezas. Definem-se ainda adições ao cimento. Desta forma surgem cimentos com diferentes características de resistência a ataques químicos e evolução da resistência à compressão. (KAEFER, 2000)

O gesso tem como função básica controlar o tempo de pega, isto é, o início do endurecimento do clínquer moído quando este é misturado com água. Caso não se adicionasse o gesso à moagem do clínquer, o cimento, quando entrasse em contato com a água, endureceria quase que instantaneamente, inviabilizaria seu uso nas obras. Por isso, o gesso é uma adição presente em todos os tipos de cimento portland, porém a quantidade adicionada é pequena: em geral, 3% de gesso para 97% de clínquer, em massa (ABCP, 2002).

As escórias de alto-forno são obtidas durante a produção de ferro-gusa nas indústrias siderúrgicas e se assemelham aos grãos de areia. Antigamente as escórias de alto-forno eram consideradas como um material sem maior utilidade, até ser descoberto que elas também tinham a propriedade de ligante hidráulico muito resistente, ou seja, que reagem em presença de água, desenvolvendo características aglomerantes de forma muito semelhante à do clínquer. Essa descoberta tornou possível adicionar a escória de alto-forno à moagem do clínquer com gesso, guardadas certas proporções, e obter como resultado um tipo de cimento que, além de atender plenamente aos usos mais comuns, apresenta melhoria de algumas propriedades, como maior durabilidade e maior resistência final. (ABCP, 2002)

Os materiais pozolânicos são rochas vulcânicas ou matérias orgânicas fossilizadas encontradas na natureza, certos tipos de argilas queimadas em elevadas temperaturas (550 °C a 900 °C) e derivados da queima de carvão mineral nas usinas termelétricas, entre outros. Da mesma forma que no caso da escória de alto-forno, pesquisas levaram à descoberta de que os materiais pozolânicos, quando pulverizados em partículas muito finas, também passam a apresentar a propriedade de ligante hidráulico, quando em contato com o clínquer (ABCP, 2002).

Os materiais carbonáticos são rochas moídas, que apresentam carbonato de cálcio em sua constituição tais como o próprio calcário. Tal adição serve também para tornar os concretos e as argamassas mais trabalháveis, porque os grãos ou partículas desses materiais moídos têm dimensões adequadas para se alojar entre os grãos ou partículas dos demais

componentes do cimento, funcionando como um verdadeiro lubrificante. Quando presentes no cimento são conhecidos como filer calcário (ABCP, 2002)

Ao clínquer moído é adicionado uma quantidade em torno de 5% de sulfato na forma de gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$) ou gesso de paris ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$) para inibir a pega instantânea do clínquer. (KAEFER, 2000)

Conclui-se, pois que, de todas as adições, o gesso não pode, em hipótese alguma, deixar de ser misturado ao cimento, e que as demais matérias-primas adicionadas (escória de alto-forno, materiais pozolânicos e materiais carbonáticos) são totalmente compatíveis com o principal componente do cimento portland, o clínquer, acabando por conferir ao cimento pelo menos uma qualidade a mais. (ABCP, 2002).

Segundo a ABCP (2002), existe no mercado brasileiro o cimento portland comum (sem qualquer adição alguma além do gesso para retardar a pega) conhecido pela sigla CP I e o cimento portland composto, cuja composição é intermediária entre os cimentos portland comuns e os cimentos portland com adições, conhecidos pela sigla CP II. A Figura 3 apresenta a composição e as suas respectivas siglas dos cimentos portland comuns e compostos.

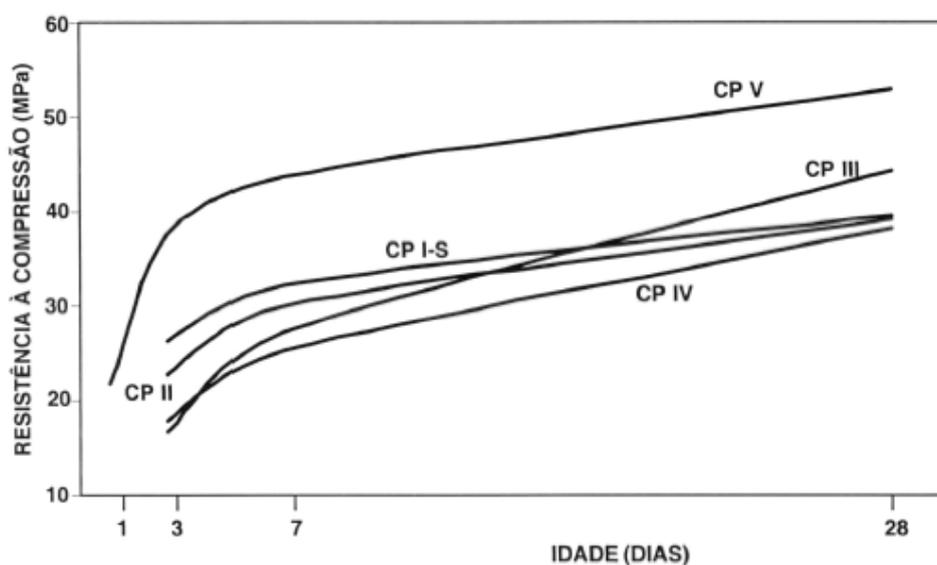
Figura 3 – Composição dos cimentos portland comuns e compostos

Tipo de cimento portland	Sigla	Composição (% em massa)				Norma Brasileira
		Clínquer + gesso	Escória granulada de alto-forno (sigla E)	Material pozolânico (sigla Z)	Material carbonático (sigla F)	
Comum	CP I	100		-		NBR 5732
	CP I-S	99-95		1-5		
Composto	CP II-E	94-56	6-34	-	0-10	NBR 11578
	CP II-Z	94-76	-	6-14	0-10	
	CP II-F	94-90	-	-	6-10	

Fonte: (ABCP, 2002, p. 11)

A Figura 4 apresenta a variação da resistência à compressão ao longo do processo de cura dos distintos tipos de cimento portland.

Figura 4 - Evolução média de resistência à compressão dos distintos tipos de cimento portland.



Fonte: (ABCP, 2002, p. 14)

Analisando a Figura 4, observa-se que todos os tipos apresentados atingem a resistência máxima após 28 dias de cura. Daí a necessidade de esperar no mínimo 28 dias de cura das argamassas produzidas em experimentos de modo a garantir e obter a máxima resistência nos ensaios de compressão dos corpos de prova.

Segundo Mehta e Monteiro (1994) apud KAEFER (2000), as estruturas cristalinas do cimento Portland apresentam grandes vazios estruturais que são responsáveis pela alta energia e reatividade dos cimentos. Os cimentos apresentam também impurezas (magnésio, sódio, potássio e sílica) na estrutura cristalina. Ainda em Mehta e Monteiro (1994), a resistência da pasta é fortemente relacionada a porosidade da mesma, uma vez que somente os elementos sólidos resistem aos esforços.

Os vários tipos de cimento normalizados são designados pela sigla e pela classe de resistência. As siglas correspondem ao prefixo CP acrescido dos algarismos romanos de I a V, conforme o tipo do cimento, sendo as classes indicadas pelos números 25, 32 e 40. As classes de resistência

apontam os valores mínimos de resistência à compressão garantidos pelo fabricante, após 28 dias de cura (ABCP, 2002).

