

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

FERNANDA CHRISTIANE ROSSETTO DINHANE

**ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DO COMPÓSITO
CIMENTÍCIO PRODUZIDO COM ADIÇÃO DE RESÍDUOS DE
MADEIRA E ESCÓRIA**

Itapeva - SP
2013

FERNANDA CHRISTIANE ROSSETTO DINHANE

**ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DO COMPÓSITO
CIMENTÍCIO PRODUZIDO COM ADIÇÃO DE RESÍDUOS DE
MADEIRA E ESCÓRIA**

Trabalho de Graduação apresentado no Câmpus 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

Dinhane, Fernanda Christiane Rossetto

D584a Análise granulométrica do compósito cimentício produzido com
adição de resíduos de madeira e escória / Fernanda Christiane
Rossetto Dinhane. -- Itapeva, SP, 2013
58 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (bacharelado - Engenharia
Industrial Madeireira) - Universidade Estadual Paulista, Câmpus de
Itapeva, 2013

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

Banca examinadora: Prof. Dr. José Cláudio Caraschi, Me. Bruno
Santos Ferreira

Bibliografia

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

CDD 620.192

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca - UNESP, Câmpus de Itapeva

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

**ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DO COMPÓSITO
CIMENTÍCIO PRODUZIDO COM ADIÇÃO DE RESÍDUOS DE
MADEIRA E ESCÓRIA**

FERNANDA CHRISTIANE ROSSETTO DINHANE

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 – Câmpus Experimental de Itapeva/UNESP

Me. Bruno Santos Ferreira
Câmpus Experimental de Itapeva/UNESP

Prof. Dr. José Cláudio Caraschi
Câmpus Experimental de Itapeva/UNESP

Dedico à Deus, aos meus pais, ao meu irmão,
ao meu noivo, a minha orientadora, as minhas
amigas da república e a todos da Unesp de
Itapeva.

AGRADECIMENTOS

Agradeço á Deus por iluminar meu caminho, minha cabeça, minha família e meus amigos. Obrigada á Deus por ter colocado tantas pessoas boas no meu caminho.

Agradeço aos meus pais pela educação que recebi, pelo carinho que sempre tive e por me proporcionar a realização deste sonho. Agradeço á minha MÃE que para mim é uma guerreira e a minha fortaleza. Obrigada por estar sempre ao meu lado, me aconselhando, me dando bronca, me ajudando para passar no vestibular, me acordando 6 horas da manhã para assistir vídeo aula na televisão levando leite com café ou iogurte com granola, eu te amo muito. Agradeço ao meu PAI que é o meu paizão. Obrigada por sempre me ouvir e me ensinar como o sorriso faz bem para si e para os outros, eu te amo.

Agradeço ao meu IRMÃO que esteve sempre ao meu lado com muito carinho e sempre prestativo para qualquer coisa e qualquer hora, eu te amo.

Agradeço ao meu NOIVO que é o meu guerreiro. Obrigada por ser primeiramente meu amigo, depois por se tornar parte da minha família. Obrigada por tantos conselhos, tantas ligações, tantos abraços e tantos beijos que me confortaram e que me acalmaram. TE AMO muito meu amor!

Agradeço a minha orientadora Prof^ª. Dr^ª. Cristiane Inácio de Campos que além de auxiliar no desenvolvimento deste trabalho foi minha parceira de congressos.

Agradeço as minhas amigas da república que me aguentaram com o meu jeito de ser. Obrigada MARIANA e ITALA pelo carinho e pela paciência que voces tiveram comigo desde o início. Mariana pelos ensinamentos dos origamis. Itala pelas maquiagens. Obrigada pelo companheirismo que voces sempre demonstram vou sentir muita falta das conversas, das risadas, das briguinhas, dos aniversários, dos congressos, dos estudos intensos horas antes das provas, dos pãezinhos com manteiga frito para a Mari e dos pratos gostosos da Itala. São tantas lembranças que seria um TCC. Muita saudade!

Agradeço a SUELI e a DENISE pelas risadas e pelo carinho que sempre voces tiveram comigo. Obrigada Sueli por me ajudar nos estudos, no TCC , nos

conselhos e principalmente nas gargalhadas com seu jeito alegre de levar a vida (parabéns). Obrigada Denise pelo seu jeito sincero e verdadeiro de ser.

Obrigada à NAYANE pelas ajudas nas provas e trabalhos. Obrigada ao JOÃO que foi um amigo “ponta firme” e um ótimo cozinheiro. Obrigada à JULYE pelas reuniões da PROMAD JR. Obrigada à MARIANE pela parceira que sempre foi com seu jeito de ser (ciúme).

Agradeço a todos os amigos que fiz na faculdade vou sentir muita saudade.

“Meio ambiente clama por ajuda: cuidados com a quantidade de geração de resíduos industriais é fundamental”

Eu

RESUMO

Desde o início do século XXI o setor da construção civil é vem sendo o segundo maior segmento em ascensão industrial no Brasil, com um crescimento de 1,4% em 2012, e tende a permanecer neste patamar por um longo tempo. Entretanto, diferente de décadas atrás, o setor busca em seu processo fabril, materiais sustentáveis, englobando em suas obras o conceito da sustentabilidade. Sendo assim, o setor madeireiro procura satisfazer um mercado cada vez mais exigente, inovando técnicas de aproveitamento de resíduos e sendo menos agressivo ao meio ambiente. A proposta deste estudo foi produzir e avaliar a densidade e a resistência mecânica do compósito cimentício com adição de resíduos de madeira e escória de baixo forno. Para tanto, confeccionou-se 42 corpos de prova de cimento-escória-madeira, estudo realizado em duas etapas. Sendo que na primeira, variou-se apenas a granulometria da escória; e na segunda, através do melhor resultado da etapa anterior, variou-se à granulométrica do resíduo de madeira. O desempenho mecânico do compósito foi avaliado através dos resultados obtidos no teste físico e de compressão e no teste físico para a determinação da densidade aparente do material. Na primeira etapa do processo pode-se concluir que o melhor resultado foi conseguido com a utilização de partículas de escória retidas na peneira de 60 *mesh*. Já na segunda etapa do estudo concluiu-se que os melhores resultados foram conseguidos com as partículas de madeira de maior granulometria, ou seja, partículas retidas na peneira de 10 *mesh*. Tanto na primeira etapa como na segunda pode-se verificar que houve a influência da granulometria dos resíduos utilizados no desempenho do compósito. Com os resultados obtidos pode-se avaliar que o aproveitamento de resíduos para a produção do compósito cimentício apresentou desempenho inferior quando comparado aos resultados obtidos em estudos sem a utilização de resíduos. No entanto, algumas aplicações são viáveis de serem realizadas com o uso do compósito cimento-madeira-escória.

Palavras-chave: Compósito, cimento, densidade aparente, teste de compressão.

ABSTRACT

Since the early twenty-first century, the construction sector has been the second largest on the rise in the Brazilian industrial sector, with a growth of 1.4% in 2012, and is likely to remain at this level for a long time. However, unlike decades ago, the industry has been seeking in its manufacturing process, sustainable materials, encompassing in their works the concept of sustainability. Thus, the timber sector seeks to satisfy a market increasingly demanding, innovating techniques and utilization being less aggressive to the environment. The purpose of this study was to produce and evaluate the mechanical strength of the composite cement with the addition of wood residues and slag low oven. Therefore, it was made 42 specimen cement-slag-wood, carried out in two steps. Since at the first, it was varied only the slag particle size, and at the second, through the best result of the previous step, it was varied the wood particles granulometry. The mechanical performance of the composite was evaluated by the results obtained in the compression test and the physical test for determining the density of the material. In the first step of the process can be concluded that the best result was achieved with the use of slag particles retained on the 60 mesh sieve. In the second phase of the study concluded that the best results were achieved with wood particles with the large particles, i.e. particles retained on the 10 mesh sieve. Both in the first and in the second step it can be seen that there has been the influence of the particle size of the waste materials. With the obtained results, could be evaluated that the use of waste for the production of cement-slag-wood composite showed lower performance when compared to the results obtained in studies without the use of waste. However, some applications are feasible to be performed with the use of composite wood-cement-slag.

