

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO CIVIL

NÍCHOLLAS VEADRIGO SANTI

**UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO DE *Pinus spp* PARA PRODUÇÃO DE
PLACAS DE CIMENTO-MADEIRA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2013

NÍCHOLLAS VEADRIGO SANTI

**UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO DE *Pinus spp* PARA PRODUÇÃO DE
PLACAS DE CIMENTO-MADEIRA**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso, do Curso de Engenharia de Produção Civil do Departamento Acadêmico de Construção Civil – DACOC – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Dr. Adauto José Miranda de Lima

CURITIBA

2013

FOLHA DE APROVAÇÃO

UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO DE *Pinus spp* PARA PRODUÇÃO DE PLACAS DE CIMENTO-MADEIRA

Por

NÍCHOLLAS VEADRIGO SANTI

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Produção Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, defendido e aprovado em 04 de Outubro de 2013, pela seguinte banca de avaliação:

Prof. Orientador – Aduino José Miranda de Lima, Dr.
UTFPR

Profa. Juliana Machado Casali, Dra.
UTFPR

Prof. Wellington Mazer, Dr.
UTFPR

RESUMO

SANTI, Níchollas. **Utilização de Resíduo de *Pinus spp* na Produção de Placas de Cimento-Madeira.** Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

Este trabalho teve como objetivo analisar a utilização do resíduo de madeira, em forma de serragem, na produção de placas de cimento-madeira. O resíduo utilizado foi o da madeira de gênero *Pinus spp*. O diferencial desse estudo é a análise comparativa entre a utilização do resíduo de madeira *in natura* com o mesmo sendo submetido à um processo de lavagem para redução dos açúcares da madeira. Foi estudado um traço para cada situação. A mistura foi realizada em betoneira e as fôrmas com o compósito foram prensadas e mantidas grampeadas por um período de 24 horas antes da desfôrma. As placas foram alocadas em câmara-úmida para cura. Após 28 dias foram extraídos corpos de prova das placas para a realização dos ensaios de flexão estática, compressão e ligação interna. Os ensaios foram realizados com base em normas norte-americanas e europeias. Houve um aumento na resistência à tração em função do pré-tratamento de lavagem das partículas de madeira. O ensaio de compressão evidenciou que o fato de reduzir ou não os açúcares do resíduo de madeira através da lavagem pouco influencia na resistência à compressão da placa. Todos os corpos de prova do ensaio de ligação interna apresentaram valores acima do mínimo estipulado por uma fábrica alemã, que desenvolveu um sistema para produção de placas de cimento-madeira. O uso do aditivo acelerador de pega (CaCl_2) possibilitou a utilização do resíduo de madeira *in natura*. Os resultados dos ensaios de forma geral não justificaram submeter a serragem ao processo de redução dos açúcares, uma vez que não houve influência significativa e o grande volume de água utilizado pode ser inviável economicamente e ecologicamente.

Palavras-chave: Compósitos cimento-madeira. *Pinus spp*. Placas.

ABSTRACT

SANTI, Nícollas. **Use of residue from *Pinus spp* for the production of wood-cement panels.** Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

This project had the objective of analyzing the feasibility of the wood residue, in the form of sawdust, in the production of wood-cement composite panels. The residue utilized was from the *Pinus spp* gender. The differential of this study it is the comparison between the wood residues *in natura* being submitted to a washing process for reduction of wood's sugars. It was calculated a trend for each simulated situation. The mixture was realized in a concrete-mixer and the composite forms were kept pressured and plugged during a 24h period before being taking out of the forms. The panels were allocated inside a humid chamber for curing the concrete. After 28 days the bodies of test were extracted from the panels for the realization of some test procedures such as: static bending resistance, compression test and internal bond. The tests were conducted following European and North-American standards. The bending resistance test showed a gain on the tensile strength while bending due to pre-treatment of washing the wood particles. The compression strength test revealed that the fact of reducing or not the wood's sugars on the residues cannot influence on the panel's compressive strength. All bodies of test, of both trends, had values above the minimum stipulated a German manufacturer, which developed a production system for wood-cement panels. The use of the admixture of chemical connections (CaCl_2) made the utilization of the wood residue *in natura* possible without major problems. In general, the results did not justify the use of the sugar's reduction process, because there was not a significant gain and in addition the excessive waste of water may lead to the infeasibility of this method both economically and ecologically.

Keywords: Wood-cement composites. *Pinus spp*. Panels.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Benefícios dos Constituintes na Fabricação de Compósitos	14
Figura 2 - Agitador de Peneiras.....	23
Figura 3 - Reservatório e Pá	24
Figura 4 - Processo de Lavagem do Resíduo de Madeira	24
Figura 5 - Diferença de Aspecto da Serragem após o Processo de Lavagem.....	25
Figura 6 - Montagem das Fôrmas	26
Figura 7 - Preparo do Compósito	28
Figura 8 - Moldagem das Placas.....	29
Figura 9 - Prensagem e Grampeamento das Fôrmas	29
Figura 10 - Desfôrma das Placas	30
Figura 11 - Extração dos Corpos de Prova	30
Figura 12 - Ensaio de Flexão Estática.....	31
Figura 13 - Ensaio de Compressão.....	32
Figura 14 - Preparo dos corpos de prova para o ensaio de Ligação Interna.....	33
Figura 15 - Ensaio de Ligação Interna	33
Figura 16 - Relação Tensão x Deformação - Madeira Pré-Tratada.....	35
Figura 17 - Relação Tensão x Deformação - Madeira <i>in natura</i>	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Especificações da ABNT para o CP V-ARI RS	18
Tabela 2 - Composição do Cimento CPV ARI RS.....	21
Tabela 3 - Características Químicas do Cimento CPV–ARI-RS.....	22
Tabela 4 - Características Físicas do Cimento CPV-ARI-RS	22
Tabela 5 - Características do Aditivo Acelerador de Pega - $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	22
Tabela 6 - Traço Referência 1 – Madeira Pré-Tratada.....	27
Tabela 7 - Traço Referência 2 – Madeira <i>in natura</i>	27
Tabela 8 - Resistência à Tração na Flexão - Madeira Pré-Tratada.....	34
Tabela 9 - Resistência à Tração na Flexão - Madeira <i>in natura</i>	34
Tabela 10 - Resistência à Compressão – Madeira Pré-Tratada.....	36
Tabela 11 - Resistência à Compressão – Madeira <i>in natura</i>	36
Tabela 12 - Ligação Interna - Madeira Pré-Tratada	37
Tabela 13 - Ligação Interna - Madeira <i>in natura</i>	37
Tabela 14 - Comparação Geral dos Resultados	38

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CaCl ₂	Cloreto de Cálcio
Ca(OH) ₂	Hidróxido de Cálcio
CO ₂	Dióxido de Carbono
MgO	Óxido de Magnésio
pH	Potencial de Hidrogênio
SO ₃	Óxido Sulfúrico
ABIMCI	Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRAF	Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas
ASTM	American Society for Testing and Materials
NBR	Norma Brasileira
RPC	Rede Paranaense de Comunicação
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	10
1.1	OBJETIVOS	10
1.1.1	Objetivo Geral	10
1.1.2	Objetivos Específicos	10
1.2	JUSTIFICATIVA	11
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	12
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	13
2.1	COMPÓSITOS CIMENTO-MADEIRA.....	13
2.1.1	Painéis de Cimento-Madeira	14
2.1.2	Vantagens dos Compósitos Cimento-Madeira	14
2.1.3	Desvantagens dos Compósitos Cimento-Madeira	15
2.2	INTERAÇÃO ENTRE O CIMENTO PORTLAND E A MADEIRA.....	16
2.2.1	Compatibilidade entre o cimento Portland e a madeira.....	16
2.2.2	Hidratação de misturas contendo cimento Portland e madeira	16
2.2.3	Agressividade da matriz cimentícia	17
2.3	MATERIAIS UTILIZADOS PARA OBTENÇÃO DOS COMPÓSITOS	18
2.3.1	Cimento Portland CPV-ARI-RS.....	18
2.3.2	Madeira – Gênero <i>Pinus spp.</i>	19
2.3.3	Aditivos.....	19
3.	MATERIAIS E MÉTODOS	21
3.1	MATERIAIS	21
3.1.1	Resíduo vegetal	21
3.1.2	Aglomerante	21
3.1.3	Água de Amassamento	22
3.1.4	Aditivos Químicos.....	22
3.2	METODOLOGIA.....	23
3.2.1	Preparo dos materiais	23
3.2.2	Confecção das Fôrmas	25
3.2.3	Preparo do Compósito	26
3.2.4	Moldagem das Placas	28
3.2.5	Desfôrma.....	29
3.2.6	Obtenção dos Corpos de Prova	30
3.3	ENSAIOS	31
3.3.1	Ensaio de Flexão Estática.....	31
3.3.2	Ensaio de Compressão	31
3.3.3	Ensaio de Ligação Interna.....	32
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	34
4.1	ANÁLISE DOS ENSAIOS	34
4.1.1	Resistência à tração na flexão	34
4.1.2	Relação Tensão x Deformação na Flexão Estática.....	35
4.2.3	Resistência à Compressão	36
4.2.4	Ligação Interna.....	37
4.2	COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS	38
5.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	39
5.1	CONCLUSÕES DO ESTUDO	39
5.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	39
	REFERÊNCIAS.....	41