As classes de resistência à compressão dos cimentos (25, 32 e 40), atualmente, são expressas em megapascal segundo Sistema Internacional de Unidades. A Figura 5 apresentará o nome técnico, o tipo e a classe dos cimentos portland (ABCP, 2002).

Figura 5 – Nome, sigla e a classe dos tipos de cimento portland em 1997

Nome técnico		Sigla	Classe	Identificação do tipo e classe
Cimento portland comum (NBR 5732)	Cimento portland comum	CP I	25 32 40	CP I-25 CP I-32 CP I-40
	Cimento portland comum com adição	CP I-S	25 32 40	CP I-S-25 CP I-S-32 CP I-S-40
Cimento portland composto (NBR 11578)	Cimento portland composto com escória	CP II-E	25 32 40	CP II-E-25 CP II-E-32 CP II-E-40
	Cimento portland composto com pozolana	CP II-Z	25 32 40	CP II-Z-25 CP II-Z-32 CP II-Z-40
	Cimento portland composto com fíler	CP II-F	25 32 40	CP II-F-25 CP II-F-32 CP II-F-40

Fonte: (ABCP, 2002, p. 19)

O tipo de cimento adotado na fabricação do compósito é de suma importância, pois influenciará em sua resistência mecânica. A constituição química e as diferentes proporções entre os constituintes principais do cimento desempenham um papel fundamental nas características do compósito (CARVALHO, 2000). A Figura 6 demonstra a influência dos tipos de cimentos nas argamassas e concretos de função estrutural com eles constituídos.

Figura 6 – Influência dos tipos de cimentos nas argamassas e concretos

Propriedade	Tipo de cimento portland						
	Comum e Composto	Alto-Forno	Pozolânico	Alta Resistência Inicial	Resistente aos Sulfatos	Branco Estrutural	Baixo Calor de Hidratação
Resistência à compressão	Padrão	Menor nos primeiros dias e maior no final da cura	Menor nos primeiros dias e maior no final da cura	Muito maior nos primeiros dias	Padrão	Padrão	Menor nos primeiros dias e padrão no final da cura
Calor gerado na reação do cimento com a água	Padrão	Menor	Menor	Maior	Padrão	Maior	Menor
Impermeabilidade	Padrão	Maior	Maior	Padrão	Padrão	Padrão	Padrão
Resistência aos agentes agressivos (água do mar e de esgotos)	Padrão	Maior	Maior	Menor	Maior	Menor	Maior
Durabilidade	Padrão	Maior	Maior	Padrão	Maior	Padrão	Maior

Fonte: (ABCP, 2002, p. 22)

Ainda segundo ABCP (2002), as influências descritas na Figura 6 podem ser ampliadas ou diminuídas em função de três principais fatores, que são:

- Variação da quantidade da água e do cimento;
- Variação do tipo e da quantidade dos agregados;
- Adição de produtos químicos quando desejado ou necessário.

A possibilidade de se ajustar, através de dosagens adequadas, os diversos tipos de cimento às mais diversas aplicações, a análise das suas características e propriedades, bem como de sua influência sobre as argamassas e os concretos já mostra que certos tipos são mais apropriados para determinados fins do que outros (ABCP, 2002). A Figura 7 aponta quais os tipos de cimento disponíveis no mercado podem ser usados nas mais diferentes aplicações.

Figura 7– Aplicação dos diferentes tipos de cimento portland

Aplicação	Tipos de cimento portland
Argamassa de revestimento e assentamento de tijolos e blocos	Comum (CP I, CP I-S), Composto (CP II-E, CP II-Z, CP II-F), de Alto-Forno (CP III) e Pozolânico (CP IV)
Argamassa de assentamento de azulejos e ladrilhos	Comum (CP I, CP I-S), Composto (CP II-E, CP II-Z, CP II-F) e Pozolânico (CP IV)
Argamassa de rejuntamento de azulejos e ladrilhos	Branco (CPB)
Concreto simples (sem armadura)	Comum (CP I, CP I-S), Composto (CP II-E, CP II-Z, CP II-F), de Alto-Forno (CP III) e Pozolânico (CP IV)
Concreto magro (para passeios e enchimentos)	Comum (CP I, CP I-S), Composto (CP II-E, CP II-Z, CP II-F), de Alto-Forno (CP III) e Pozolânico (CP IV)
Concreto armado com função estrutural	Comum (CP I, CP I-S), Composto (CP II-E, CP II-Z, CP II-F), de Alto-Forno (CP III), Pozolânico (CP IV), de Alta Resistência Inicial (CP V-ARI) e Branco Estrutural (CPB Estrutural)
Concreto protendido com protensão das barras antes do lançamento do concreto	Comum (CP I, CP I-S), Composto (CP II-Z, CP II-F), de Alta Resistência Inicial (CP V-ARI) e Branco Estrutural (CPB Estrutural)
Concreto protendido com protensão das barras após o endurecimento do concreto	Comum (CP I, CP I-S), Composto (CP II-E, CP II-Z, CP II-F), de Alto-Forno (CP III), Pozolânico (CP IV), de Alta Resistência Inicial (CP V-ARI) e Branco Estrutural (CPB Estrutural)
Concreto armado para desforma rápida, curado por aspersão de água ou produto químico	de Alta Resistência Inicial (CP V-ARI), Comum (CP I, CP I-S), Composto (CP II-E, CP II-Z, CP II-F), de Alto-Forno (CP III), Pozolânico (CP IV) e Branco Estrutural (CPB Estrutural)
Concreto armado para desforma rápida, curado a vapor ou com outro tipo de cura térmica	Comum (CP I, CP I-S), Composto (CP II-E, CP II-Z, CP II-F), de Alto-Forno (CP III), Pozolânico (CP IV), de Alta Resistência Inicial (CP V-ARI) e Branco Estrutural (CPB Estrutural)
Elementos pré-moldados de concreto e artefatos de cimento curados por aspersão de água	Comum (CP I, CP I-S), Composto (CP II-E, CP II-Z, CP II-F), de Alto-Forno (CP III), Pozolânico (CP IV), de Alta Resistência Inicial (CP V-ARI) e Branco Estrutural (CPB Estrutural) (VER NOTA) (*)
Elementos pré-moldados de concreto e artefatos de cimento para desforma rápida, curados por aspersão de água	de Alta Resistência Inicial (CP V-ARI), Comum (CP I, CP I-S), Composto (CP II-E, CP II-Z, CP II-F) e Branco Estrutural (CPB Estrutural)
Elementos pré-moldados de concreto e artefatos de cimento para desforma rápida, curados a vapor ou com outro tipo de cura térmica	Comum (CP I, CP I-S), Composto (CP II-E, CP II-Z, CP II-F), de Alto-Forno (CP III), Pozolânico (CP IV) e Branco Estrutural (CPB Estrutural)