Keywords: composite, cement, density, compression test.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-Placa de cimento madeira e sua aplicação em residências.....	20
Figura 2-Cimento Portland CP II E-32.....	30
Figura 3- Escória de liga de manganês.....	31
Figura 4-Processamento do resíduo de <i>Eucalyptus grandis</i> , inicialmente em dimensões maiores depois picados e moídos.....	32
Figura 6-Diferentes granulometrias para os resíduos de madeira e escória.	34
Figura 5 – (a) Picador de madeira, (b) Moinho e (c) Agitador de peneiras.....	14
Figura 7- Materiais pesados em balança semi-analítica	36
Figura 8- Mistura dos materiais para a produção das amostras.....	36
Figura 9- Preparação da forma e modelagem das amostras.	36
Figura 10-Compactação do material nos moldes plásticos	37
Figura 11-Corpos de prova desmoldados na Etapa 1.....	14
Figura 12- Corpos-de-prova desmoldados na Etapa 2.....	38
Figura 13- Máquina Universal de Ensaio da marca EMIC com capacidade de carga de 30 toneladas.....	39
Figura 14-Representação gráfica da análise de regressão da densidade aparente em função das 3 variações granulométricas da escória nos corpos de prova.	42
Figura 15-Representação gráfica da análise de regressão do MOE em função das 3 variações granulométricas da escória nos corpos de prova.....	44
Figura 16-Representação gráfica da análise de regressão do MOR em função das 3 variações granulométricas da escória nos corpos de prova.....	45
Figura 17-Representação gráfica da análise de regressão da densidade aparente em função das 4 variações granulométricas da madeira nos corpos de prova.....	47
Figura 18-Representação gráfica da análise de regressão do MOE em função das 4 variações granulométricas da madeira nos corpos-de-prova.....	49
Figura 19-Representação gráfica da análise de regressão do MOR em função das 4 variações granulométricas da madeira nos corpo de prova.....	50

LISTA DE TABELA

Tabela 1- Tipos de cimentos fabricados no Brasil (ABCP).....	22
Tabela 2- Limites estabelecidos das exigências mecânicas	23
Tabela 3- Composição dos Cimentos Porthand comuns e compostos	24
Tabela 4- Limites estabelecidos das exigências químicas	24
Tabela 5 - Resultados das propriedades físicas e mecânicas do <i>Eucalyptus grandis</i> para umidade de 12 %	27
Tabela 6- Composição química qualitativa da escória de liga de manganês	31
Tabela 7- Número de corpos-de-prova e traço do CEM para Etapa 1	35
Tabela 8-Número de corpos-de-prova e traço do CEM para Etapa 2	35
Tabela 9-Dados obtidos para Etapa 1	41
Tabela 10-Dados do módulo de elasticidade, obtidos através da máquina de ensaio universal, para Etapa 1	43
Tabela 11-Dados do módulo de ruptura, obtidos através da máquina de ensaio universal, para Etapa1	44
Tabela 12-Dados obtidos após mensurar os corpos-de-prova, diâmetro, altura e peso, para Etapa 2	46
Tabela 13-Dados do módulo de elasticidade, obtidos através da máquina de ensaio universal, para a Etapa 2	48
Tabela 14-Dados do módulo de ruptura, obtidos através da máquina de ensaio universal, para a Etapa 2	49

Sumário

1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVOS	16
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
3.1 Aproveitamento de resíduos.....	18
3.2 Compósito cimento-madeira.....	19
3.2.1 Característica do compósito cimento-madeira	20
3.3 Constituintes do compósito	21
3.3.1 Cimento	22
3.3.2 Escória	24
3.3.3 <i>Eucalyptus grandis</i>	25
3.4 Interação cimento-madeira.....	27
3.5 Variáveis que interferem no desempenho do compósito.....	28
3.5.1 Tempo de pega	28
3.5.2 Relação água-cimento.....	29
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	30
4.1 Materiais.....	30
4.1.1 Cimento	30
4.1.2 Escória de liga de manganês	30
4.1.3 <i>Eucalyptus grandis</i>	31
4.1.4 Água.....	32
4.1.5 Equipamentos auxiliares	32
4.2 Método	32
4.2.1 Processamento dos materiais	33
4.2.2 Definição dos traços	35
4.2.3 Confeção dos corpos de prova.....	36
4.2.4 Determinação das propriedades física e mecânica do compósito da Etapa 1 e 2	38
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	41
5.1 Resultados da variação da granulometria da escória - Etapa 1	41
5.1.1 Resultados do ensaio físico.....	41
5.1.2 Resultado do ensaio mecânico	42
5.1.2.1 Análise do módulo de elasticidade (MOE).....	43

5.1.2.2. Análise do módulo de ruptura (MOR).....	44
5.2 Resultados da variação da granulometria da escória - Etapa 2	46
5.2.1 Resultados do ensaio físico.....	46
5.2.2 Resultado do ensaio mecânico	48
5.2.2.1 Análise do Módulo de Elasticidade (MOE)	48
5.2.2.2. Análise do Módulo de Ruptura (MOR).....	49
5.3 Analisando o MOR e o MOE	51
6. CONCLUSÃO.....	53
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, o cenário social busca no conceito de sustentabilidade ambiental, um modo para desenvolver projetos que diminuam os impactos providos pelo desenvolvimento industrial e o consumo exacerbado de recursos naturais.

Dentre uma das vertentes deste conceito, encontra-se o descarte adequado de produtos. Pois, o lançamento indevido de resíduos sólidos, líquidos e gasosos de diferentes fontes, ocasiona modificações nas características do solo, da água e do ar, podendo poluir ou contaminar o meio ambiente.

Com o crescimento do país de 0,9 %, segundo dados do IBGE em 2012, a indústria da construção civil cresceu cerca de 1,4%. Foi o segundo melhor resultado, ficando atrás do setor de produção e distribuição de eletricidade, gás, água, esgoto e limpeza urbana com 3,6 %. Sendo o setor industrial, um dos maiores contaminantes do meio ambiente, leis ambientais foram criadas para que se tenha um sistema de gestão ambiental adequado ao processo. E assim, as indústrias podem manter o seu volume de produção reduzindo os danos ao ecossistema.

Uma das soluções proposta para o descarte adequado dos resíduos é transformá-lo em matéria-prima para a fabricação de outros produtos. Tal proposta tem-se mostrado como uma boa alternativa na redução do impacto causado pelo consumo desordenado de matéria-prima e pela redução das áreas de disposição, em virtude do grande volume de resíduos descartados a cada ano em todo mundo.

Os compósitos cimentícios surgem neste cenário sustentável, como uma alternativa para a utilização de resíduos de diferentes origens como plástico, borracha, madeira, entre outros. Os compósitos cimentícios podem ser aplicados na construção civil como blocos, calçamentos, telhas, blocos para pavimento, pavimentos intertravados de concreto e *pavers*, os quais são usados para pavimentar uma superfície completa. Isto mostra, que o mercado para o compósito é viável e amplo.

O desenvolvimento de novos materiais surge como uma proposta promissora especialmente com o uso racional da matéria-prima, procurando agregar materiais sustentáveis e, ainda utilizando resíduos industriais. Um segmento que apresenta grande possibilidade de uso desses novos materiais é a construção civil com o desenvolvimento constante e a aplicabilidade dos painéis de madeira, como OSB

(*Oriented Strand Board*), e futuramente o LVL (*Laminated Venner Lumber*) e os painéis de cimento madeira poderão fornecer subsídios suficientes para uma inovação na construção civil baseada em madeira no Brasil, incluindo, principalmente, as casas populares. Através de um bom projeto construtivo direcionado poderá permitir uma construção de baixo custo, limpa, rápida e com o mínimo de desperdício, produzindo casas duráveis, de qualidade, e com conforto termo-acústico superior às de alvenaria. Estas que ultrapassa os 30 % de desperdício durante a construção (Revista da Madeira, 2003).