1. INTRODUÇÃO

Atualmente o Brasil se enquadra economicamente numa situação de crescimento em boa parte dos setores, inclusive na Construção Civil. Acompanhado desse crescimento vem a preocupação para que isto ocorra de maneira sustentável, causando o menor impacto possível na natureza. A conscientização da população, não somente brasileira, mas mundial como um todo, de que o ser humano precisa tomar conta do planeta antes que seja tarde demais, está gerando uma busca constante por novas alternativas que sejam mais eficientes.

O material mais utilizado na Construção Civil é o cimento Portland, que por sua vez é um dos grandes responsáveis pela emissão de CO₂ na atmosfera durante sua produção. Uma maneira de reduzir este impacto causado pela produção do cimento Portland é a substituição parcial dele por outros materiais cimentícios, além da adição de outros materiais. Com isso é possível também diminuir o custo da produção, no caso da adição de partículas de madeira provenientes de resíduos gerados pela produção de madeira serrada por exemplo (OLIVEIRA, 2008)

Os materiais de cimento-madeira já têm boa aceitação no mundo todo não só pelo maior apelo de sustentabilidade, mas também por possuírem boas características de isolamento termoacústico e por facilitarem na execução e no acabamento em obras se utilizados em forma de painéis modulados (MATOSKI, 2005).

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo principal deste trabalho é analisar a influência do tratamento do resíduo de madeira do gênero *Pinus spp* na produção de placas de cimento-madeira.

1.1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos são:

- Verificar metodologia de mistura e de moldagem adequados para a confecção de placas com compósitos de cimento-madeira;
- Analisar o uso de resíduo vegetal não submetido ao processo de lavagem para a confecção de placas com compósitos de cimento-madeira;

- Verificar a influência nas resistências à tração, compressão e ligação interna das placas após 28 dias.

1.2 JUSTIFICATIVA

A construção civil é uma atividade extremamente antiga na humanidade, pois pode ter seu início atrelado à época em que os primeiros nômades começaram a praticar a agricultura, foi quando estabeleceram locais fixos para viver e começaram a desenvolver técnicas de construção.

Já a ideia de construir com sustentabilidade, maior eficiência energética e ligada a uma preocupação com os recursos utilizados é uma novidade se comparado ao tempo de desenvolvimento da construção. De acordo com Günther (2000), isso não ocorria no passado devido a abundância de recursos naturais disponíveis para uma menor quantidade de pessoas inseridas em uma sociedade de consumo.

Com o crescimento populacional, a industrialização e o intenso consumo de bens e serviços os problemas e consequentes preocupações foram surgindo. Somente o cimento Portland, segundo Oliveira (2008), é responsável por uma fatia de 7% de toda a emissão de CO₂ no planeta, o qual é um gás que contribui para o efeito estufa, outro fato de discussão ambiental atualmente.

De maneira geral, até 75% dos recursos que a construção civil consome são naturais. Daí vem o grande potencial que este ramo possui para reciclagem e reutilização dos resíduos gerados (PINTO, 1999; JOHN, 2000). Conforme Freitas Junior (2005), a perda na produção de madeira serrada atinge 50% e no ano de 2011 essa produção foi de 9,1 milhões de metros cúbicos segundo a ABRAF (2012), o que indica que um igual volume de resíduo foi gerado no período.

A produção de painéis compostos por cimento Portland e madeira se torna atraente não somente por utilizar resíduos até então sem valor agregado mas também por se tornarem resistentes ao fogo, por possuírem propriedades de isolamento térmico e acústico e por serem mais resistentes aos ataques de insetos e fungos quando comparados com a madeira (RAMIREZ CORETTI *et al.* 1998).

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em cinco partes, onde a primeira contém uma Introdução ao tema, a justificativa da pesquisa, além dos objetivos geral e específicos do trabalho. A parte seguinte compreende uma fundamentação teórica sobre temas diretamente envolvidos no âmbito da pesquisa.

A terceira parte apresenta os materiais e métodos utilizados nos procedimentos de confecção das placas de cimento-madeira, bem como os ensaios aos quais os corpos de prova extraídos das placas foram submetidos. A apresentação dos resultados e discussões são expostas na quarta parte. E por fim, na última parte, apresenta-se as considerações finais e sugestões para trabalhos futuros.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 COMPÓSITOS CIMENTO-MADEIRA

A definição de compósito está ligada a um material multifásico obtido de forma artificial e que tem suas propriedades determinadas pelas propriedades dos materiais que o compõem (CALISTER JR., 1997).

No geral os compósitos podem ser classificados como bifásicos. Entretanto, compósitos com madeira incluem vazios, umidade e aditivos. Apesar dessa característica pode-se considerar a madeira como um compósito natural, pois a lignina age como uma cola, aglutinando as fibras (MATOSKI, 2005).

A ideia de misturar fibras ou partículas vegetais em matrizes inorgânicas não é recente. Nos tempos pré-históricos já existiam tijolos produzidos a partir da mistura de cascas de trigo ou arroz com argila, a fim de reduzir o aparecimento de trincas e otimizando o desempenho do elemento. Com o passar do tempo os materiais, as tecnologias e as técnicas evoluíram, porém o conceito básico de compósitos cimento-madeira continua sendo aplicado. Foram utilizadas fibras e partículas de madeira juntamente com o cimento Portland ou outros aglomerantes inorgânicos (MOSLEMI, 1989).

De acordo com a empresa Climatex®, citada por Matoski (2005), foram registradas patentes de compósitos cimento-madeira, na Alemanha em 1880 e na Áustria em 1908. Além desses dois países, o Japão e a Suíça são outros que atualmente utilizam em larga escala este tipo de compósito, em painéis na construção civil. Conforme Evans (2000), o fato de o amianto ter sido banido em países da América do Norte, no México, na Austrália e em toda a União Europeia alavancou o uso de materiais produzidos com cimento-madeira.

No Brasil, o amianto também está causando polêmica desde os anos 90 e já foi proibido em quatro estados, São Paulo, Pernambuco, Rio Grande do Sul e Mato Grosso, além de outras 22 cidades, como Pouso Alegre em Minas Gerais (RPCTV, 2012). Essa tendência da proibição do amianto pode ocasionar um aumento da demanda por compósitos de cimento-madeira no Brasil.

2.1.1 Painéis de Cimento-Madeira

Segundo Matoski *et al.* (2003), os compósitos que utilizam o cimento Portland são mais duráveis do que os feitos somente de madeira, com isso podem ser usados tanto na parte interna como na externa de construções. A mesma vantagem é observada ao se comparar com outros aglomerantes inorgânicos como o gesso e o magnésio, que por serem suscetíveis à umidade tem seu uso restrito a áreas internas de edificações.

De acordo com Lipinski (1994), o sucesso dos painéis de cimento-madeira no mundo se deve ao fato de se poder usufruir das propriedades dos dois materiais em um único produto. A Figura 1 ilustra os benefícios da utilização de madeira juntamente com o cimento.