Pavimento de concreto simples ou armado	Comum (CP I, CP I-S), Composto (CP II-E, CP II-Z, CP II-F), de Alto-Forno (CP III) e Pozolânico (CP IV)
Pisos industriais de concreto	Comum (CP I, CP I-S), Composto (CP II-E, CP II-Z, CP II-F), de Alto-Forno (CP III), Pozolânico (CP IV) e de Alta Resistência Inicial (CP V-ARI)
Concreto arquitetônico	Branco Estrutural (CPB Estrutural)
Argamassa armada (VER NOTA) (*)	Comum (CP I, CP I-S), Composto (CP II-E, CP II-Z, CP II-F), de Alta Resistência Inicial (CP V-ARI) e Branco Estrutural (CPB Estrutural)
Solo-Cimento	Comum (CP I, CP I-S), Composto (CP II-E, CP II-Z, CP II-F), de Alto-Forno (CP III) e Pozolânico (CP IV)
Argamassas e concretos para meios agressivos (água do mar e de esgotos)	de Alto-Forno (CP III), Pozolânico (CP IV) e Resistente a Sulfatos
Concreto-massa	de Alto-Forno (CP III), Pozolânico (CP IV) e de Baixo Calor de Hidratação
Concreto com agregados reativos	Comum (CP I, CP I-S), Composto (CP II-E, CP II-Z, CP II-F), de Alto-Forno (CP III) e Pozolânico (CP IV)

Fonte: (ABCP, 2002)

3.4.2. Compósito Cimento Madeira

Com o estudo completo do cimento Portland conforme ABCP (2004), entende-se com maior facilidade o compósito cimento madeira. O compósito cimento madeira consiste em utilizar o resíduo de madeira em variadas granulometrias como agregado miúdo, ao cimento Portland escolhido além da hidratação com a água, formando a argamassa que após o tempo de cura conceberá um produto com características e propriedades físico-mecânicas distintas da argamassa convencional.

Segundo Batista (2002) apud Keles (2011), a confecção de peças a base de compósitos cimentícios com a adição de biomassa vegetal para construções baseia-se no aproveitamento de resíduos de madeira associada a um aglomerante hidráulico que permite a ligação entre as partículas da serragem.

Segundo Matoski (2005), os compósitos com fibras de madeira e cimento são utilizados em muitos países, devido a tendência do aproveitamento dos resíduos, buscando também a economia de energia. O produto é utilizado há muito tempo, tendo sido inclusive patenteado na Alemanha em 1880 e na Áustria em 1908, conforme informação da empresa Climatex®. O painel de cimento madeira surgiu na Europa, como elemento

construtivo, no final dos anos setenta e início dos anos oitenta (COATES, 1994 citado por MATOSKI, 2005).

Segundo Youngquist (1999) compósitos de madeira com produtos inorgânicos (o gesso, o cimento de magnésio e o cimento Portland) são produtos ou chapas que contém entre 10% e 70% em peso, de fibras de madeira e de 30% a 90% de produto inorgânico. É muito importante que os materiais sejam muito bem misturados para formarem um compósito com propriedades homogêneas. Os compósitos derivados do cimento Portland são mais duráveis e resistentes a umidade podendo ser aplicados tanto no interior quanto no exterior das construções.

Dantas Filho (2004) concluiu que o aumento da porcentagem do pó de serra na proporção na formação do compósito cimento-madeira é inversamente proporcional as resistências físico-mecânicas e diretamente proporcional à resistência térmica.

Para Wei e Tomita (2000) citado por Keles (2011), o compósito cimento-madeira apresenta vantagens em relação ao concreto e em relação à madeira. Em relação ao concreto o compósito apresenta baixa densidade e em relação à madeira o compósito apresenta melhor desempenho para resistir às intempéries, ao fogo, aos fungos e aos ataques de insetos. O compósito cimento-madeira pode até substituir o tijolo e o concreto em determinadas situações.

Com o atual desenvolvimento tecnológico observa-se cada vez mais o desenvolvimento de materiais cuja combinação de propriedades pode levar a um produto que substitua outros materiais com vantagens. O compósito pode ser considerado como um material multifásico feito artificialmente no qual as propriedades desse compósito são em função das propriedades de seus constituintes (CALISTER JR., 1997 citado por MATOSKI, 2005).

Matoski (2005) diz que compósito pode ser considerado, também, como um material composto por dois ou mais constituintes que possui uma fase reforçada, no caso, as fibras e uma fase ligante, o cimento. A vantagem desse compósito está na resistência e na dureza relativamente maiores que o material separadamente e o baixo peso. A fase ligante ou o cimento transmite o esforço entre as fibras, mantendo-as protegidas do meio e permitindo sua orientação apropriada. Já as fibras além de aumentar a resistência do meio

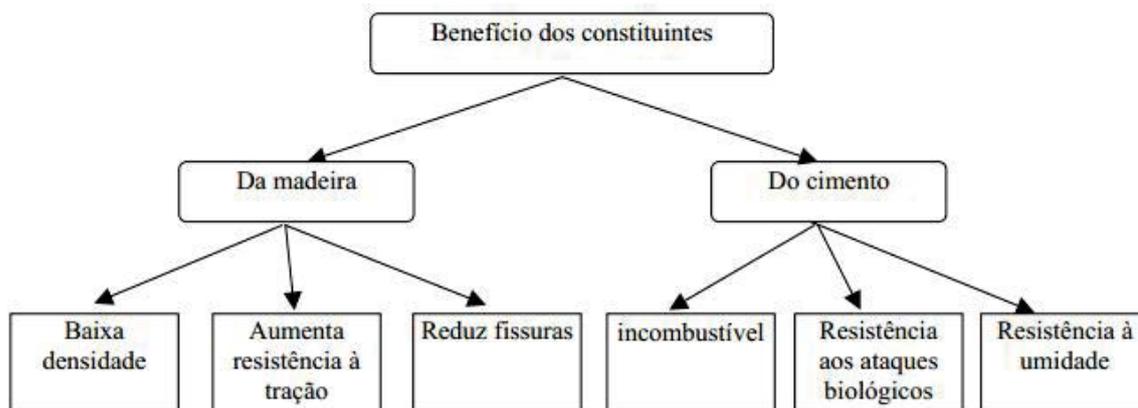
baixam seu custo. O compósito cimento-madeira atende uma necessidade importante requerida pelo mercado, a sustentabilidade, além de apresentar grandes vantagens como seu peso leve quando comparado ao concreto e sua capacidade de resistir às intempéries, ao fogo, aos fungos e aos ataques de insetos. Ainda em Matoski (2005), as principais características dos compósitos cimento-madeira são:

- Produtos incombustíveis;
- Alta resistência à umidade;
- Alta resistência à biodegradação;
- Elevado índice de isolamento térmico e acústico;
- Possibilidade de usinagem;
- Possibilidade de moldagem da superfície;
- Utilização em paredes, forro, assoalhos, etc.

Coatanlem et al. (2005) citado por Keles (2011), diz que o estudo da aplicação de fibras de madeira em concreto é motivada devido ao seu baixo custo, proximidade das fontes, além de evitar a poluição do ar através da queima das fibras de madeira fornecendo assim um aproveitamento mais nobre do resíduo. Diz ainda que este tipo de material apresenta várias aplicações potenciais, tais como isolamento acústico e térmico, revestimento resistente ao fogo, e etc.