Destaca-se de forma especial o objeto de estudo deste trabalho que são compósitos produzidos com resíduos provenientes da indústria siderúrgica e da indústria madeireira. Este tipo de produto viabiliza construções de baixo custo e durabilidade compatível com outros materiais de mesma aplicação, sendo uma forma de agregar valor ao subproduto, antes considerado resíduo.

2. OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho foi avaliar as propriedades físico-mecânica do compósito cimentício produzido com aproveitamento de resíduos da indústria siderúrgica e da indústria madeireira.

Os objetivos específicos deste trabalho estão apresentados a seguir:

- Análise de desempenho do compósito com variação granulometria das partículas de escória;
- Análise de desempenho do compósito com variação granulometria das partículas de madeira;
- Caracterização física, através da determinação da densidade, e mecânica através do ensaio de compressão, determinando o módulo de elasticidade (MOE) e de ruptura (MOR).

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A área de Ciência dos Materiais tem apresentado um desempenho marcante a partir dos anos de 1990, seja no avanço de materiais supercondutores, nanoestruturados ou mesmo em materiais sustentáveis. Tal ciência estuda as relações existentes entre a estrutura de um material e suas propriedades mecânicas, físicas, químicas entre outras. Destaca-se que o estudo dos materiais sempre foi e continuará sendo um segmento de fundamental importância para o desenvolvimento humano. Diferentes áreas são beneficiadas com o estudo dos materiais, como por exemplo, saúde e engenharias em diferentes segmentos, podendo-se destacar a engenharia civil.

A indústria da construção civil, segundo estimativas, é responsável por 15 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 (FIORITI, 2012).

Os resíduos poderão se tornar um grande auxiliador na produção de materiais alternativos, como os compósitos, reduzindo os custos com a substituição, em grande parte, dos agregados naturais empregados em concretos, argamassas, blocos, *pavers*, barreiras de contenção, 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 (2005), os materiais compósitos são formados por pelo menos dois componentes distintos, cujas propriedades físicas e químicas se diferem e quando misturados, propiciam um composto com características singulares, as quais não se poderiam obter com apenas um deles.

3.1 Aproveitamento de resíduos

Resíduo é todo material descartado nas cadeias de produção e consumo que por limitações tecnológicas ou de mercado, não apresenta valor agregado, e ainda pode causar impactos negativos ao ambiente quando manejado de maneira imprópria (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB, 1985).

Entretanto, o conceito de resíduos vem modificando-se. Antigamente os rejeitos dos processos industriais eram considerados “lixo”. Mas atualmente os resíduos devidamente trabalhados tornam-se um subproduto, para o desenvolvimento de um novo material.

Dentro do segmento industrial, diversos setores por mais tecnológicos que sejam geram resíduos ao longo de seu processo. Neste contexto pode-se destacar o segmento florestal que gera resíduo ao longo de toda cadeia produtiva. Define-se como resíduo florestal todo e qualquer material resultante da colheita ou processamento da madeira e/ou de outros recursos florestais que permanece sem utilização definida ao longo do processo, sendo descartado durante a produção (NOLASCO, 2000).

Um exemplo de segmento industrial madeireiro gerador de resíduos são as serrarias, as quais poderiam ser fontes de matéria-prima para a fabricação de compósito cimento madeira, a partir do aproveitamento de resíduos. As serrarias em geral, apresentam baixa produtividade seja pela pouca qualificação de mão de obra ou mesmo baixa tecnologia no processamento da madeira, tendo um rendimento geral na faixa de 38,62% (BRAND *et al.*, 2002). Sendo assim, pode-se concluir que mais de 50% da matéria-prima processada torna-se resíduo, em dimensões variadas, ou seja, de micrometros (pó) e até metros (pedaços de madeira).

Segundo Carvalho (2000), seja qual for o vegetal utilizado na confecção do compósito, existirá uma grande versatilidade, o que torna a escolha ilimitada dependendo apenas da imaginação do estudioso em questão.

O emprego do compósito cimentício na forma de chapas minerais é promissor, pois possibilita o melhor destino para os resíduos madeireiro da floresta ou da indústria. Destino este que resultaria em maior valor agregado, redução dos depósitos de resíduos e geração de uma nova manufatura propiciando mais empregos (Revista da Madeira, 2003).

3.2 Compósito cimento-madeira

O compósito cimento-madeira surgiu na Europa no final dos anos 70, do século XX. Em 1976, sua produção ocorreu em larga escala na Alemanha, difundindo-se para o Japão e Rússia. O conceito do material difundiu-se na Europa e Ásia, alcançando em 1996 uma produção de 2,5 milhões de m³ (Revista da Madeira, 2003).

A madeira por meio de suas fibras forma a fase reforçada do compósito, chamada também de agregado. Enquanto, que o cimento atua como um ligante, pois interage com a água e aglutina as fibras da madeira, chamado de aglomerante mineral. Estes três materiais são misturados homoganeamente e são consolidados sob pressão e em temperatura ambiente, adicionando produtos químicos para acelerar a cura do cimento, como por exemplo, o hidróxido de sódio (QUINTANA, 2009).

As razões para a sua aceitação no mercado devem-se dentre outros fatores, as suas propriedades tais como: resistência ao ataque de fungos e cupins, bom isolante térmico e acústico, virtualmente incombustível e fácil trabalhabilidade.

O painel mineral em relação aos outros tipos de chapas, como compensados e sarrafeados, apresentam menores exigências em relação à matéria-prima (madeira), quanto a sua forma, dimensões, defeitos naturais, etc. Apresentam bom desempenho em aplicações internas e externas, considerando ambientes quentes, frios, secos e úmidos, desse modo superando as aplicações convencionais do aglomerado convencional. Aplicações diversificadas e versáteis justificadas com um material relativamente leve e apresenta bons resultados em testes de resistência à compressão, flexão, abrasão, estabilidade dimensional (Revista da Madeira, 2003).

Utilizam-se os painéis minerais para paredes de casas pré-fabricas (Figura 1). Uma opção de aplicação deste produto no Brasil é o uso destes painéis em moradia popular, pois além de conferir baixo custo e prazo reduzido possibilita as diversas características apresentadas anteriormente mesmo não sendo ainda um produto difundido e industrializado, apenas estudado. O uso não se restringe às residências, podendo ser utilizado na construção de pavilhões, estádios, edifícios públicos, pisos, revestimentos de túneis, paredes divisórias, portas anti-fogo, banheiros, lavanderias e cozinhas (Revista da Madeira, 2003).



(Fonte: Portal da Madeira)

Figura 1-Placa de cimento madeira e sua aplicação em residências

3.2.1 Característica do compósito cimento-madeira

O uso das fibras vegetais, no reforço de matrizes à base de cimento tem se mostrado bastante adequado. No entanto, produtos como fibras de vidro, de aço, de amianto e de carbono, embora apresentem características mecânicas adequadas, continuam ainda despertando polêmica devido aos seus altos custos de produção, ou quanto aos comprovados danos que causam ao meio ambiente. Com isto, materiais à base de lignina e de celulose, ou seja, materiais lignocelulósicos surgem como uma alternativa para substituição de alguns materiais nocivos ao ser humano ou que necessitam ser extraídos da natureza.