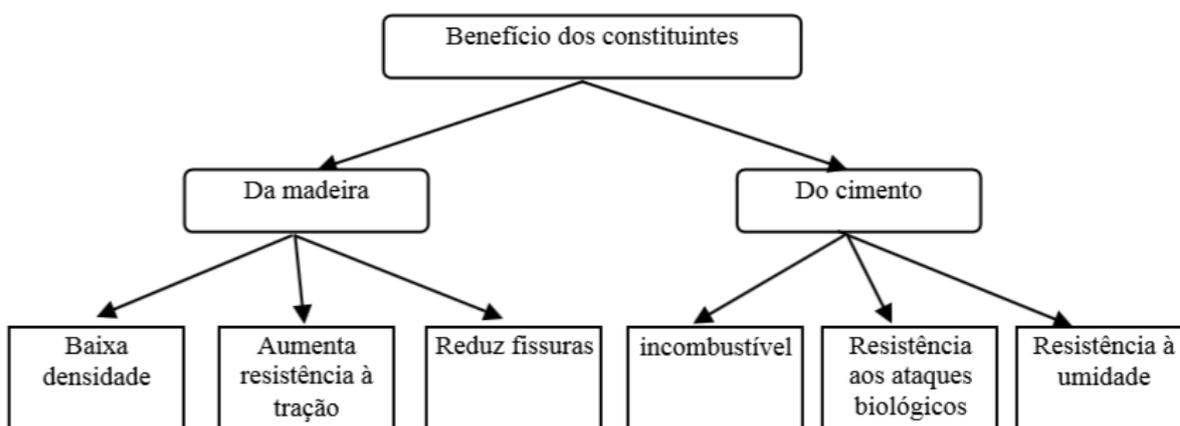


Figura 1 - Benefícios dos Constituintes na Fabricação de Compósitos
FONTE: LIPINSKI, 1994

As chapas de cimento-madeira também têm aspectos positivos quando comparadas com chapas a base de madeira, como compensados, chapas de média densidade e aglomerado a base de ureia formaldeído, painéis de fibrocimento, blocos de concreto e chapas de gesso (ROSCELLI, 1989).

As aplicações de painéis de cimento-madeira são muitas, dentre elas DIX (1989) salientou a utilização em revestimento de túneis, paredes divisórias, paredes isolantes termo-acústicas, forros e paredes para casas pré-fabricadas.

2.1.2 Vantagens dos Compósitos Cimento-Madeira

De acordo com Moslemi (1989), Ramirez-Coretti *et al.* (1998) e Semple e Evans (2004), as principais vantagens destes compósitos são:

- Capacidade de receber parafusos e pinturas;
- Permite ser furado e serrado;
- Menor consumo de energia em sua produção;
- Disponibilidade de matéria-prima para sua fabricação e;
- Pode ser utilizado em vários produtos da construção civil por ter baixa massa específica, como: forros, elementos de vedação, telhas, entre outros.

As chapas de cimento-madeira, quando comparadas com outras chapas de madeira, possuem ainda outras vantagens, como cita Matoski (2005):

- Menor perda de material durante o acabamento;
- Não formam poeira;
- Não há problemas de efluentes líquidos;
- Os materiais utilizados não são tóxicos e
- As partículas não precisam ser secadas à baixos teores de umidade.

2.1.3 Desvantagens dos Compósitos Cimento-Madeira

A desvantagem principal deste tipo do compósito é a incompatibilidade química que ocorre entre o cimento Portland e a madeira. Esse fator está diretamente ligado com a durabilidade do material e por tanto será relatado de maneira mais aprofundada no item 2.2, que trata da interação entre o cimento Portland e a madeira.

Outra desvantagem é a cura, que necessita de uma temperatura elevada, 80°C por 6 a 8 horas, ou de muito espaço, para realizar uma cura ambiente por 18 a 20 dias (MOSLEMI, 1989).

2.2 INTERAÇÃO ENTRE O CIMENTO PORTLAND E A MADEIRA

2.2.1 Compatibilidade entre o cimento Portland e a madeira

Segundo Jorge *et al.* (2004), o termo compatibilidade, quando utilizado em pesquisas sobre cimento-madeira, faz referência à influência da madeira no tempo de pega do cimento. Em alguns casos, dependendo da quantidade de carbo-hidratos, glucosídeos e componentes fenólicos presentes na madeira, pode ocorrer a inibição total da pega do cimento, tornando impossível a formação do compósito (MATOSKI, 2005).

De acordo com estudos de Sandermann e Brendel (1956), citados por Miller e Moslemi (1991), madeiras que possuem mais de 0,2% de compostos fenólicos, presentes no cerne de algumas espécies, em sua composição inibem completamente a hidratação do cimento Portland. A glicose, em uma concentração de 1%, também é capaz de inibir totalmente a pega de alguns tipos de cimento (BERALDO, 1994 *apud*. LIMA, 2009).

Na literatura não existe um consenso sobre quais são as substâncias mais desfavoráveis à hidratação do cimento. Para Hachmi e Moslemi (1990) são as substâncias solúveis em água, já para Simatupang *et al.* (1988) são extrativos da madeira e, de acordo com Beraldo e Carvalho (2004), o tipo de extrativo é mais significativo para inibição do que simplesmente a quantidade. Mesmo existindo uma discordância entre os autores com relação à qual substância da madeira ser a principal inibidora da hidratação do cimento Portland, não resta dúvidas de que a madeira, de forma geral, essa prejudica a pega do cimento Portland.

A perda de resistência na interface entre a madeira e a pasta também é um fator negativo em compósitos cimento-madeira. Isso ocorre devido a migração de resinas para a superfície da madeira, formando uma camada hidrófoba e por consequência prejudicando a formação de pontes de hidrogênio entre os materiais (MILLER e MOSLEMI, 1991).

2.2.2 Hidratação de misturas contendo cimento Portland e madeira

O calor de hidratação é a quantidade de calor que é liberada até o instante de total hidratação a certa temperatura. A hidratação dos compostos de cimento Portland é uma reação exotérmica e pode liberar até 500 J/g de calor. A compatibilidade entre

o cimento Portland e a madeira pode ser relacionada com o calor de hidratação (MATOSKI, 2005).

Analisando o comportamento do calor de hidratação de misturas cimento-madeira pode-se afirmar que a madeira reduz consideravelmente o calor liberado na hidratação do composto. Porém essa relação também é influenciada pelo tipo de madeira, visto que algumas espécies, quando misturadas ao cimento Portland, ultrapassam os 60°C. Enquanto outras não atingem 50°C, essas podem ser consideradas incompatíveis para misturas com o cimento Portland (HACHMI e CAMPBELL, 1989).

2.2.3 Agressividade da matriz cimentícia

De acordo com Matoski (2005), outro aspecto importante na compatibilidade entre o cimento e a madeira é a excessiva alcalinidade do cimento Portland dissolvido na água, pois a madeira é pouco resistente à meios alcalinos.

Durante a hidratação do cimento Portland são produzidas grandes quantidades de cristais de Ca(OH)_2 , atingindo entre 20% e 25% do volume total de sólidos da pasta (MEHTA e MONTEIRO, 2008). O pH desta pasta hidratada é de aproximadamente 12,5, um meio bastante agressivo para a madeira, que nestas condições incha, se degrada e se dissolve (HACHMI e CAMPBELL, 1989).

A água de poro presente na pasta reage com a hemicelulose e com a lignina deixando o meio alcalino. Com isso tem-se o enfraquecimento da ligação das células das fibras da madeira (SOROUSHIAN e MARIKUNTE, 1992 *apud* NITA, 2007).

Para Fan *et al.* (2000) pode ocorrer alterações nas dimensões do compósito cimento-madeira devido à remoção de parte dos extrativos e da dissolução de alguns componentes da madeira, devido ao aumento do pH da matriz.

A lignina presente na madeira pode ter suas ligações rompidas, formando grupos fenólicos e por consequência sua solubilização, quando submetidas à meios alcalinos (KLOCK, 2005 *apud* LIMA, 2009).

Segundo John e Agopyan (1993) *apud* Nita (2007), a durabilidade de compósitos cimento-madeira pode ser aumentada mediante a adição de materiais pozolânicos, pois com o consumo de hidróxido de cálcio presente na zona de transição ocorre um aumento da aderência entre as fibras da madeira e a pasta. Além disso

ocorre também um diminuição do pH da solução devido à combinação do Ca(OH)_2 com os íons Ca^{2+} da mistura.

2.3 MATERIAIS UTILIZADOS PARA OBTENÇÃO DOS COMPÓSITOS

A seguir serão apresentados os materiais utilizados na mistura de compósitos de cimento-madeira e suas respectivas características.