Segundo Lipinski (1994) citado por Matoski (2005), o compósito cimento-madeira busca integrar as propriedades desejáveis da madeira e do cimento. Essa união de propriedades é apresentada na Figura 8.

Figura 8 – Propriedades dos constituintes do compósito cimento madeira



Fonte: LIPINSKI (1994) apud Matoski (2005)

Ainda Matoski (2005) diz que a resistência à compressão é um dos parâmetros mais importantes para caracterizar produtos baseados no cimento. Normalmente a resistência do concreto e da argamassa é determinada através do ensaio à compressão de cilindros. Para ensaios de argamassas utilizam-se cilindros com 50 mm de diâmetro por 100 mm de altura, sempre respeitando a relação 2:1 (altura diâmetro).

Segundo Sales (2011) apud Keles (2011), para produzirem um concreto leve os autores utilizaram em sua composição resíduos de madeira e lodo da estação de tratamento de água. O concreto produzido apresentou resistência a compressão no valor de 11,1 MPa, absorção de água de 8,8% e massa específica de 1,847 Kg/m³.

Savastano e Agopyan (1999) citado por Keles (2011), diz que as fibras sofrem grande influência da alcalinidade do meio ao qual estão submetidas. Esta influência está correlacionado com a decomposição química da lignina e da hemicelulose presentes na lamela intermolecular, o que reduz a capacidade de reforço das fibras individuais.

Matoski (2005) ao estudar a interação entre os componentes do compósito, afirma que os carboidratos, glucosídeos e componentes fenólicos que as madeiras apresentam, retardam a pega do cimento, sendo que alguns podem até inibir a pega do cimento. Esses componentes da madeira variam de espécie para espécie. Outro aspecto é que a excessiva alcalinidade do cimento dissolvido na água diminui a resistência da madeira, pois essa é pouco resistente em meios alcalinos. Quando necessário a madeira é tratada para

reduzir a presença dos extrativos, assim minimizando o efeito de retardamento da pega do cimento. O cimento também é tratado a partir de aditivos químicos para diminuir a sua alcalinidade, assim deteriorando menos a madeira e, conseqüentemente, aumentando a resistência e durabilidade do compósito cimento-madeira.

Segundo Iwakiri (2005) as interações entre a madeira e o cimento podem ser físicas ou químicas. As físicas são causadas devido o entrelaçamento das fibras ao cimento, enquanto que as químicas se realizam através das ligações de hidrogênio. A composição química da madeira é o principal fator que interfere na capacidade de solidificação do cimento, sendo que os maiores responsáveis pela inibição da cura do mesmo são os extrativos.

As características químicas do eucalipto, por meio de análises laboratoriais segundo Magaton (2006) e obtidas através de análises laboratoriais, são de 10,2 % de xilanas, 20,5 % de hemiceluloses, 51,7% de celulose obtendo um total de 72,2 % de carboidratos (CH₂O), restando 27,8 % lignina total. Essa composição faz com que *Eucalyptus grandis* apresente um melhor desempenho na produção de compósitos cimento-madeira por não necessitar de tratamento para a remoção de extrativos.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

A seguir estão apresentados os materiais, etapas de produção, equipamentos e processos utilizados para a produção dos corpos de prova do compósito cimento madeira e, posterior caracterização física e mecânica.

4.1 Materiais utilizados

Os materiais utilizados para a produção das amostras foram as partículas de eucalipto, o cimento tipo CP - II e a água proveniente da rede pública de distribuição.

A seguir serão detalhados os materiais utilizados para a confecção dos corpos de prova.

4.1.1 Madeira

A madeira utilizada nesta pesquisa foi da espécie *Eucalyptus grandis*, obtida através de resíduos provenientes de outras pesquisas realizadas no Laboratório de Processamento da Madeira, Campus de Itapeva da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.

A madeira residual utilizada foi transformada em partículas menores e classificada em quatro granulometrias diferentes para a produção dos corpos de prova. Para essa redução dos resíduos em partículas menores foi utilizado, inicialmente, um picador de facas, modelo MA 680/3 da marca Marconi, posteriormente, um moinho do tipo martelo, modelo MA-680 e marca Marconi (Figuras 9 e 10, respectivamente).



Figura 9 – Picador de facas, modelo MA 680/3 e marca Marconi.



Figura 10 – Moinho do tipo martelo, modelo MA-680 e marca Marconi.

Finalizada a moagem, foi realizada a classificação das partículas de madeira de acordo com a sua granulometria utilizando um agitador de peneiras

eletromagnético da marca Bertel para análises granulométricas, com as peneiras de 10, 20, 32 e 60 *mesh* (Figura 11).



Figura 11 – Agitador de peneiras com conjunto de peneiras em diferentes aberturas.

As granulometrias escolhidas para a realização da pesquisa, levando em conta principalmente as mais utilizadas nas produções e pesquisas de compósitos cimento-madeira, foram de 10, 20, 32 e 60 *mesh*. A Tabela 1 apresenta os quatro tratamentos.

Tabela 1: Tratamento dos corpos de prova.

Condição experimental	Mesh
C1	10
C2	20
C3	32
C4	60

As partículas de madeira utilizadas apresentavam teor de umidade próximo de 12%. Para a determinação da umidade das partículas utilizou-se o método gravimétrico (secagem em estufa), no qual as amostras de madeira foram pesadas, secadas até peso constante a temperatura de $103 \pm 2^\circ\text{C}$, pesadas novamente e, então, foi calculado o teor de umidade (Equação 1).

$$U = \left(\frac{\text{Massa úmida} - \text{Massa seca}}{\text{Massa Seca}} \right) \times 100 \quad (1)$$

4.1.2 Cimento

O cimento utilizado para a produção das amostras foi o cimento Portland CP II E-32. A escolha por este cimento pode ser justificada por dois fatores importantes, sendo o primeiro motivo a maior disponibilidade do cimento no mercado aliado a sua maior aplicação na construção civil pelo preço mais acessível por apresentar em sua composição elementos que não encarecem tanto o produto, e isto é interessante quando a proposta do uso do cimento está associada ao aproveitamento de resíduos.

4.1.3 Água

A água utilizada para a produção dos corpos de prova foi fornecida diretamente da rede pública de distribuição. Como o intuito da produção de painéis de compósito cimento-madeira visa aproveitar resíduos e apresentar baixos custos, a utilização de água tratada ou destilada encareceria o processo e provavelmente não acarretaria em mudanças significativas, dificultando a proposta de produção deste produto em pequenas empresas.

O pH da água proveniente da rede de distribuição pública é em torno de 7,0 e a quantidade de cloro varia de acordo com cada local, sendo estas quantidades, segundo Matoski (2006), insuficientes para alterar as propriedades do compósito de maneira significativa.