Compósitos à base de biomassa vegetal-cimento (CBVC) ou materiais cimentícios apresentam grande potencial de aplicação devido às suas características interessantes segundo Carvalho (2000), tais como:

- ❖ Disponibilidade de matéria-prima renovável, reciclável e biodegradável;
- ❖ Boa resistência a agentes deterioradores;
- ❖ Facilidade de moldagem, transporte, corte;
- ❖ Resistência a impactos e alta estabilidade dimensional;

- ❖ Bom isolamento termo-acústico;
- ❖ Resistência e dureza relativamente maiores que o material separadamente;
- ❖ Custo reduzido em comparação a outros materiais com mesmo desempenho;
- ❖ Peso reduzido quando comparado ao concreto e sua capacidade de resistir às intempéries, ao fogo, aos fungos e aos ataques de insetos.

Entretanto, apesar das vantagens descritas, há desvantagens que também podem inviabilizar a produção do compósito. Tais desvantagens são apresentadas a seguir:

- ❖ Incompatibilidade química com o cimento, a qual será influenciada pelas características da espécie de madeira a ser utilizada;
- ❖ Tempo de pega e endurecimento do compósito relativamente longo;
- ❖ Durabilidade reduzida da interação biomassa vegetal e matriz (cimento);
- ❖ Presença de eflorescências (verificação superficial do compósito)

Para evitar tais inconvenientes, faz-se necessário escolher adequadamente a biomassa vegetal a ser usada nos CBVC para sua aplicação final, pois se sabe que nem todas as espécies vegetais são compatíveis com o cimento. (CARVALHO, 2000).

3.3 Constituintes do compósito

Diversos estudos já utilizaram fibras lignocelulósicas como fibra de sisal e de coco; casca de arroz; e bagaço de cana, as quais proporcionaram uma melhora na matriz cimentícia. Portanto, com a adição das fibras ao cimento surge uma boa alternativa como elemento de reforço, com baixo custo e menor consumo de energia para sua produção (OLIVEIRA, 2010).

Além dos constituintes químicos da madeira, outros fatores influenciam as propriedades dos compósitos. Estes podem ser inerentes à própria madeira, quanto a algumas variáveis envolvidas no processo, dentre as quais, destacam-se: teor de umidade, porosidade, densidade dos materiais e aditivos, as quais influenciam diretamente na resistência mecânica do material (IWAKIRI, 2005).

Como mencionado anteriormente, o compósito é composto por no mínimo duas fases, sendo um agregado e um ligante no mínimo. No caso do compósito cimento-madeira o agregado seria a madeira e o ligante o cimento. No entanto,

estudos tem mostrado a viabilidade uso de outros constituintes na formação do compósito de modo a permitir que outros materiais e até mesmo resíduos sejam adicionados.

3.3.1 Cimento

Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2002), o cimento está em segundo lugar como material mais consumido mundialmente.

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, 2002).

Na Tabela 1, apresentam-se os tipos de Cimento Portland comercializados no Brasil e suas características principais, segundo ABCP (2002).

Tabela 1- Tipos de cimentos fabricados no Brasil (ABCP)

Sigla	Designação do cimento Portland	Classes	Normas
CP I-S	Comum com adição	25, 32 e 40	EB- 1/NBR 5732
CP II- E	Composto com escória	25, 32 e 40	EB-2138/NBR11578
CP II-Z	Composto com pozolana	25, 32 e 40	EB-2138/NBR 11578
CP II-F	Composto com filler	25, 32 e 40	EB-2138/NBR 5735
CP III	Composto com de alto forno	25 e 32	EB-208/NBR 5735
CP IV	Composto com pozolânico	25 e 32	EB-758/NBR 5736
CP V-ARI	Composto de alta resistência inicial	34	EB-2/NBR 5733

(Fonte: Carvalho, 2002).

A Tabela 2 descreve parâmetros importantes para o uso adequado do cimento na fabricação do compósito-madeira, tais como resistência a compressão e tempo de pega, variáveis correspondentes ao tipo de cimento e a sua classe.

Sendo possível então, verificar que o CP II -E32 descreve resistência à compressão maior ou igual a 32 MPa aos 28 dias. Este resultado foi obtido por meio de ensaio mecânico de um corpo de prova cilíndrico cuja relação água: cimento teve a proporção de 1:0,48 (ABCP, 2002).

Tabela 2- Limites estabelecidos das exigências mecânicas

Tipo de Cimento Portland	Classe	Tempo de pega		Resistência à compressão (MPa)				
		Início(h)	Fim(h)	1dia	3 dias	7 dias	28 dias	91 dias
CP II-E	25				≥ 8	≥ 15	≥ 25	
CP II-Z	32	≥ 1	≤ 10 ⁽¹⁾	-	≥ 10	≥ 20	≥ 32	-
CP II-F	40				≥ 15	≥ 25	≥ 40	

(1) Ensaio facultativo.

(Fonte: Adaptada Boletim Técnico- ABCP, 2002).

Os tipos de cimentos se diferenciam de acordo com a proporção de clínquer, sulfato de cálcio, material carbonático e de adições, tais como escórias, pozolanas e calcário, acrescentadas no processo de moagem. Clínquer é um produto intermediário que já apresenta muitas características do cimento, mas que ainda precisa ser corrigido por meio da adição de gesso e também ser reduzido a pó para se transformar em cimento. Em média, a massa para o cimento é de 3 % de gesso para 97 % de clínquer (ABCP, 2002).

Todos os tipos de Cimento Portland possuem um baixo calor de hidratação, em torno de 260 J/g aos três dias, evitando assim fissuras. Mas, diferem-se em função de propriedades intrínsecas como, por exemplo, alta resistência inicial e a cor branca. O próprio Cimento Portland Comum (CP I) pode conter adição (CP I-S), neste caso, de 1% a 5% de material pozolânico, escória ou fíler calcário e o restante de clínquer (Tabela 3).

O Cimento Portland Composto (CP II-E, CP II-Z e CP II-F) tem adições de escória, pozolana e fíler, respectivamente, mas em proporções um pouco maiores que no CP I-S. Portanto, sua composição é intermediária porque está entre os Cimentos Portland comuns e os Cimentos Portland com adições (alto-forno e pozolânico), como apresenta a Tabela 3 (ABCP, 2002).

Tabela 3- Composição dos Cimentos Portland comuns e compostos

Tipo de Cimento Portland	Sigla	Composição (% em massa)			
		Clínquer + gesso	Escória granulada de alto forno (sigla E)	Material pozolânico (sigla Z)	Material carbonático (sigla F)
Composto	CP II-E	94-56	6-34	-	0-10
	CP II-Z	94-76	-	6-14	0-10
	CP II-F	94-90	-	-	6-10

(Fonte: Adaptada Boletim Técnico- ABCP, 2002).

O Cimento Portland de Alto-Forno (CP III) e o Cimento Portland Pozolânico (CP IV) contam com proporções maiores de adições: escória, de 35% a 70% (CP III), e pozolana de 15% a 50% (CP IV). Os limites estabelecidos das exigências químicas estão descritos na Tabela 4.

Tabela 4- Limites estabelecidos das exigências químicas

Tipo de Cimento Portland	Resíduo insolúvel (%)	Perda ao fogo (%)	MgO(%)	SO ₃ (%)	CO ₂ (%)	S(%)
CP II-E	≤ 2,5	≤ 6,5	≤ 6,5	≤ 4,0	≤ 5,0	-

(Fonte: Boletim Técnico- ABCP, 2002).

3.3.2 Escória

A escória pode ser considerada um subproduto da fundição de minério cujo objetivo principal é a purificação dos metais. Este material pode ser definido como uma mistura de óxidos metálicos, no entanto, pode também apresentar em sua composição sulfetos metálicos. As escórias tem como principal função remover impurezas na fundição de metal. No entanto, devido à sua constituição, também podem cumprir outras funções tais como assistir no controle de temperaturas de fusão e na minimização da re-oxidação do produto final.