2.3.1 Cimento Portland CPV-ARI-RS

Normalmente o cimento Portland CPV-ARI RS é utilizado pois possui alta resistência inicial e também possui uma característica importante que é a resistência a sulfatos. Uma maneira de obter essa propriedade é através da adição de cinza pozzolânica, o que possibilita seu uso em ambientes agressivos (ITAMBÉ, 2013). Conforme a NBR 5737 (1992), os cimentos resistentes a sulfatos apresentam alta reatividade em baixas idades em função de seu grau de moagem. A Tabela 1 mostra um resumo das especificações da ABNT para o cimento CPV-ARI RS.

Tabela 1 - Especificações da ABNT para o CP V-ARI RS

Parâmetros	
Tempo de Início de pega (horas)	≥ 1
MgO (%)	≤ 6,5
Perda ao fogo (%)	≤ 4,5
SO ₃ (%)	*
Resistência a Compressão (Mpa)	
1 dia	≥ 11,0
3 dias	≥ 24,0
7 dias	≥ 34,0
28 dias	-
Adições Permitidas	
Escória	**
Fíler Calcário	0 a 5
Material Pozzolânico	**

FONTE: adaptado de ITAMBÉ (2013).

A utilização do cimento Portland de alta resistência a sulfatos é muito comum em produção de concretos protendidos, pré e pós tensionado, pisos industriais,

artefatos de concreto, concreto dosado em central e argamassa armada, de acordo com (POUEY, 2006).

2.3.2 Madeira – Gênero *Pinus spp*

O gênero *Pinus spp* é da família das *Pinaceae*, e abrange plantas em geral arbóreas, lenhosas, tronco reto, copa em forma de cone e sem uma altura padrão. A madeira de *Pinus spp* possui massa específica entre 400 e 520 kg/m³, com uma umidade de 15%. Segundo Morais *et al.* (2005) algumas espécies de *Pinus* figuram entre as árvores mais utilizadas no mundo.

As madeiras deste gênero são muito boas para a produção de celulose e também apresentam características propícias para utilização em serrarias. Outra característica é que as madeiras do gênero *Pinus spp* geram, durante seu processamento mecânico, grande quantidade de resíduos. Estes resíduos até o momento são tratados muito mais como um problema para a indústria madeireira do que como uma possível solução em outras atividades.

Segundo dados da ABIMCI (2009), em um período de dez anos (1997-2007) a produção de madeira de *Pinus spp* no Brasil aumentou em 20,48%. Isso comprova que a geração de resíduos por parte da Indústria de Madeira também cresceu no período, sem entretanto aumentar a preocupação sobre como reaproveitar este descarte até então sem valor algum.

2.3.3 Aditivos

Segundo Isaia (2005), a norma Europeia EN 934 (2001) estabelece como aditivos os materiais que são adicionados, numa quantidade de até 5%, no processo de mistura, com o intuito de modificar as propriedades do compósito nos estados fresco e/ou endurecido. Isaia (2005) faz uma correspondência de cada tipo de aditivo com as normas brasileiras (ABNT) e norte-americanas (ASTM) que os regem. Dentre todos os tipos de aditivos, para o presente estudo se destaca o aditivo acelerador de pega:

- Aceleradores (ABNT EB 1.763 - Tipo A e ASTM C494 - Tipo C);

Os aditivos chamados de aceleradores de pega são capazes de reduzir o tempo de cura do compósito, aumentando a resistência inicial do material. O cloreto

de cálcio (CaCl_2) é o aditivo acelerador mais difundido no meio da construção civil (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

Em compósitos cimento-madeira um dos aditivos dentre os que se mostraram mais eficazes, segundo um estudo de (Zhengtian e Moslemi, 1985 *apud* Semple e Evans, 2000), foi o cloreto de cálcio. O estudo ainda apontou que certos aditivos tiveram efeitos negativos sob a hidratação do cimento Portland.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo irá tratar dos materiais utilizados para fazer os corpos de prova à serem ensaiados, bem como a metodologia empregada. Para essas determinações foram utilizadas recomendações das normas brasileiras e, na falta destas, normas internacionais ou adaptações.

3.1 MATERIAIS

Os materiais utilizados para confecção das placas foram o cimento Portland, o resíduo de madeira do gênero *Pinus spp*, a água e o aditivo acelerador de pega.

3.1.1 Resíduo vegetal

O resíduo vegetal utilizado nesta pesquisa é do gênero de madeira *Pinus spp*. A forma escolhida para tal resíduo foi a de partículas oriundas da serragem, peneiradas na peneira 4,8mm. O material é proveniente da empresa *Madeira Juruqui*, localizada na estrada *Justo Manfron, 07* no município de *Almirante Tamandaré (PR)*.

3.1.2 Aglomerante

O aglomerante foi escolhido baseado na produção de artefatos de concreto na região. Esse aglomerante é o Cimento Portland CPV ARI RS, (Alta Resistência Inicial – Resistente a Sulfatos, NBR 5.733 (1991) – *Cimento Portland de alta resistência inicial*). Este material foi adquirido da empresa *Buschle e Lepper SA, Rod. BR 116, 14.951, Curitiba (PR)*.

As Tabelas 2, 3 e 4 apresentam a composição normalizada do cimento CPV ARI-RS e suas características químicas e físicas, de acordo com o fabricante.

Tabela 2 - Composição do Cimento CPV ARI RS

Tipo de Cimento	Sigla	Composição (% em massa)			Especificação Técnica
		Clinker +CaSO ₄	Material Carbonático	Adição Mineral	
Alta Resistência Inicial Resistente a Sulfatos	CPV ARI RS	75% a 85%	0% a 5%	-	NBR 5.735 (1991)

Fonte: NBR 5.735 (1991).

Tabela 3 - Características Químicas do Cimento CPV-ARI-RS

Composição Química (%)									
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	CaO Livre	Alcalis Totais	Resíduo Insolúvel	Perda ao Fogo
22,43	6,34	3,17	54,08	4,89	3,10	1,65	0,73	11,93	3,75

Fonte: ITAMBÉ (2013).

Tabela 4 - Características Físicas do Cimento CPV-ARI-RS

Características Físicas						
Blaine (cm ² /q)	Massa Específica (q/cm ³)	Início de Pega (h:min)	Fim de Pega (h:min)	Finura # 200 (%)	Finura # 375 (%)	Expansibilidade (mm)
4.957	3,12	2:05	2:55	0,16	1,26	0,53

Fonte: ITAMBÉ (2013).

3.1.3 Água de Amassamento

Nesta pesquisa foi utilizada água potável, coletada diretamente da rede de abastecimento da Companhia de Saneamento do Paraná - *Sanepar*.

3.1.4 Aditivos Químicos

Como já visto na fundamentação teórica, em compósitos cimento-madeira se torna necessário o uso de aditivos químicos pelos motivos anteriormente citados. Nesta pesquisa foi utilizado o seguinte aditivo:

Aditivo acelerador de pega (Cloreto de cálcio bi-hidratado - CaCl₂.2H₂O), produzido pela *IPC do Nordeste Ltda., Polo Petroquímico de Camaçari, Camaçari, BA* e foi adquirido na empresa *Buschle e Lepper SA, Rod. BR 116, 14.951, Curitiba (PR)*.

A Tabela 5 mostra algumas características do aditivo acelerador de pega, esses dados são fornecidos pelos fabricantes.

Tabela 5 - Características do Aditivo Acelerador de Pega - CaCl₂.2H₂O

Características					
Forma	Estado	Cor	pH	Solubilidade	Massa Específica (q/cm ³)
Cristais ou Prismas	Sólido	Branca	8,0 a 9,0	Alta	0,80 a 0,84

Fonte: Informações fornecidas pelo fabricante

3.2 METODOLOGIA

Neste capítulo será descrito como foi realizada a confecção das fôrmas utilizadas, a mistura e a moldagem das placas de cimento-madeira, o corte das mesmas para obtenção de corpos de prova e os ensaios de características físicas empregados.

3.2.1 Preparo dos materiais

Para a moldagem das placas foram realizadas misturas com dois traços diferentes, com serragem com pré-tratamento (lavada) e sem pré-tratamento (in natura).

Primeiramente 25kg de partículas de madeira oriundas da serragem foram peneiradas em peneira 4,8mm com o auxílio de um agitador de peneiras, exibido na Figura 2.