4.2 Equipamentos Utilizados

Os equipamentos utilizados para a produção do compósito e para realização dos testes foram:

- Balança semi-analítica para a dosagem correta de cada elemento e pesagem das amostras;
- Recipientes para colocar os elementos separados e para realizar a mistura;
- Moldes de PVC com medidas de 50 mm de diâmetro e 100 mm de comprimento;
- Óleo mineral de baixa densidade para desmoldar os corpos de prova;
- Pincel para a aplicação do óleo;
- Espátula para a colocação da mistura dentro dos moldes;
- Soquete para compactação da mistura dentro dos moldes;
- Placa plana e lisa para a acomodação dos moldes até que ocorra a cura do compósito;
- Paquímetro digital para a medição do diâmetro e comprimento dos corpos de prova;
- Máquina de Universal de Ensaio da marca EMIC, com capacidade de carga de 30 toneladas, para a realização dos ensaios mecânicos de compressão.

Os equipamentos e aparelhos utilizados são os prescritos na NBR 7215 (1966). Ainda de acordo com esta norma, a umidade do ar não deve ser inferior a 50% e a temperatura dos aparelhos de $24 \pm 4^{\circ}\text{C}$.

4.3 Preparação dos corpos de prova

Para a produção do compósito foi utilizado um traço (proporção dos componentes da mistura) de 1:0,2:0,6, correspondendo as quantidades de cimento, madeira e água, respectivamente. A mistura destes materiais foi

realizada de forma manual, em um recipiente plástico, até atingir uma mistura homogênea dos constituintes adicionados.

Foram estudados quatro tratamentos diferentes, sendo utilizado para cada tratamento 1200 g de cimento, 240 g de madeira e 720 g de água. Estas quantidades foram suficientes para produzir seis corpos de prova para cada tratamento, totalizando vinte e quatro amostras.

Para moldar os corpos de prova, foi utilizado um tubo de PVC, com 50 mm de diâmetro e 100 mm de comprimento. Através de uma espátula, o compósito foi colocado dentro destes moldes, que haviam sido previamente untados com óleo desmoldante para facilitar a remoção após a cura das amostras. O preenchimento dos moldes foi realizado imediatamente após a homogeneização da mistura.

Para acomodar e compactar o compósito dentro dos moldes foi utilizado um soquete de madeira. A colocação do compósito nos moldes foi realizada em quatro camadas, e em cada camada foram realizados em torno de trinta golpes com o soquete. Após o término da acomodação do material, com o auxílio de uma espátula metálica, as superfícies dos corpos de prova foram niveladas.

Estes moldes foram então acomodados sobre uma superfície lisa, como mostra a Figura 12, por aproximadamente 24 horas (período inicial de cura) e, então, foram desmoldados.



Figura 12 – Produção dos corpos de prova.

Os ensaios foram realizados após vinte e oito dias de modo a permitir que ocorresse a cura completa do cimento conforme especificação normativa, garantindo assim uma melhor resistência à compressão.

4.4. Caracterização física e mecânica

Para todos os corpos de prova produzidos, foram realizados teste físico para a determinação da densidade aparente e teste mecânico para a determinação do módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) na compressão axial. A partir dos resultados obtidos nos testes de caracterização foi possível verificar a influência da granulometria das partículas de madeira no compósito cimento-madeira e analisar os valores obtidos com estudos similares e indicar possíveis aplicações.

4.4.1 Densidade Aparente

Antes da realização do ensaio a compressão, em uma balança semi-analítica (Figura 13) e com um paquímetro digital (Figura 14), cada corpo de prova foi pesado e medido seus diâmetros e comprimentos, com o objetivo de determinar a densidade aparente.



Figura 13 – Balança semi-analítica.



Figura 14 – Paquímetro digital.

Após a pesagem e medição dos corpos de prova, foi possível calcular a densidade aparente de cada amostra através da equação 2.

$$D = \frac{m}{\pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot h} \quad (2)$$

Onde:

D = densidade (g/cm³);

m = massa (g);

d = diâmetro (cm);

h = comprimento (cm).

4.4.2 Compressão axial

O ensaio realizado para a determinação da resistência à compressão axial foi realizado tendo como base a NBR 7215 (1996). As dimensões dos corpos de prova foram inseridas no software que acompanha a máquina de ensaio e os resultados foram calculados e fornecidos em tempo real (Figura 15).



Figura 15 – Máquina de ensaios universal (EMIC).

O módulo de elasticidade foi determinado pela razão entre a força aplicada e a deformação resultante, no trecho em que a deformação é completamente reversível e proporcional a força, ou seja, dentro do regime elástico. A resistência à compressão foi obtida através da razão entre a força aplicada e pela área transversal do corpo de prova, e foi determinada no instante em que a ruptura da amostra ocorreu.

4.4.3 Análise estatística

Na análise estatística dos resultados obtidos, considerou-se o efeito das Na análise estatística dos resultados obtidos, considerou-se o efeito das dimensões das partículas sobre as suas densidades e também sobre suas propriedades mecânicas módulo de elasticidade e tensão de ruptura, avaliadas

para os compósitos cimento-madeira. Para obtenção desses resultados realizou-se, com o auxílio do software Minitab® 14, a análise de variância e, posteriormente, o teste de médias de Tukey, conduzido a um nível de 5% de probabilidade de erro, para identificar médias que diferiram entre si. Os resultados foram comparados com trabalhos correlacionados e com a norma NBR 7215/1996.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir estão apresentados os resultados obtidos nos testes de densidade aparente e resistência mecânica à compressão, realizados para os quatro tratamentos estudados do compósito cimento-madeira. Em seguida, serão apresentados os resultados das análises estatísticas, mostrando se ocorreu diferença entre os diferentes tratamentos com variações nas granulometrias.

A Tabela 2 mostra as médias e os desvios padrões obtidos nos ensaios de compressão axial e também as médias das densidades obtidas.

Tabela 2: Valores médios e desvios padrões dos resultados obtidos.

Condição Experimental	Módulo de Elasticidade		Tensão de Ruptura		Densidade
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	Média
C1	362,71	63,55	4,00	0,19	1,16
C2	402,72	64,84	4,26	0,21	1,2
C3	379,12	89,50	3,04	0,14	1,25
C4	198,43	107,10	2,70	0,36	1,23

5.1 Densidade Aparente

Na Tabela 3 estão apresentados os valores médios obtidas para a densidade dos tratamentos estudados e, respectivos índices referentes aos testes de Tukey realizados para verificar a influência das dimensões das partículas adicionadas no material sobre a densidade aparente.

Tabela 3: Valores médios e teste Tukey para a densidade.

Condição experimental	Densidade (g/cm ³)
C1	1,16 A
C2	1,20 AB
C3	1,25 C
C4	1,23 BC

*Medias seguidas de mesma letra maiúscula, não se diferem estatisticamente entre si.

Observa-se na Tabela 3 que as condições experimentais C1 e C3 apresentaram médias que se diferenciaram estatisticamente entre si, implicando ser influente a granulometria das partículas sobre a densidade dos compósitos de cimento madeira.

A redução das dimensões das partículas proporcionou aumento significativo na densidade. Esse aumento da densidade geralmente é causado pelo fato das partículas menores apresentarem-se em maior quantidade e, conseqüentemente, passa a existir maior superfície de contato. Com a redução das partículas menos vazios ocorrem, e assim há o aumento de material e, conseqüente, aumento na densidade do compósito.

Segundo Iwakiri (2005) a compactação mecanizada na produção das amostras pode diminuir essa diferença de adensamento, fazendo com que a densidade sofra uma menor variância.