A quantidade de escória de siderurgia produzida anualmente no Brasil é considerável. Em 2001 foram produzidos cerca de 3 milhões de toneladas, e uma das possibilidades de seu uso é na agricultura (PRADO et al., 2002). No entanto, estudos recentes tem mostrada outras aplicações como a adição da escória ao cimento para a produção de compósitos cimentícios.

A composição química da escória está ligada à qualidade do minério de ferro, à natureza do fundente, ao tipo de combustível (coque ou carvão vegetal) e ativador da redução e à viscosidade.

A mais comum das escórias é a produzida em alto forno. Este material é o subproduto da manufatura do ferro-gusa, que tem suas propriedades químicas e cimentantes, proveniente dos fundentes adicionados à mistura. Além disso, no processo de resfriamento rápido, a escória solidifica numa forma vítrea tornando-se reativa (LIDUÁRIO *et al.*, 2005).

Segundo dados da *Slag Cement Association* (SCA, 2013), a principal utilização de cimento com adição escória ocorre em grandes construções, onde o concreto é a matéria-prima principal. É possível substituir entre 20 e 80% do Cimento Portland com adição de escória no concreto, dependendo da aplicação, requisitos do trabalho, e as condições ambientais. Por exemplo, o uso de escória no concreto para *pavers* pode ser de 20 a 50 %.

Segundo Massucato (2005) a resistência mecânica é uma das mais importantes propriedades do concreto. Estudos comparativos entre pastas de cimento Portland com adição de escória e sem adição de escória apresentaram resistências iniciais menores devido à hidratação mais lenta das escórias em relação ao clínquer. Por outro lado, as resistências em idades avançadas são maiores por apresentarem menor porosidade capilar.

O uso da escória de alto forno ativada com sulfato de cálcio pode ser um substituto do cimento comum e oferece vantagens como baixa alcalinidade, baixo custo e economia de energia uma vez que aproveita material reciclado (MATOSKI, 2005).

3.3.3 *Eucalyptus grandis*

Esta espécie desenvolve-se melhor em regiões de clima tropical a temperado resistindo até -5°C , com madeira de boa qualidade, de média densidade (entre 0,6 e $0,7\text{ g/cm}^3$) e de cor rosada (TIBÚRCIO, 2009).

Plantado em quase todo o mundo, por ser um gênero que possui espécies facilmente adaptáveis a diversas condições climáticas. A maioria das espécies plantadas no Brasil apresenta rápido crescimento, resultado da alta qualidade do material genético utilizado e das condições climáticas favoráveis (MALINOVSKI, 2002).

O gênero *Eucalyptus* tem ocupado um lugar preferencial na escolha de espécies para o estabelecimento de florestas plantadas no país. Na região centro-sul brasileira nas últimas décadas, observou-se um vasto e bem-sucedido programa de reflorestamento com essas espécies para a produção de madeira para o uso de celulose, papel, carvão vegetal, lenha e chapas de fibras e partículas (EUCALIPTO, 2001 *apud* LOBÃO, 2004).

Segundo Eucalipto (2003) *apud* Lobão (2004), o Brasil consumiu 350 milhões de m³/ano, o que significa 8% do consumo mundial de madeira. Existem no país 4,6 milhões de hectares de florestas plantadas, sendo 1,7 milhão do gênero *Pinus* e 2,9 milhões do gênero *Eucalyptus*.

Em relação as suas características químicas, por meio de análises laboratoriais segundo Magaton (2006) foi de 10,2 % de xilanas, 20,5 % de hemiceluloses, 51,7% de celulose obtendo um total de 72,2 % de carboidratos (CH₂O). Portanto, restando 27,8 % lignina total. O *Eucalyptus grandis* apresentou melhor desempenho por não necessitar de tratamento para a remoção de extrativos, como por exemplo, açúcares, como alguns estudos anteriores já haviam verificado (LATORRACA, 1996). Entretanto, Carvalho (2000) descreve que as espécies folhosas, devido ao seu alto teor em hemiceluloses, são, em geral, bem mais inibitórias nas reações do que as coníferas. O teor máximo em açúcares tolerado pelo cimento situa-se entre 0,4 a 0,5%, para coníferas, e 0,2 a 0,25%, para as folhosas.

A Tabela 5 apresenta as características físicas e mecânicas do *Eucalyptus grandis* segundo algumas literaturas. Como por exemplo, o Instituto de Pesquisa Tecnológica - IPT que obteve densidade de 0,50 g/cm³, e valores de resistência com relação à compressão paralela às fibras para o Módulo de Elasticidade (MOE) de 11,572 MPa, e para o Módulo de Ruptura (MOR) de 42,1 Mpa.

Tabela 5 - Resultados das propriedades físicas e mecânicas do *Eucalyptus grandis* para umidade de 12 %

Fonte	Densidade (g/cm ³)	Flexão estática (Mpa)		Compressão paralela às fibras (Mpa)	
		MOE	MOR	MOE	MOR
NBR 7190:1997	-	-	-	12.813	40,30
IPT (1989)	0,5	9.689	75,60	11.572	42,10
Gonçalves et al (2006)	-	15.743	84,65	-	-
Lobão et al (2004)	0,64	16.778	88	19.993	62,40
Silva (2004)	0,54	12.673	84,25	-	-
Média	0,56	13.720	83,13	14.794	48,27

(Fonte: Laudo Técnico, 2010)

3.4 Interação cimento-madeira

Segundo Iwakiri (2005) a adesão entre o cimento e a madeira pode ser física, química ou a combinação de ambas. A física ocorre pelo entrelaçamento das fibras ao constituinte do cimento, enquanto a química, se realiza por meio de ligações de hidrogênio.

Entretanto, a heterogeneidade da madeira por meio dos seus constituintes anatômicos, os quais se comportam de formas diferentes na presença do cimento, interferem na adesão química e física afetando conseqüentemente na qualidade do compósito. Sendo que a capacidade de solidificação do cimento, na presença da madeira, é determinada pela composição química da mesma, sendo os extrativos os principais responsáveis pela inibição.

Alguns componentes anatômicos podem influenciar negativamente a interação cimento madeira, isto pela presença dos compostos químicos presentes em suas células.

A madeira dentre as suas substâncias químicas, possuem carboidratos, açúcares e extrativos. Conforme a literatura pesquisada, tais substâncias propiciam a inibição da hidratação do cimento, interferindo no tempo de pega, ou seja, na cura do material. Sendo que os carboidratos influenciam também, no acabamento, por criar a cristalização na superfície do compósito, processo chamado de vitrificação.

O cerne apresenta maior quantidade de extrativos e, portanto, maior inibição da pega e endurecimento do cimento (CARVALHO, 2000).

As hemiceluloses solúveis e os açúcares simples da madeira, ao se combinarem com íons metálicos, provocam incompatibilidade entre a madeira e o cimento (IWAKIRI, 2005).

Segundo Iwakiri (2005) a poliose e o tanino afetam significativamente no processo de hidratação do cimento. Além das condições químicas anatômicas, há variáveis de relevante importância para a qualidade do compósito, sendo estas: determinação do traço, o tempo de pega e a relação água e cimento. Sendo que o traço é um meio de expressar a quantidade de cada componente presente no compósito.

3.5 Variáveis que interferem no desempenho do compósito

3.5.1 Tempo de pega

Segundo Zucco (1999) *apud* Biblis & Lo (1968), o tempo de pega pode ser definido como sendo o tempo decorrido entre a mistura dos componentes e o tempo necessário para se obter a temperatura máxima de hidratação. Em geral, o início da pega define o limite de manuseio de uma pasta ou mistura contendo pasta de cimento (compósito, argamassa, concreto), enquanto que o fim da pega representa o tempo em que há o desenvolvimento da resistência mecânica a uma taxa significativa.