Figura 2 - Agitador de Peneiras

Em seguida 12kg de serragem peneirada foram submetidos à um tratamento para redução dos açúcares. A serragem foi imersa em água, numa proporção de 10 litros de água para cada quilograma de serragem, em um reservatório plástico com capacidade de 200 litros. O reservatório e a pá utilizada para misturar são mostradas na Figura 3. Após o processo de mistura foi deixada em repouso dentro da água por 48 horas.



Figura 3 - Reservatório e Pá

Decorrido o prazo de 24 horas a serragem foi lavada novamente em água corrente com o intuito de remover os açúcares que se desprenderam com o processo anterior de imersão em água. Para facilitar a etapa de lavagem foi utilizado um balde para remover o excesso de água contido no reservatório, uma vez que a serragem ficou depositada no fundo após o repouso. A água corrente foi direcionada com o auxílio de uma mangueira e o resíduo de madeira encharcado foi colocado novamente na peneira de 4,8mm para ser lavada. A Figura 4 ilustra esta etapa de lavagem.



Figura 4 - Processo de Lavagem do Resíduo de Madeira

Na Figura 5 pode-se observar a diferença de aspecto da serragem antes e depois da lavagem. O primeiro quadrante da figura mostra o local onde o processo aconteceu, nos demais a serragem ainda está com os açúcares em sua superfície, apesar de desprendidos.

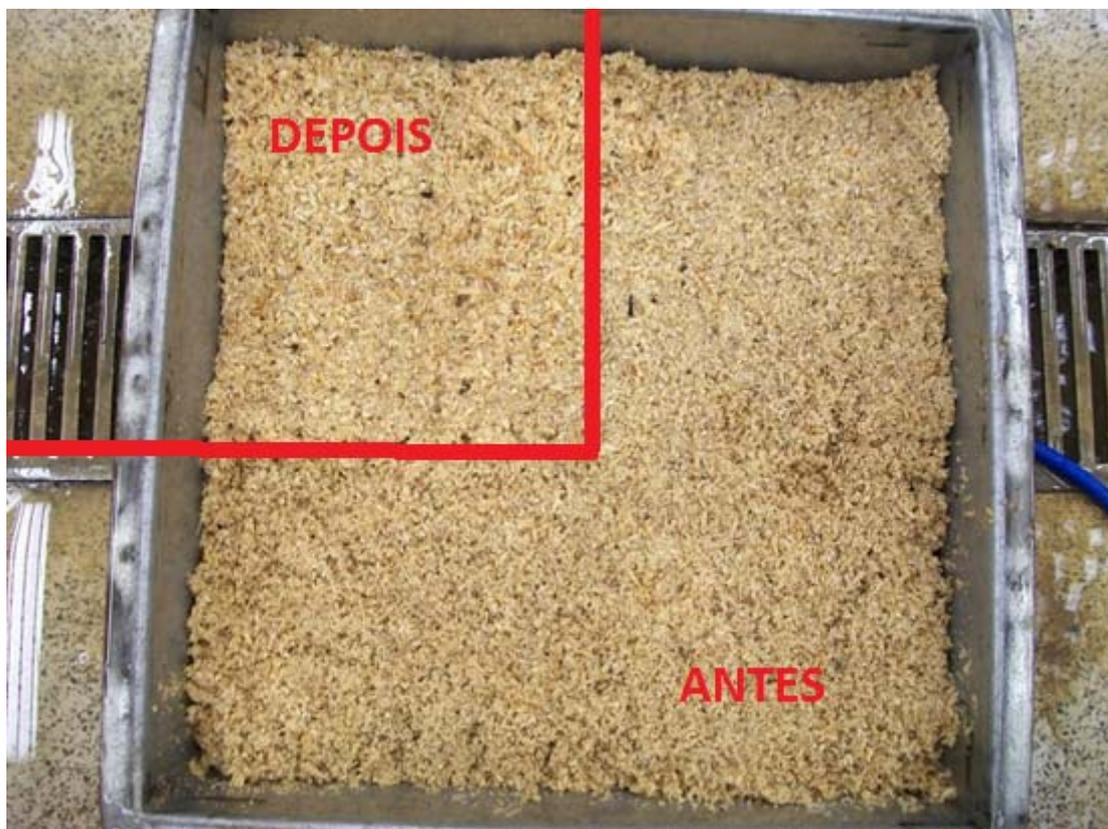


Figura 5 - Diferença de Aspecto da Serragem após o Processo de Lavagem

3.2.2 Confeção das Fôrmas

Para a confecção das fôrmas foi utilizado uma chapa de compensado plastificado disponível na UTFPR. Esta chapa foi cortada por um profissional de uma obra da construtora Focus Plan, localizada no Alto da Glória, em uma serra circular de bancada nos seguintes tamanhos e quantidades:

- 8 peças de 41 x 45 cm;
- 12 peças de 35 x 5 cm;
- 12 peças de 41 x 5 cm.

A configuração descrita foi adotada para possibilitar a confecção de 2 jogos de fôrmas com capacidade para 3 placas cada, totalizando 6 placas por moldagem. Para

esta pesquisa foram extraídos corpos de prova de apenas uma placa para cada traço aos 28 dias. As outras 5 placas poderão ser utilizadas posteriormente para ensaios com outras idades, como descrito no item 5.2, que trata de sugestões para trabalhos futuros.

As peças foram unidas com parafusos, após ser feito um pré-furo com prego, para facilitar a desfôrma e a reutilização das fôrmas em outras moldagens. A Figura 6 ilustra a etapa de montagem das fôrmas.

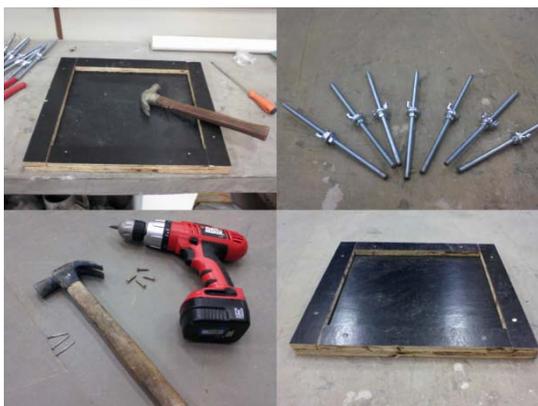


Figura 6 - Montagem das Fôrmas

3.2.3 Preparo do Compósito

O preparo do compósito foi realizado a partir de um traço base, obtido de um estudo experimental realizado com materiais disponíveis na região metropolitana de Curitiba (MENDES, 2002). Porém foram feitas duas misturas diferentes, a primeira utilizando a serragem submetida ao tratamento para redução dos açúcares, e a segunda com serragem não tratada.

As dimensões das placas produzidas foram 350 x 310 x 15 mm, gerando um volume de 1.627,50cm³ por placa. As Tabelas 6 e 7 contêm os traços que foram utilizados, suficientes para moldar 3 placas. A quantidade de água do traço deve-se considerar a água presente na madeira, devendo-se adicioná-la até o ponto de saturação das fibras (SIMATUPANG, 1994). A equação utilizada para definir a quantidade total de água do traço é:

$$\text{Água} = 0,45C + (0,30 - TU).M$$

Onde: C = cimento medido em gramas
TU = teor de umidade da madeira

M = massa da madeira em gramas.

O fator água/cimento utilizado foi 0,45, a relação cimento/madeira foi 13:1 e a quantidade de cloreto de cálcio foi de 4,5% da quantidade de cimento Portland. Os traços bases foram calculados com a serragem seca, para cada moldagem foi realizada a correção com a umidade da madeira.

Tabela 6 - Traço Referência 1 – Madeira Pré-Tratada

Material	Peso (g)
Cimento CP V-ARI RS	8454,66
Partículas de Madeira Lavada	650,36
Água	3999,70
CaCl ₂	380,46

Fonte: LIMA (2009)

Tabela 7 - Traço Referência 2 – Madeira *in natura*

Material	Peso (g)
Cimento CP V-ARI RS	8454,66
Partículas de Madeira <i>in natura</i>	650,36
Água	3999,70
CaCl ₂	380,46

Fonte: LIMA (2009)

A sequência realizada para o preparo do compósito foi:

- Pesagem dos materiais;
- Imprimação da betoneira com pasta de cimento com mesma relação água/cimento do traço;
- Mistura prévia dos materiais secos em um saco plástico;
- Diluição do cloreto de cálcio na água;
- Mistura dos materiais em betoneira por aproximadamente 3 minutos.