Na pesquisa realizada por Carvalho (2000) encontram-se valores de densidade variando entre 935 e 1176 kg/m³, mostrando assim que os valores encontrados estão próximos aos obtidos. Segundo a análise estatística efetuada por ele, as densidades não obtiveram uma diferença significativa, e isso pode ter ocorrido por processos diferentes de compactação.

Os valores encontrados por Dinhan (2013) mostram que para estas mesmas granulometrias de eucalipto, ocorreu uma relação inversamente proporcional entre a densidade e granulometria, além de mostrar valores muito próximos aos obtidos nesta pesquisa, comprovando assim que a redução da granulometria das partículas proporciona um compósito menos poroso, com mais material contido em um mesmo volume, produzindo um compósito mais denso, como pode ser verificado neste pesquisa.

5.2 Compressão Axial

Os resultados dos módulos de elasticidade, tensão de ruptura e também os gráficos de deformação obtidos no ensaio de compressão axial foram dados automaticamente pelo software da máquina de ensaios universal (EMIC), utilizada para este teste.

A Tabela 4 apresenta as médias obtidas para as propriedades módulo de elasticidade e tensão de ruptura na compressão dos corpos de prova de cimento-madeira, e os testes de Tukey realizados para verificar a influência das dimensões das partículas utilizadas.

Tabela 4 – Valores médios e teste Tukey para a compressão axial

Condição experimental	Módulo de elasticidade (MPa)	Tensão de ruptura (MPa)
C01	362,71 A	4,00 A
C2	402,72 A	4,26 A
C3	379,12 A	3,04 B
C4	198,43 B	2,70 B

*Medias seguidas de mesma letra maiúscula, não se diferem estatisticamente entre si.

Por intermédio da análise de variância (Tabela 4), verificou-se para o módulo de elasticidade que a condição experimental C4 diferiu estatisticamente das demais condições, indicando influência significativa das dimensões das partículas sobre essa propriedade.

Com relação à tensão de ruptura, a diminuição das partículas na fabricação dos compósitos cimento-madeira proporcionou reduções significativas nesta propriedade, sendo que as condições experimentais C1 e C2, diferiram estatisticamente das condições C3 e C4.

Logo, pode-se dizer que as condições experimentais C1 e C2 são as melhores soluções por apresentarem maiores valores para as propriedades módulo de elasticidade e tensão de ruptura. Segundo Youngquist (1999), a resistência a compressão deve estar entre 0,69 e 5,5 MPA, para compósitos de cimento-madeira utilizados em isolantes acústicos ou térmicos, o que mostra a coerência nos valores obtidos.

Segundo Matoski (2006), quanto menor a granulometria da partícula, maior a sua absorção de água e devido a isso menores são as suas resistências mecânicas a compressão, o que pode ser comprovado analisando os dados obtidos nesta pesquisa.

Comparando os dados desta pesquisa com a pesquisa realizada por Dinhane (2013), tanto o módulo de elasticidade quanto a tensão de ruptura

apresentam valores um pouco inferiores, porém a relação entre maiores resistências com as maiores granulometrias confere com os resultados obtidos no presente estudo.

Santos (2008) cita que encontrou valores para tensão de ruptura de 3,91 MPa utilizando painéis produzidos com espécies de pinus dos Estados Unidos. Já Latorraca (2000) obteve valores de 3,53 MPa e 6,82 MPa com espécies de eucalipto em diferentes granulometrias, valores estes dentre das faixas encontradas no presente estudo.

6. CONCLUSÃO

Os tratamentos estudados para partículas de madeira de diferentes granulometrias apresentaram diferenças significativas em suas densidades e resistências à compressão. As partículas menores apresentaram uma maior densidade devido à menor presença de vazios na estrutura do material, e resistências mecânicas à compressão mais baixas, devido ao maior volume de partículas para uma mesma proporção de cimento, o que resultou em interações mais fracas.

Pode-se perceber que neste caso a densidade foi inversamente proporcional às resistências de compressão, o que torna ainda mais viável e interessante o compósito, pois com menor densidade o material apresenta melhor resistência à compressão, um aspecto bastante comum em materiais compósitos.

Os resultados desta pesquisa foram compatíveis com valores encontrados em pesquisas anteriores realizadas por outros autores, mostrando coerência no estudo desenvolvido para os resíduos de eucalipto.

As partículas maiores, como observado nos tratamentos C1 e C2, com partículas de 10 e 20 *mesh*, respectivamente, se mostraram mais adequadas para a utilização na produção do compósito cimento-madeira, indicando uma viabilidade para aplicações como placas cimentícias, ideais para uso em isolamento térmico e acústico, blocos de calçamento, forros, entre outros. Indica-se ainda a possibilidade de utilização dos compósitos para *pavers*, ou painéis de fechamento sem necessidade de desempenho estrutural.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, T; HELENE, P. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. Fortaleza: IBRACON, 2010. Disponível em: < http://www.concretophd.com.br/imgs/files/ConcretoCap27_Materiais2010.pdf>. Acesso em: 16 nov. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (Ed.). **GUIA BÁSICO DE UTILIZAÇÃO DO CIMENTO PORTLAND**: Boletim Técnico. 7. ed. São Paulo, 2002. 28 p. Disponível em: <http://www.abcp.org.br/conteudo/wp-content/uploads/2009/12/BT106_2003.pdf>. Acesso em: 07 nov. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (Ed.). **Resíduos Sólidos - Classificação**: NBR 10004. 2. ed. 2004. 77 p. Disponível em: <<http://www.aslaa.com.br/legislacoes/NBR%20n%2010004-2004.pdf>>. Acesso em: 11 nov. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (Brasil) (Ed.). **Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão**: NBR 7215. Brasil, 1997. 8 p. Disponível em: <http://www.hdutil.com.br/site/arquivos/novos_arquivos/NBR_7215.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2013.

CARVALHO, José Vitório de. **APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS PARTICULADOS DA MADEIRA DE EUCALIPTO GRANDIS NA FABRICAÇÃO DE COMPÓSITOS À BASE DE CIMENTO PORTLAND**. 2000. 95 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrícola, Departamento de Construções Rurais e Ambiente, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

DANTAS FILHO, Flavio Pedrosa. **CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO PARA APLICAÇÃO DO PÓ DE SERRA DA MADEIRA EM ELEMENTOS DE ALVENARIA DE CONCRETO NÃO ESTRUTURAL**. 2004. 136 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

DINHANE, Fernanda Christiane Rossetto. **ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DO COMPÓSITO CIMENTÍCIO PRODUZIDO COM ADIÇÃO DE RESÍDUOS DE MADEIRA E ESCÓRIA**. 2013. 58 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Industrial Madeireira, Universidade Estadual Paulista, Itapeva, 2013.

DINHANE, Fernanda Christiane Rossetto; CAMPOS, C. I. de; FERREIRA, B. S.. Anais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 20., 2012, Joinville. **ANÁLISE DO COMPÓSITO CIMENTO-MADEIRA-ESCÓRIA**. Joinville: CBECIMAT, 2012. p. 1 - 8.