O tempo de início e fim de pega pode ser estimado por meio da Tabela 2, que está variando em torno de 10 horas.

Quando a cura ocorre sem climatização está sujeita a outras variáveis como a variação da umidade relativa do ar, a velocidade do vento, a temperatura, entre outras. Também a forma, o tamanho da amostra, a relação água-cimento e aditivos exercem influência no resultado final da cura a vapor. Dependendo da madeira utilizada para a produção do compósito o tempo de cura pode ser inibido, pois a constituição química da madeira será afetada pela escolha da espécie, dos carboidratos, dos açúcares, de componentes fenólicos e principalmente dos extrativos (PIMENTEL, 2000).

Segundo a ABCP (2002), através de um correto adensamento e tempo de cura, as causas de defeitos como a baixa resistência, as trincas e fissuras para as argamassas e concretos serão reduzidas.

Os aditivos nos compósitos são uma alternativa para acelerar a cura do cimento a temperatura ambiente, como por exemplo, o cloreto de cálcio, silicato de sódio e hidróxido de sódio, em porcentagens de 3 a 5 em relação ao peso do cimento (LATORRACA, 2000 *apud* SÁ et al. 2010).

O gesso é um componente do Cimento Portland, tendo como objetivo básico controlar o tempo de pega, isto é, o início do endurecimento do clínquer moído (componente do cimento) quando este é misturado com água. Caso não se adicionasse o gesso à moagem do clínquer, o cimento, quando entra em contato com a água, endurece quase que instantaneamente, o que inviabiliza seu uso nas obras (ABCP, 2002).

3.5.2 Relação água-cimento

Segundo Fioriti (2007), a relação de água e cimento (*a/c*), influencia nos resultados de densidade e de resistência do compósito.

As misturas madeira-cimento podem ser depositadas em fôrmas, sem sofrer pressão, ou submetidas à prensagem (combinada ou não com extrusão).

Carvalho (2000) recomendaram que para ter melhor eficiência no processo de fabricação do CBVC, deve-se atender às seguintes especificações: relação cimento/madeira 1:0,5, com cerca de 170 kg de partículas vegetais/m³ de compósito.

Alberto *et al.* (2000) *apud* Matoski (2005), utilizou a proporção de 0,4:1:1 entre cimento, madeira e água para madeira de Moçambique. Enquanto, Carvalho (2000), utilizou o traço de 1:0,375:0,75 para cimento, biomassa vegetal (eucalipto) e água.

Devido ao fato das partículas vegetais serem altamente higroscópicas, as mesmas têm necessidade de serem molhadas, pois caso contrário, estas estariam propensas a absorver a água de amassamento do cimento. As partículas vegetais devem, também, serem selecionadas em dimensões adequadas para a adição à pasta (ou argamassa) de cimento, previamente homogeneizada (CARVALHO, 2000).

Com respeito à cura dos compósitos (CBVC), a mesma não necessita de maiores cuidados a respeito da perda de água, uma vez que as partículas vegetais funcionam como um reservatório, o qual vai liberando água à medida que a matriz vai secando (CARVALHO, 2000).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

A seguir estão descritos os materiais utilizados para a produção do compósito cimento-escória-madeira (CEM) e a metodologia aplicada para a realização deste estudo.

4.1 Materiais

As matéria-primas utilizadas para a produção dos compósitos foram: Cimento Portland CP II E-32 (Cimento Portland composto com escória); resíduo de madeira de *Eucalyptus grandis*; escória de liga de manganês; água como elemento ligante entre os componentes e os materiais auxiliares para a produção dos corpos de prova.

4.1.1 Cimento

O cimento Portland CP II E-32 (Figura 2), considerado como a matriz do compósito, foi adotado para a produção do compósito por ser o mais utilizado na construção civil e possuir baixo custo comparado a outros tipos de cimento.



Figura 2-Cimento Portland CP II E-32

4.1.2 Escória de liga de manganês

A escória foi fornecida pela empresa siderúrgica Maringá Ferro Liga S/A, localizada na cidade de Itapeva/SP (Figura 3). A principal atividade da empresa fornecedora do material é produção de liga de manganês. As ligas de silício-manganês e de manganês-alto carbono são matérias-primas utilizadas para a fabricação de aço no setor Siderúrgico e de Fundição. Utilizando fornos elétricos às matérias-primas para a produção da liga de manganês são o manganês, o carvão, a dolomítico (calcário) e o quartzo. Aproximadamente, a cada duas toneladas de

matéria-prima que entra na indústria produzem cerca de uma tonelada de liga de manganês e uma tonelada de escória de liga de manganês. Sua unidade produtiva é composta por cinco fornos de redução e sua capacidade de produção é de 80.000 toneladas/ano (GRUPO MARINGÁ).

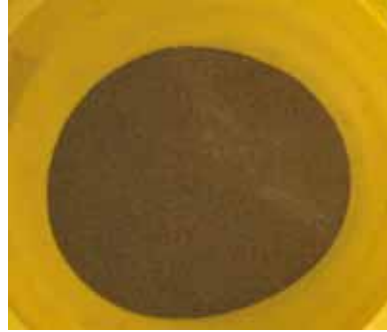


Figura 3- Escória de liga de manganês

Escória de liga de manganês que no passado era considerado um resíduos pela empresa e que hoje é um subproduto da liga de manganês. A seguir na tabela 6 apresenta a composição química da escória de liga de manganês.

Tabela 6- Composição química qualitativa da escória de liga de manganês

Compostos químicos da escória de liga de manganês								
MnO	CaO	MgO	SiO ₂	FeO	Al ₂ O ₃ (*)	K ₂ O(*)	Na ₂ O(*)	TiO ₂ (*)

(*)-em porcentagens muito reduzidas comparado as outras substâncias químicas.

4.1.3 *Eucalyptus grandis*

O resíduo na forma de tábuas de madeira foi utilizado na produção dos compósitos da espécie de *Eucalyptus grandis*. Os resíduos foram coletados após processamento de peças de madeira no Laboratório de Serraria e Beneficiamento da Madeira, UNESP Câmpus de Itapeva-SP (Figura 4). As tábuas foram picadas, moídas e peneiradas (Figura 4).



Figura 4-Processamento do resíduo de *Eucalyptus grandis*, inicialmente em dimensões maiores depois picados e moídos

4.1.4 Água

Utilizou-se água da rede pública de abastecimento de água sem qualquer cuidado de filtragem ou de análise química, tendo em vista que caso o compósito fosse produzido industrialmente a água utilizada seria com as mesmas propriedades.

4.1.5 Equipamentos auxiliares

- Picador de facas, modelo MA 680/3 e marca Marconi;
- Moinho do tipo martelo, modelo MA-680 e marca Marconi;
- Agitador de peneiras para análises granulométricas eletromagnético da marca Bertel, utilizando as peneiras 10, 20, 32 e 60 mesh;
- Balança semi-analítica;
- Recipiente para mistura dos materiais;
- Molde de PVC em formato cilíndrico com 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura;
- Soquete de madeira com diâmetro 45 mm, para a compactação da mistura;
- Óleo desmoldante;
- Paquímetro digital;
- Máquina Universal da marca EMIC modelo com capacidade de carga de 30 toneladas para o ensaio mecânico de compressão.

4.2 Método

As amostras produzidas neste estudo foram baseadas no documento normativo da Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT NBR 7512/1996 –

Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. O trabalho dividiu-se em duas etapas. A Etapa 1 teve por objetivo variar apenas a granulometria da escória, buscando encontrar a granulometria mais adequada para obter um melhor desempenho em termos de resistência mecânica para o compósito. Nesta etapa manteve-se a granulometria da madeira em 20 *mesh* para todas as amostras. A Etapa 2 a partir dos melhores resultados para uma determinada granulometria da escória definida na Etapa 1 passou-se a estudar a variação granulométrica da madeira.