Figura 7 - Preparo do Compósito

3.2.4 Moldagem das Placas

O processo de moldagem das placas, assim como o preparo do compósito, ocorreu em dois dias distintos, um dia para cada traço. As misturas e moldagens ainda foram divididas em duas etapas para cada traço.

O processo de moldagem das placas foi o seguinte:

- Aplicação de desmoldante nas fôrmas;
- Moldagem das placas com colher de pedreiro;
- Arrasamento com haste;
- Alisamento da superfície.

A Figura 8 mostra a etapa de moldagem das placas sendo executada. Após serem moldadas as 3 placas da etapa, as suas fôrmas foram dispostas uma sobre a outra, de maneira que o fundo da fôrma de uma placa servisse de tampa para a imediatamente inferior. A terceira e última fôrma da etapa recebeu uma tampa e o conjunto foi envolvido por um sistema de grampeamento composto por 4 vigotes de pinus e 4 hastes com rosca.



Figura 8 - Moldagem das Placas

Foi realizado um aperto inicial para locomoção até a prensa, onde foi aplicada uma carga de 20kg/cm^2 e então realizado o aperto final. Para auxiliar na distribuição das cargas na prensa foram adicionados 6 vigotes de pinus, intercalados com os vigotes furados para as hastes. A Figura 9 apresenta o processo de prensagem e grampeamento das fôrmas. As placas permaneceram grampeadas por 24 horas até a desfôrma.



Figura 9 - Prensagem e Grampeamento das Fôrmas

3.2.5 Desfôrma

A seguir está descrito como foi executada a desfôrma das placas, os três últimos passos se foram repetidos para cada uma das placas do conjunto de fôrmas:

- Afrouxamento das porcas tipo borboleta;
- Remoção dos vigotes de grampeamento;
- Remoção da tampa da forma;
- Remoção do excesso das bordas com espátula;
- Remoção dos parafusos das peças laterais da forma;
- Remoção da placa.

A Figura 10 apresenta instantes do processo de desfôrma.



Figura 10 - Desfôrma das Placas

Após esse processo as placas foram inseridas em um saco plástico incolor, foi aspirado água em seu interior, e foram alocadas em uma sala fechada de alta umidade, onde ficaram por 28 dias.

3.2.6 Obtenção dos Corpos de Prova

Após 28 dias, com o auxílio de um profissional da UTFPR, foi adaptado um disco de serra manual na serra circular de bancada para realizar o corte das placas. Para esta pesquisa foram extraídos corpos de prova de duas placas, a primeira moldada com o Traço 1 (Referência) e a outra com o Traço 2. Para cada uma das duas placas foram extraídos os seguintes Corpos de Prova (CPs):

- 3 CPs de 50 x 250 mm para determinação da resistência à tração na flexão;
- 6 CPs de 25 x 100 mm para determinação da resistência à Compressão;
- 6 CPs de 50 x 50 mm para o ensaio de Ligação Interna.



Figura 11 - Extração dos Corpos de Prova

3.3 ENSAIOS

Todos os ensaios da pesquisa foram realizados nas dependências da UTFPR com o auxílio do chefe de laboratório. Uma breve descrição de cada ensaio bem como as normas tomadas como base estão expostas nos itens de 3.3.1 a 3.3.4.

3.3.1 Ensaio de Flexão Estática

O ensaio de flexão estática foi realizado com base na norma EN 1058 – CEN (1995). A velocidade estabelecida foi de 0,5 mm/min. e as leituras de força foram efetuadas de 2 em 2 kgf. A Figura 12 mostra o ensaio sendo efetuado, além dos corpos de prova antes e depois do rompimento.



Figura 12 - Ensaio de Flexão Estática

3.3.2 Ensaio de Compressão

O ensaio de compressão foi baseado nas especificações da norma ASTM 1037 (1982). A Figura 13 abaixo ilustra a realização do ensaio e dois padrões diferentes de ruptura dos corpos de prova.



Figura 13 - Ensaio de Compressão

3.3.3 Ensaio de Ligação Interna

O ensaio de Ligação Interna foi baseado nas especificações da norma ASTM 1037-78B (1982). Foi realizado um conjunto composto pelo corpo de prova e duas pequenas chapas de ferro (90 x 80 x 8 mm) coladas, uma de cada lado do corpo de prova. Para aderir as peças foi utilizado um adesivo estrutural a base de epóxi da marca Vedacit, disponível na UTFPR. A mistura dos dois componentes do adesivo foi feita com o auxílio de um misturador acoplado a uma furadeira. A Figura 14 mostra o processo de preparo dos corpos de prova para o ensaio de Ligação Interna.



Figura 14 - Preparo dos corpos de prova para o ensaio de Ligação Interna

Após esse processo foi esperado 7 dias para a realização do ensaio, tempo de cura do adesivo estrutural utilizado. O ensaio de ligação interna é apresentado na Figura 15.



Figura 15 - Ensaio de Ligação Interna

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 ANÁLISE DOS ENSAIOS

4.1.1 Resistência à tração na flexão

A resistência à tração na flexão foi calculada perante a utilização da equação [1]:

$$f_{ctM} = p.l / b.d^2 \quad \text{EQUAÇÃO [1]}$$

onde: f_{ctM} = resistência à tração na flexão, em Mpa;

p = carga máxima aplicada, em N;

l = distância entre os elementos de apoio; em mm;

b = largura média do corpo de prova na seção de ruptura, em mm;

d = altura média do corpo de prova na seção de ruptura, em mm.

As Tabelas 8 e 9 mostram os resultados obtidos nesse ensaio

Tabela 8 - Resistência à Tração na Flexão - Madeira Pré-Tratada

Corpo de Prova	Distância dos apoios (mm)	Largura (mm)	Altura (mm)	Força Máxima (N)	Resistência à Tração na Flexão (Mpa)
CP1	205,00	49,60	14,30	281,17	5,68
CP2	205,00	46,80	14,10	120,50	2,65
CP3	205,00	49,40	14,50	251,04	4,95
Média:	205,00	48,60	14,30	217,57	4,43
CV (%):	0,00	0,03	0,01	0,39	35,67

Tabela 9 - Resistência à Tração na Flexão - Madeira *in natura*

Corpo de Prova	Distância entre apoios (mm)	Largura (mm)	Altura (mm)	Força Máxima (N)	Resistência à Tração na Flexão (Mpa)
CP1	205,00	50,00	14,40	271,12	5,36
CP2	205,00	48,70	14,15	190,79	4,01
CP3	205,00	48,90	13,80	190,79	4,20
Média:	205,00	49,20	14,12	217,57	4,52
CV (%):	0,00	0,01	0,02	0,21	16,15

Ao se comparar os resultados médios obtidos para a resistência à tração na flexão dos dois traços, pode-se observar que o traço com serragem *in natura* ficou acima do traço com madeira pré-tratada. Porém os resultados do traço com madeira pré-tratada apresentaram um coeficiente de variação elevado, devido ao resultado destoante do corpo de prova nº 2, que ficou muito abaixo dos demais. Este fato ocorreu devido às dificuldades de se obter uma mistura homogênea na betoneira.