FONTES, Paulo José Prudente de. **Auto-suficiência energética em serraria de pinus e aproveitamento dos resíduos**. 1994. 153 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Florestal, Departamento de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1994. Disponível em: <<http://dspace.c3sl.ufpr.br/dspace/bitstream/handle/1884/28882/D%20-%20PAULO%20JOSE%20PRUDENTE%20DE%20FONTES.pdf?sequence=1>> . Acesso em: 05 nov. 2013.

HILLIG, Éverton; SCHNEIDER, Vânia Elisabete; WEBER, Cristiane. Resíduos de madeira da indústria madeireira: caracterização e aproveitamento. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 26., 2006, Fortaleza. **Anais...** . Fortaleza: ENEGEP, 2006. p. 1 - 7. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2006_TR520346_8192.pdf>. Acesso em: 28 out. 2013.

IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. Fundação de Pesquisas Florestais da Paraná (FUPEF). Curitiba- PR. 2005.

KAEFER, L. F. Considerações sobre a microestrutura do concreto. Notas de aula: Escola Politécnica, USP, São Paulo, 2000.

KELES, José Genário. **Investigação da resistência ao fogo de uma argamassa aditivada com fibras vegetais**. 2011. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Dos Materiais, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2011. Disponível em: <http://200.131.208.43/jspui/bitstream/123456789/2751/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O_%20Investiga%C3%A7%C3%A3oResist%C3%AanciaFogo.pdf>. Acesso em: 05 nov. 2013.

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

MAGATON, A. S.; OLIVEIRA, R. de; LOPES, O. R. L.; MILAGRES, F. R.; VELOSO, D. P.; COLODETTE, J. L. **Composição Química da Madeira de Espécies de Eucalipto**. Departamento de Engenharia Florestal. Universidade Federal de Viçosa. 29º Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química. Sociedade Brasileira de Química (SBQ). Águas de Lindóia-SP. Maio. 2006.

MATOSKI, Adalberto. **Utilização de pó de madeira com granulometria controlada na produção de painéis de cimento-madeira**. 2005. 202 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Florestal, Departamento de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005. Disponível em: <http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/bitstream/handle/123456789/4429/Tese_Adalberto-Matoski.pdf?sequence=1>. Acesso em: 12 nov. 2013.

SANTOS, R. C. dos. **Aproveitamento de resíduos da madeira de candeia (*Eremanthus erythropappus*) para produção de chapas de partículas**. 2008.

159 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

VALLE, Cyro Eyer do. **Qualidade Ambiental: ISO 14000**. 5. ed. São Paulo: Senac São Paulo, 2004. Disponível em: <<http://books.google.com.br/books?id=rfPYbZD1iVUC&pg=PA49&dq=defini%C3%A7%C3%A3o+de+res%C3%ADduos&hl=pt-BR&sa=X&ei=3t9qUuroNYX49QSRxoCYCQ&ved=0CEAQ6AEwAQ#v=onepage&q=defini%C3%A7%C3%A3o%20de%20res%C3%ADduos&f=false>>. Acesso em: 25 out. 2013.

ANEXOS

Anexo I – Tabela com medidas e pesos dos corpos de prova

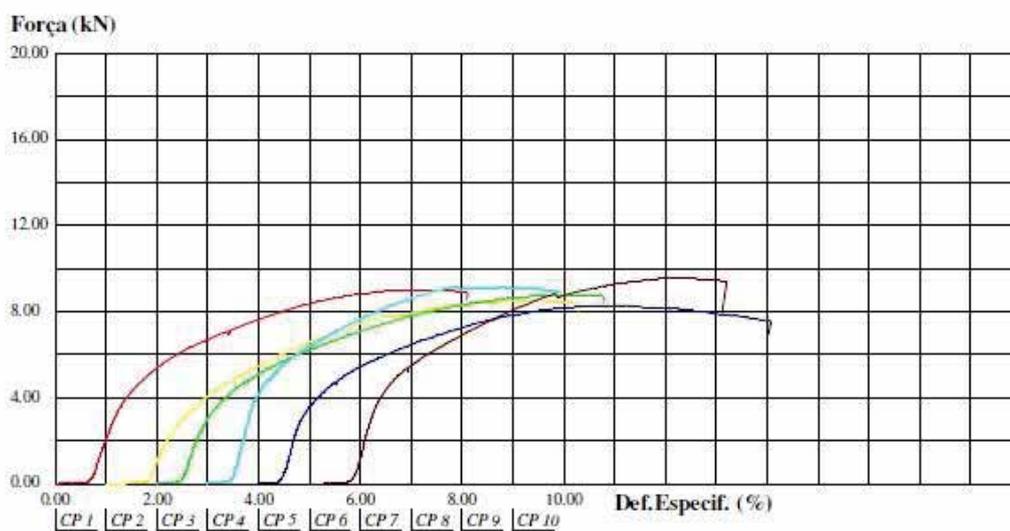
10 Mesh	Massa (g)	Diametro (cm)	Comprimento (cm)	Densidade (g/cm ³)
1	261,41	5,316	10,091	1,167188429
2	246,6	5,288	9,819	1,143578144
3	254,05	5,312	9,895	1,158537765
4	257,39	5,355	9,878	1,15698206
5	253,29	5,338	9,834	1,150942503
6	256,28	5,33	9,877	1,162942309
20 Mesh				
1	251,16	5,316	9,801	1,154604027
2	257,98	5,319	9,827	1,181484501
3	269,61	5,323	9,906	1,223059732
4	261,29	5,31	9,866	1,195956994
5	262,11	5,302	9,821	1,208847064
6	267,39	5,329	10,042	1,193868328
32 Mesh				
1	262,12	5,317	9,61	1,228475157
2	274,73	5,334	9,86	1,24694149
3	259,7	5,322	9,817	1,189231339
4	267,81	5,328	9,484	1,266571581
5	275,6	5,331	9,667	1,277300426
6	281,56	5,311	10,004	1,270479313
60 Mesh				
1	276,99	5,312	10,184	1,227304974
2	282,65	5,323	10,362	1,225788088
3	277,04	5,307	10,149	1,234081887
4	269,54	5,314	9,989	1,21669308
5	288,33	5,32	10,336	1,254980547
6	259,54	5,318	9,915	1,178522404

Anexo II – Resultados do ensaio de compressão axial para os corpos de prova produzidos com partículas de 10 mesh

Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 29** Extensômetro: **Trd 11** Data: **02/09/2013** Hora: **16:15:52** Trabalho n° **1192**
 Programa: **Tesc versão 3,04** Método de Ensaio: **compressão cimento madeira**
 Ident. Amostra: >>>>> ESPÉCIE: **Cimento Madeira 10 mach** PROCEDENCIA: **TCC Renato Marini** NORMA: **NBr 7215**

Corpo de Prova	Mod.Elástico. (MPa)	Força @Força Max. (kgf)	Tensão @Força Max. (MPa)
CP 1	309.50	919.00	4.06
CP 2	293.34	869.58	3.88
CP 3	312.87	895.86	3.96
CP 4	425.94	935.82	4.07
CP 5	424.70	846.44	3.71
CP 6	409.89	975.78	4.29
Número CPs	6	6	6
Média	362.7	907.1	3.997
Mediana	361.4	907.4	4.012
Desv.Padrão	63.55	46.68	0.1960
Coef.Var.(%)	17.52	5.146	4.905
Mínimo	293.3	846.4	3.709
Máximo	425.9	975.8	4.289