Nesta primeira etapa foram confeccionados três tipos de compósitos, sendo indicados por CE₁₀M, CE₂₀M e CE₆₀M, que representaram respectivamente as partículas de escórias retidas nas peneiras de 10, 20 e 60 *mesh*. Realizou-se para cada condição analisada seis amostras. Totalizando nesta primeira etapa 18 amostras.

Após o término da Etapa 1, com a caracterização mecânica das amostras para as três condições estudadas, passou-se para a Etapa 2, que consistiu em variar a granulometria da madeira, mantendo a melhor granulometria da escória obtida na Etapa 1. Foram definidas quatro condições de compósitos, CEM₁₀, CEM₂₀, CEM₃₂ e CEM₆₀, os quais representaram respectivamente as frações de partículas de madeira passada na peneira de 10 *mesh* retida na peneira de 10 *mesh*, passada na peneira de 10 *mesh* retida na peneira de 20 *mesh*, passada na peneira de 20 *mesh* retida na peneira de 32 *mesh* e passada na peneira de 32 *mesh* retida na peneira de 60 *mesh*. Para esta etapa foram produzidas 24 amostras, sendo seis repetições para cada condição estudada.

Tanto na Etapa 1 como na Etapa 2 adotou-se um traço único para a produção do compósito de modo a evitar variações e avaliar especificamente a interferência da granulometria no desempenho do compósito, como será especificado no item 4.2.2.

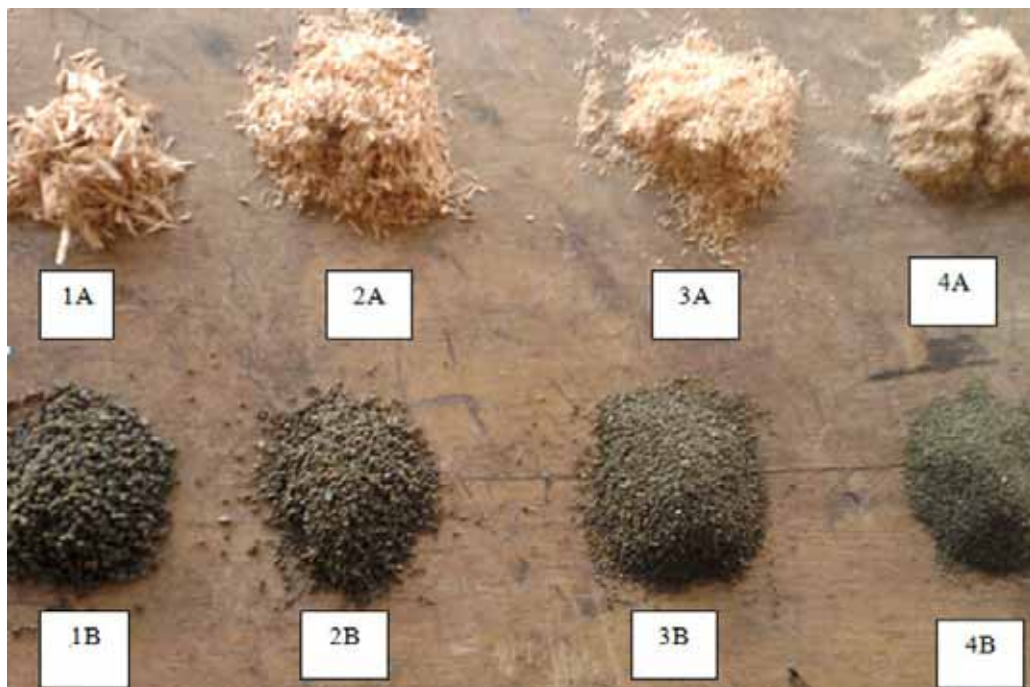
4.2.1 Processamento dos materiais

Para a produção dos compósitos foi necessária a obtenção de diferentes granulometrias para a escória e a madeira. Processando as partículas através dos equipamento da Figura 5.



Figura 5 – (a) Picador de madeira, (b) Moinho e (c) Agitador de peneiras.

A Figura 6 ilustra as partículas de madeira e escória utilizadas no presente estudo com diferentes granulometrias.



(1A) madeira passada na #10mesh
 (2A) madeira passada na #20mesh
 (3A) madeira passada na #32mesh
 (4A) madeira passada na #60mesh

(1B) escória passada na #10mesh
 (2B) escória passada na #20mesh
 (3B) escória passada na #32mesh, mas não
 foi utilizada no trabalho
 (4B) escória passada na #60mesh

Figura 6-Diferentes granulometrias para os resíduos de madeira e escória.

4.2.2 Definição dos traços

O compósito proposto neste trabalho apresentou um caráter inovador, entretanto, para a produção dos mesmos, foi necessário buscar na literatura traços usados na fabricação de compósitos similares que já haviam apresentado resultados satisfatórios.

Estudos preliminares utilizaram o traço 1:0,43:0,3:0,85 para cimento:escória:madeira:água, segundo Quintana (2009). Posteriormente verificou-se a necessidade da redução da quantidade de água, segundo Troya (2010). Portanto adotou-se neste estudo o traço de 1:0,43:0,3:0,48, o que corresponde as proporções de cimento:escória:madeira:água. Foram utilizadas para a confecção de cada uma das amostras as seguintes quantidades de material: 180 gramas do cimento CII-E-32, 77,5 gramas de escória, 54 gramas de madeira e 86 gramas de água.

Para a Etapa 1 foram produzidas seis amostras para cada granulometria da escória, Tabela 7, e a Etapa 2 foram produzidas seis amostras para cada granulometria da madeira, Tabela 8.

Tabela 7- Número de corpos-de-prova e traço do CEM para Etapa 1

Compósitos	Tipos de compósitos	Traço	Nº de CP's produzidos
CP(10 mesh)	Cimento -Escória-Madeira (CE ₁₀ M)	1:0,43:0,3:0,48	6
CP(20 mesh)	Cimento -Escória-Madeira (CE ₂₀ M)	1:0,43:0,3:0,48	6
CP(60 mesh)	Cimento -Escória-Madeira (CE ₆₀ M)	1:0,43:0,3:0,48	6

Tabela 8- Número de corpos-de-prova e traço do CEM para Etapa 2

Compósitos	Tipos de compósitos	Traço	Nº de CP's produzidos
CP(10 mesh)	Cimento -Escória-Madeira (CEM ₁₀)	1:0,43:0,3:0,48	6
CP(20 mesh)	Cimento -Escória-Madeira (CEM ₂₀)	1:0,43:0,3:0,48	6
CP(32 mesh)	Cimento -Escória-Madeira (CEM ₃₂)	1:0,43:0,3:0,48	6
CP(60 mesh)	Cimento -Escória-Madeira (CEM ₆₀)	1:0,43:0,3:0,48	6

4.2.3 Confeção dos corpos de prova

Os materiais constituintes do compósito foram pesados em balança semi-analítica como mostra a Figura 7 e, posteriormente, misturados em um recipiente plástico para homogeneização dos materiais.



Figura 7- Materiais pesados em balança semi-analítica

Com o auxílio de uma espátula, primeiramente, fez-se a adição dos materiais secos e, em seguida, acrescentou-se água, buscando assim uma mistura mais homogênea (Figura 8). O material já homogeneizado foi colocado em molde de PVC com 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura, devidamente preparada com óleo desmoldante (Figura 9).



Figura 8- Mistura dos materiais para a produção das amostras.



Figura 9- Preparação da forma e modelagem das amostras.

A compactação do material foi feita manualmente. Aproximadamente a cada 40 gramas de massa inserida no molde, foram aplicados 10 golpes uniformes com soquete de madeira (Figura 10). Todas as amostras produzidas nas Etapas 1 e 2 foram realizadas pela mesma pessoa de modo a não alterar a força de aplicação dos golpes para a compactação dos materiais e, assim garantir as mesmas condições de fabricação para todas as condições analisadas.