4.1.2 Relação Tensão x Deformação na Flexão Estática

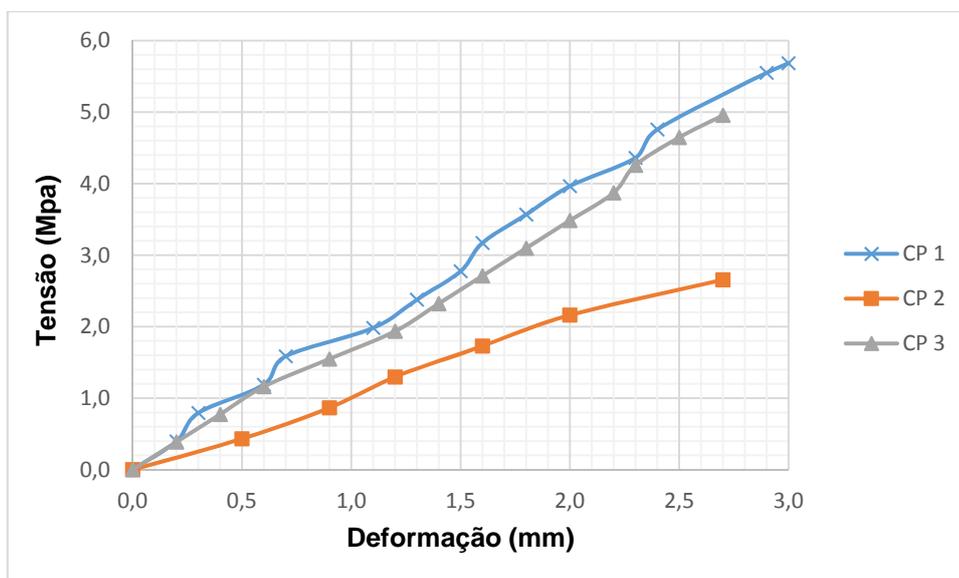


Figura 16 - Relação Tensão x Deformação - Madeira Pré-Tratada

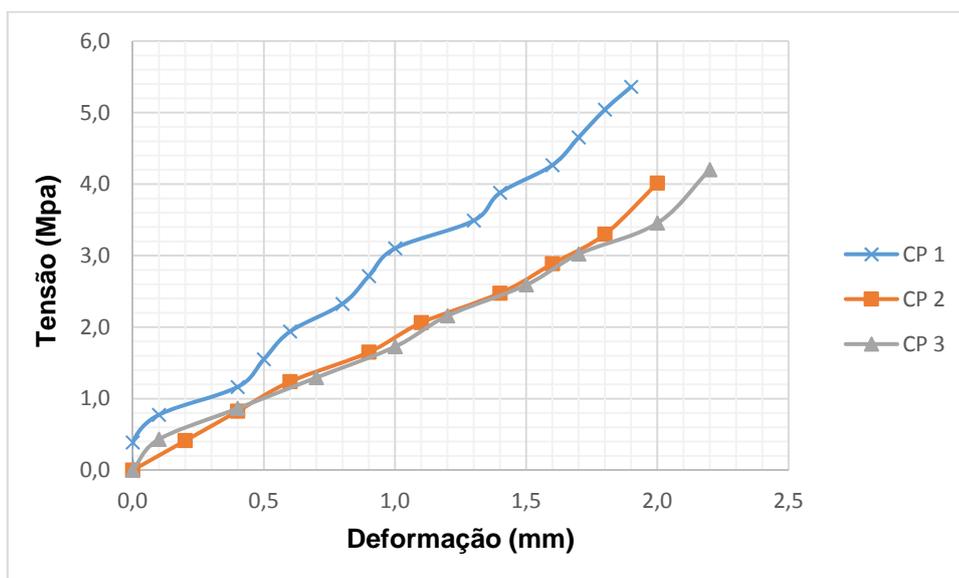


Figura 17 - Relação Tensão x Deformação - Madeira *in natura*

Observando-se os gráficos das Figuras 17 e 18, pode-se comparar as relações tensão x deformação dos dois traços. Os dois traços obtiveram um corpo de prova que apresentou comportamento distante dos outros dois do mesmo traço. Caso sejam desconsiderados os corpo de prova 2 do traço com madeira lavada e o corpo de prova 1 do traço com madeira sem lavar, pode-se afirmar que o compósito feito com a serragem lavada obteve melhores resultados do que o feito com a serragem *in natura*.

4.2.3 Resistência à Compressão

As Tabelas 10 e 11 apresentam os resultados obtidos de resistência à compressão para os dois traços.

Tabela 10 - Resistência à Compressão – Madeira Pré-Tratada

Corpo de Prova	Força Máxima (N)	Resistência à Compressão (Mpa)
CP1	10.513,58	26,28
CP2	5.733,77	15,58
CP3	8.183,93	22,24
CP4	9.168,01	26,57
CP5	12.933,62	32,33
CP6	6.145,48	16,70
Média:	8.779,73	23,28
CV (%):	0,31	27,53

Tabela 11 - Resistência à Compressão – Madeira *in natura*

Corpo de Prova	Força Máxima (N)	Resistência à Compressão (Mpa)
CP1	7.491,06	19,98
CP2	8.113,64	23,18
CP3	11.537,83	30,77
CP4	12.933,62	35,53
CP5	5.633,35	16,10
CP6	9.584,21	25,56
Média:	9.215,62	25,19
CV (%):	0,29	28,19

Pode-se observar que o processo de lavagem do resíduo de madeira pouco influencia nesse parâmetro. Isso demonstra que provavelmente a lavagem da madeira interfere na resistência à tração na flexão, mas não na resistência à compressão. Isso

pode ser explicado pela maior parcela de participação das propriedades da serragem na flexão do que na compressão.

4.2.4 Ligação Interna

Os resultados de ligação interna estão apresentados nas Tabelas 12 e 13:

Tabela 12 - Ligação Interna - Madeira Pré-Tratada

Corpo de Prova	Lado 1 (mm)	Lado 2 (mm)	Força Máxima (N)	Ligação Interna (Mpa)
CP1	51,00	46,75	2.440,12	1,02
CP2	51,00	48,40	2.088,66	0,85
CP3	51,00	47,50	2.540,53	1,05
CP4	49,40	49,00	2.620,87	1,08
CP5	49,60	49,00	2.038,45	0,84
CP3	51,45	50,60	1.777,37	0,68
Média:	50,58	48,54	2.251,00	0,92
CV (%):	0,02	0,03	0,15	0,17

Tabela 13 - Ligação Interna - Madeira *in natura*

Corpo de Prova	Lado 1 (mm)	Lado 2 (mm)	Força Máxima (N)	Ligação Interna (Mpa)
CP1	51,10	49,00	2.168,99	0,87
CP2	49,70	49,90	2.420,03	0,98
CP3	52,15	50,00	2.279,45	0,87
CP4	53,70	49,95	2.440,12	0,91
CP5	51,70	49,60	2.138,87	0,83
CP3	49,65	51,15	2.480,28	0,98
Média:	51,33	49,93	2.321,29	0,91
CV (%):	0,03	0,01	0,06	0,07

Segundo Kuroki (1994) *apud*. Matoski (2005), um valor de comparação para o parâmetro de ligação interna é 4,0 kg/cm². Esse valor refere-se ao mínimo determinado por uma fábrica alemã implementadora do sistema BISON®, que é um modelo de fabricação de painéis de cimento-madeira. Todos os corpos de prova, de ambos os traços, superaram o valor mínimo de 4,0 kg/cm² ou 0,39 Mpa. A comparação entre os traços revela um comportamento muito semelhante entre o compósito com a serragem pré-tratada e o compósito com serragem *in natura*.

4.2 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS

A Tabela 14 apresenta os resultados obtidos nesse trabalho juntamente com os resultados médios obtidos por Matoski (2005) – “Utilização de Pó de Madeira com Granulometria Controlada na Produção de Painéis de Cimento-Madeira” – referenciados na tabela como “Pesquisa A”.

Tabela 144 - Comparação Geral dos Resultados

Compósitos	Resistência à Tração na Flexão (Mpa)	Resistência à Compressão (Mpa)	Ligação Interna (Mpa)
Traço Madeira Pré-Tratada	4,43	23,28	0,92
Traço Madeira <i>in natura</i>	4,52	25,19	0,91
Resultados Pesquisa A	5,38	17,78	0,53

Fonte: MATOSKI (2005)

As diferenças de metodologia empregadas na tese de Matoski (2005) com relação a este trabalho foram as seguintes:

- Pó de madeira como resíduo vegetal, ao invés da serragem de *Pinus spp*;
- Fator água/cimento de 0,50, ao invés de 0,45;
- Foi utilizado somente resíduo vegetal com Pré-Tratamento de lavagem.

A partir dos dados apresentados na Tabela 14 e das considerações feitas acima pode-se afirmar que a utilização de pó de madeira no lugar da serragem atribui ao compósito uma melhor resistência à tração na flexão, porém perde-se resistência na propriedade de ligação interna. Esse é um resultado que já era esperado, pois a serragem possui partículas maiores e mais alongadas do que o pó de madeira. A utilização de fibras de madeira em tiras provavelmente irá aumentar essa capacidade ainda mais.