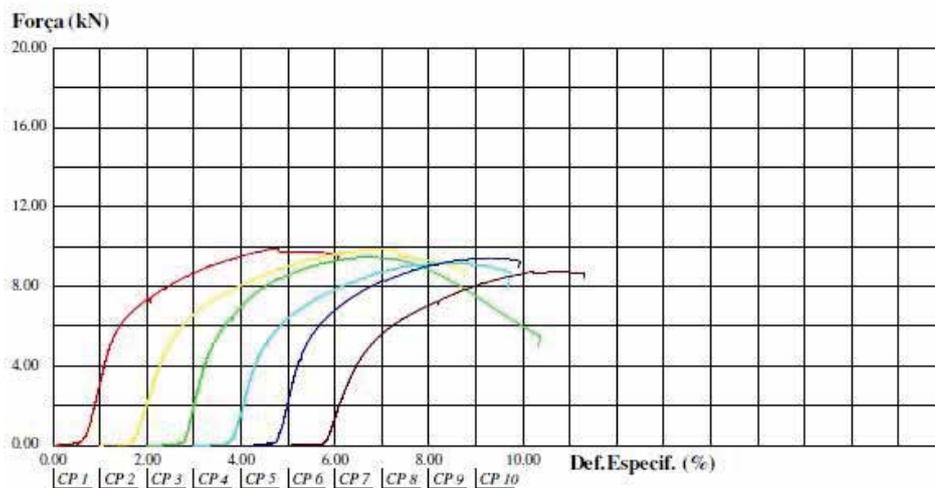


Anexo III – Resultados do ensaio de compressão axial para os corpos de prova produzidos com partículas de 20 mesh

Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL3000N** Célula: **Trd 29** Extensômetro: **Trd 11** Data: **02/09/2013** Hora: **16:35:34** Trabalho nº **1194**
 Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **compressão cimento madeira**
 Ident. Amostra: >>>>> ESPÉCIE: **Cimento Madeira 20 mach** PROCEDENCIA: **TCC Renato Marini** NORMA: **NBr 7215**

Corpo de Prova	Mod.Elástico: (MPa)	Força @Força Max. (kgf)	Tensão @Força Max. (MPa)
CP 1	454.79	1011.53	4.47
CP 2	333.66	1011.53	4.46
CP 3	445.83	969.47	4.27
CP 4	405.30	940.03	4.16
CP 5	463.40	963.16	4.28
CP 6	313.33	891.66	3.92
Número CPs	6	6	6
Média	402.7	964.6	4.261
Mediana	425.6	966.3	4.275
Desv. Padrão	64.84	45.51	0.2053
Coef. Var. (%)	16.10	4.718	4.818
Mínimo	313.3	891.7	3.920
Máximo	463.4	1012	4.469

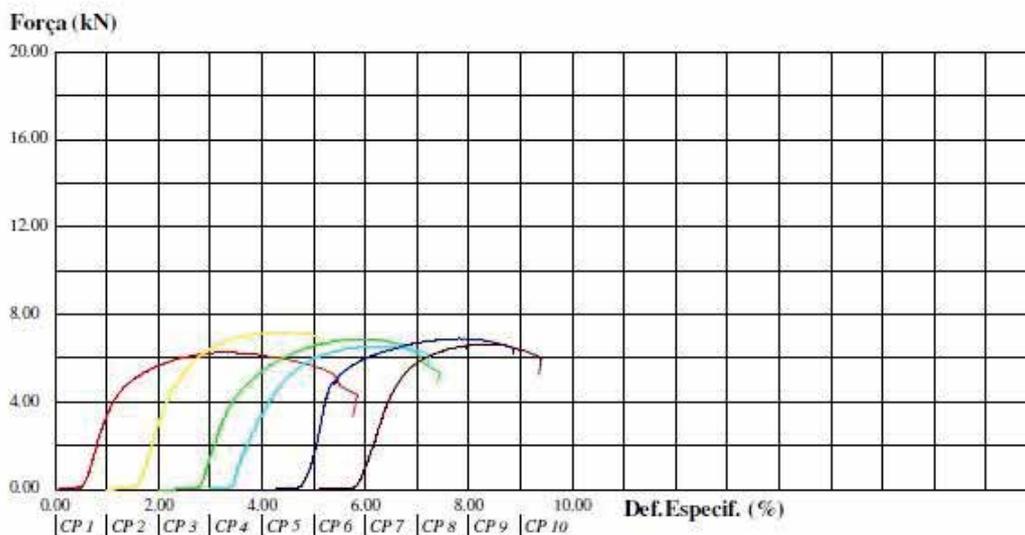


Anexo IV – Resultados do ensaio de compressão axial para os corpos de prova produzidos com partículas de 32 mesh

Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 29** Extensômetro: **Trd 11** Data: **02/09/2013** Hora: **16:49:15** Trabalho n° **1195**
 Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **compressão cimento madeira**
 Ident. Amostra: >>>>> **ESPÉCIE: Cimento Madeira 32 mach** PROCEDENCIA: **TCC Renato Marini** NORMA: **NBr 7215**

Corpo de Prova	Mod.Elástico. (MPa)	Força @Força Max. (kgf)	Tensão @Força Max. (MPa)
CP 1	370.91	641.40	2.83
CP 2	385.11	734.99	3.23
CP 3	320.55	703.44	3.10
CP 4	314.93	669.79	2.95
CP 5	552.49	704.49	3.10
CP 6	330.73	679.26	3.01
Número CPs	6	6	6
Média	379.1	688.9	3.035
Mediana	350.8	691.3	3.051
Desv.Padrão	89.50	32.53	0.1370
Coef.Var.(%)	23.61	4.723	4.515
Mínimo	314.9	641.4	2.833
Máximo	552.5	735.0	3.226



Anexo V – Resultados do ensaio de compressão axial para os corpos de prova produzidos com partículas de 60 mesh

Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL3000N** Célula: **Trd 29** Extensômetro: **Trd 11** Data: **02/09/2013** Hora: **16:58:58** Trabalho nº **1196**
 Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **compressão cimento madeira**
 Ident. Amostra: >>>>> ESPÉCIE: **Cimento Madeira 60 mach** PROCEDENCIA: **TCC Renato Marini** NORMA: **NBr 7215**

Corpo de Prova	Mod.Elástico. (MPa)	Força @Força Max. (kgf)	Tensão @Força Max. (MPa)
CP 1	48.52	657.18	2.91
CP 2	210.70	597.24	2.63
CP 3	339.05	672.95	2.98
CP 4	107.14	494.20	2.19
CP 5	279.13	699.24	3.08
CP 6	206.02	534.15	2.36
Número CPs	6	6	6
Média	198.4	609.2	2.692
Mediana	208.4	627.2	2.770
Desv. Padrão	107.1	81.82	0.3627
Coef. Var. (%)	53.95	13.43	13.47
Mínimo	48.52	494.2	2.185
Máximo	339.1	699.2	3.085