No caso da resistência a compressão, pode-se atribuir os maiores valores obtidos nesse trabalho, com relação à Pesquisa A, ao fator água/cimento, já que ficou claro nos resultados obtidos que a lavagem ou não da madeira interfere pouco nessa propriedade. Desta maneira acredita-se que o fator água/cimento é mais relevante para a resistência à compressão do que a utilização do pó de madeira ou da serragem.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1 CONCLUSÕES DO ESTUDO

A partir dos dados obtidos durante o trabalho conclui-se que:

- A utilização de resíduo de *Pinus spp* em forma de serragem para a produção de placas com compósitos de cimento-madeira é viável;
- O ensaio de resistência à tração na flexão mostrou um aumento da resistência à tração na flexão obtida pelo pré-tratamento de lavagem das partículas de madeira. Esse resultado foi obtido desconsiderando corpos de prova com comportamento destoante devido à falta de homogeneidade do compósito;
- O ensaio de resistência à compressão evidenciou que o pré-tratamento da madeira através da lavagem não influencia na resistência à compressão da placa;
- No ensaio de ligação interna foi verificado novamente que o processo de lavagem não influenciou no resultado, neste caso resistência de ligação interna;
- O mesmo ensaio mostrou que todas as placas produzidas atingiram o valor mínimo para ligação interna estipulado pela fábrica alemã BISON®. Além disso, ao se comparar com as placas do estudo de Matoski (2005), pode-se afirmar que a utilização de serragem confere ao compósito uma resistência de ligação maior do que o pó de madeira.
- A utilização de resíduo de madeira *in natura* – sem o pré-tratamento – se mostrou viável, pois com o aditivo acelerador de pega não houve diferença significativa no tempo de endurecimento da placa.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Diante das conclusões recomenda-se:

- Utilizar as placas excedentes moldadas no trabalho para realizar os mesmos ensaios em idades mais avançadas;
- Submeter as placas excedentes à processos de envelhecimento natural e acelerado e ensaiá-las da mesma maneira a fim de analisar a durabilidade dessas placas;

- Realizar o mesmo estudo utilizando substituições ao cimento Portland para analisar o comportamento do pH do compósito. Após isso, verificar através de ensaios após envelhecimento se as substituições reduziram o pH e, por consequência, se aumentará a durabilidade das placas;
- Quantificar o consumo total de água utilizado no processo de lavagem da serragem e fazer um estudo de viabilidade financeira para produção de placas de cimento-madeira, levando em consideração se o processo de lavagem é compensatório. Para isso é importante também levar em consideração o fator ecológico do uso racional da água.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE – ABIMCI. **Estudo Setorial 2008**. Documento disponível em: <www.abimci.com.br>. Acesso em: 08/04/2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5737**: Cimento Portland resistentes a sulfatos. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS – ABRAF. **Anuário Estatístico da ABRAF**. Documento disponível em www.abraflor.org.br. Acesso em 07/04/2013.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM C 494-92- **Standard Specifications for Chemical Admixtures for Concrete**.- Vol. 04.02, pp. 254-262 - 1992 – USA.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM D 1037 - **Standard methods of evaluating the properties of wood-based fiber and particle panel materials** - Annual Book of ASTM Standard 1982 USA.

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

CALISTER JR., WILLIAN D. **Materials science and engineering – An Introduction. fourth edition**, p. 510-544, 1997, USA.

CIMENTO ITAMBÉ. **Cimento Portland de alta resistência inicial resistente a sulfatos**. Documento disponível em: <<http://www.cimentoitambe.com.br/produtos/cp-v-ari-rs/>>. Acesso em: 08/04/2013.

DIX, R. J. H. *The principles of cement- bonded particleboard manufacturing. In: INORGANIC bonded wood and fiber composite materials. Session III: Industrial manufacturing processes*. v. 1, p.61-62. Washington: 1989.

EVANS, P.D. *Summary: An introduction to wood-cement composites. In: Wood-Cement Composites in the Asia-Pacific Region. Proceedings*, p. 7-10, Australia, 2000.

FAN, M., BONFIELD, P., DINWOODIE, J., BREESE, M. *Dimensional instability of cement particleboard. In: International Conference on Wood and Wood Fiber Composites. Stuttgart. Proceedings*, p. 363-374, 2000.

FREITAS JÚNIOR, J.A. **Estudo comparativo de métodos de dosagem para concretos de alta resistência com o uso de materiais disponíveis na região metropolitana de Curitiba.**, 131 p. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2005.

GRUPO PARANAENSE DE COMUNICAÇÃO GRPCom – RPC TV. Disponível em: <<http://g1.globo.com/pr/parana/noticia/2012/11/projeto-de-lei-que-proibe-uso-de-amianto-e-aprovado-em-curitiba.html>>. Acesso em: 08/04/2013.

GÜNTHER, W.M.R. Minimização de resíduos e educação ambiental. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS E LIMPEZA PÚBLICA, 7. **Anais**. Curitiba, 2000.

HACHMI, M. and CAMPBELL, A.G. *Wood-cement chemical relationships*. In: *1st Inorganic Bonded Fiber Composites Symposium*. Forest Products Research Society. **Proceedings**. P. 43-47. 1989.

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

ISAIA, G.C. **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações**. 2v. 1.600 p. IBRACON, São Paulo, 2005.

JOHN, V.M. **Reciclagem de resíduos na construção civil – contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. 102p. Tese (livre docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000.

JORGE, F.C., PEREIRA, C., FERREIRA, J.M.F. *Wood-cement composites: a review*. **Holz Roh Werkst** n. 62, p. 370-377, 2004.

LIMA, Adauto J.M. de. **Utilização de Resíduo de Pinus spp e materiais cimentícios alternativos na produção de blocos para alvenaria estrutural**. 2009. 282f. Tese de Doutorado em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

LIPINSKI, EDWARDS – **Potencial technologies for effectively bonding wood with inorganic binders** – p. 53-58 vol. 1 - *4th. International Inorganic-Bonded Wood and Fiber Composite Materials Conference* – Washington, 1994.

MATOSKI, Adalberto. **Utilização de pó de madeira com granulometria controlada na produção de painéis de cimento-madeira**. 2005. 187f. Tese de Doutorado em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

MATOSKI, A.; IWAKIRI, S.; MARINHO, A. R M; NAKAMURA, M.. **Análise de tensões em corpos de provas cilíndricos de compósito cimento-madeira utilizando materiais reciclados**. VI seminário de desenvolvimento sustentável e a reciclagem na construção civil, Ibracon, São Paulo, 2003.

MEHTA, P.K., MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. 674 p. Ed. IBRACON, São Paulo, 2008.

MENDES, S.E.S. **Estudo experimental de concreto de alto desempenho utilizando agregados graúdos disponíveis na região metropolitana de Curitiba**. 146 p. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2002.

MILLER, D.P., MOSLEMI, A. A. *Wood-cement composites: effects of model compounds on hydration characteristics and tensile strength*. **Wood and Fiber Science**, n. 23, 1991. p. 472-482.

MORAIS, S.A.L, NASCIMENTO, E.A., MELO, D.C. Análise da madeira de Pinus oocarpa Parte I – Estudo dos constituintes macromoleculares e extrativos voláteis. **Revista Árvore**, v.29, n.3, p. 461-470, Viçosa, 2005.

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

NITA, C., JOHN, V.M. Materiais pozolânicos: o metacaulim e a sílica ativa. **Boletim Técnico**, n. BT/PCC/451. 13p. Departamento de Engenharia e Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2007.

OLIVEIRA, C.T.A. **Água do poro de pastas de cimento de escória**. 162p. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2008.

PINTO, T.P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. 189p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1999.

POUEY, M.T.F. **Beneficiamentos da cinza de casca de arroz residual com vistas à produção de cimento composto e/ou pozolânico**. Tese de Doutorado. 320 p. Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2006.

RAMIREZ-CORETTI, C.A. ECKELMAN e R. W. WOLFE – ***Inorganic-Bonded composite wood panel systems for low-cost housing: a Central American Perspective***. *Forest Product Journal*, N. 48 vol. 4, p. 62-68., USA, 1998.

ROSCELLI, V. A. *Markets for cement-bonded particleboard in the United States. In: INORGANIC Bonded Wood and Fiber Composite Materials. Session IV: **Product properties, applications, & markets***. v. 1. p. 138-140. Washington: 1989.

SEMPLE, K.E., EVANS, P.D. *Adverse effects of heartwood on the mechanical properties of wood-wool e wood*. **Wood Fibre Science**, n. 32, p. cement boards manufactured from radiata Pin 37-43, 2000.

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

SIMATUPANG, M. H. et al. – **Technologies for rapid production of mineral bonded wood-composites boards** – p. 18-27 – vol 2. 4th. International Inorganic- Bonded Wood and Fiber Composite Materials Conference - Washington - USA – 1994;