Figura 10-Compactação do material nos moldes plásticos

Decorridas 48 horas após a confecção dos corpos-de-prova, os mesmos foram desmoldados e, permaneceram por mais 26 dias em temperatura ambiente para a cura total. As Figuras 11 e 12 apresentam algumas amostras produzidas com as variações granulométricas realizadas nas Etapas 1 e 2.

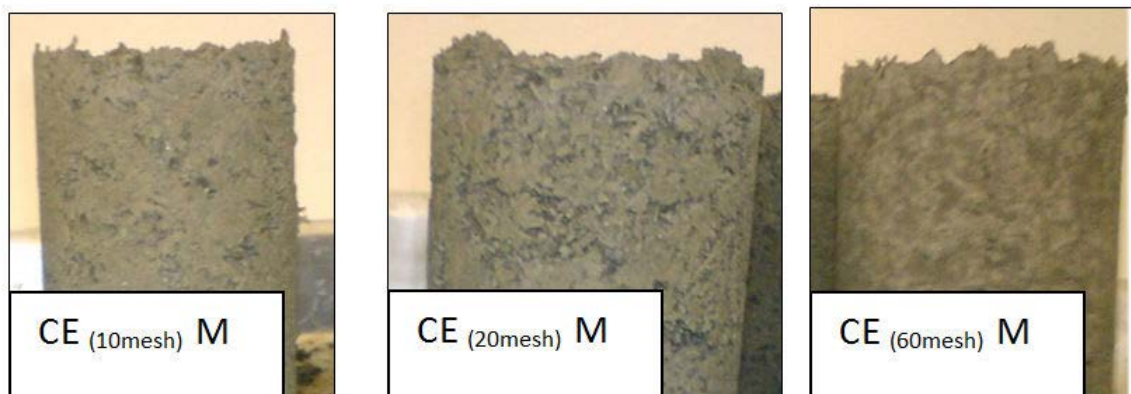


Figura 11-Corpos de prova desmoldados na Etapa 1.



Figura 12- Corpos de prova desmoldados na Etapa 2.

4.2.4 Determinação das propriedades físicas e mecânicas dos compósitos da Etapa 1 e 2

Após 28 dias da fabricação das amostras, realizou-se a mensuração dos diâmetros e alturas para a realização da caracterização física e mecânica.

Inicialmente, realizou-se o teste para a determinação da densidade aparente das amostras. Como os corpos de prova já haviam sido medidos realizou-se a pesagem das amostras e determinou-se a densidade a partir da Equação 1.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

Onde:

ρ = densidade do compósito (g/cm³);

m = massa do compósito (g);

V = volume do compósito (cm³).

O teste de compressão foi realizado segundo especificações da NBR 7215/1996. O teste foi realizado na Máquina Universal de Ensaio da marca EMIC (Figura 13).



Figura 13- Máquina Universal de Ensaio da marca EMIC com capacidade de carga de 30 toneladas.

Ensaio foi realizado com capacidade de carga de 30 toneladas, velocidade de 0,08 mm/s e incrementos de carga de 100 kgf, com o objetivo de determinar o módulo de elasticidade (MOE) e o módulo de ruptura (MOR) à compressão. Os valores de MOE e MOR foram determinados a partir das Equações 2 e 3, inseridas no software da máquina de ensaio.

$$MOE = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\xi} \quad (2)$$

Onde:

$\Delta\sigma = \sigma_{50\%} - \sigma_{10\%}$ = variação do valor equivalente à 50% da força de ruptura (kgf/cm²) subtraído do valor equivalente à 10% da força de ruptura (MPa);

$\Delta\varepsilon = \varepsilon_{50\%} - \varepsilon_{10\%}$ = variação da deformação relativa à 50% subtraído do valor da deformação relativa à 10% (cm²).

$$MOR = \frac{F}{A} \quad (3)$$

Onde:

F = força de ruptura (N);

A = área da amostra (cm²).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através dos valores obtidos nos testes para a determinação da densidade aparente, MOE e MOR da Etapa 1, realizou-se a análise estatística dos resultados e os mesmos foram comparados com outros estudos encontrados na literatura. Determinou-se a melhor granulometria da escória para o compósito cimento-escória-madeira (CEM). A Etapa 2 utilizou-se a melhor situação da Etapa 1 e para a confecção dos CEM.

5.1 Resultados da variação da granulometria da escória - Etapa 1

Os itens 5.1.1 e 5.1.2 a seguir descrevem o desempenho do compósito CEM para diferentes granulometrias da escória.

5.1.1 Densidade aparente dos CEM

O ensaio físico restringiu-se a determinação das densidades para cada amostra. Juntamente com os resultados dos ensaios foram calculadas as médias e respectivos desvios padrões para cada uma das três granulometrias da escória (Tabela 9).

Tabela 9-Dados obtidos para Etapa 1

CP	<i>Etapa 1 - Densidade aparente (g/cm³)</i>		
	<i>10 mesh</i>	<i>20 mesh</i>	<i>60 mesh</i>
CME₁	1,49	1,45	1,56
CME₂	1,53	1,55	1,65
CME₃	1,53	1,45	1,63
CME₄	1,48	1,51	1,62
CME₅	1,43	1,47	1,63
CME₆	1,49	1,45	1,61
Média	1,49	1,48	1,62
Desvio padrão	0,034	0,038	0,028

As densidades médias demonstraram um aumento gradativo, ou seja, quanto menor a granulometria da escória maior a densidade do compósito. Isto era

esperado, pois com partículas de menor granulometria o compósito apresenta menor quantidade de vazios observados visualmente, portanto, maior interação entre as mesmas e maior peso, conseqüentemente, maiores densidades.

Utilizando o software R realizou-se análise estatística para os dados da Tabela 9, através de Regressão Linear que visa modelar e investigar a relação de duas ou mais variáveis. A Figura 14 apresenta a análise de regressão da densidade aparente em função das três variações granulométricas das amostras analisadas.

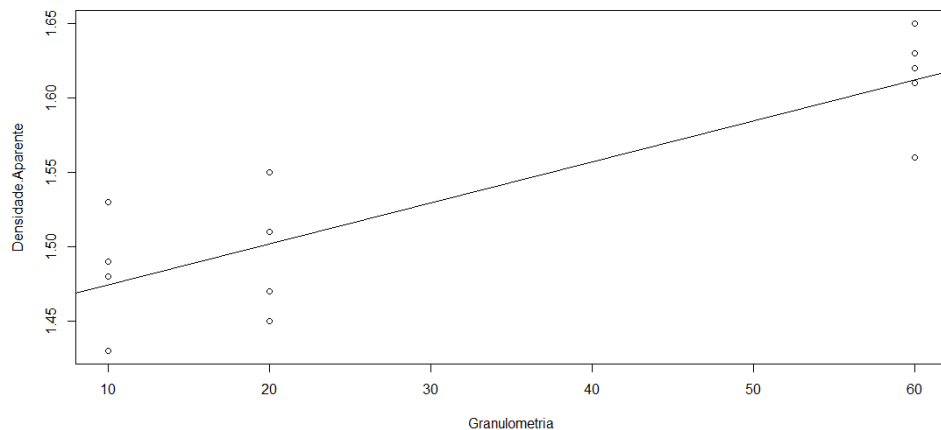


Figura 14-Representação gráfica da análise de regressão da densidade aparente em função das 3 variações granulométricas da escória nos corpos de prova.

Analisando estatisticamente os dados da densidade (Tabela 9) nota-se que ocorreu uma boa interação entre eles e que existe diferença significativa entre as 3 variações da granulometria ($F_{1,16} = 40,98$; $p\text{-value} = 0,00000877 < 0,05$), considerando nível de significância de 5%.

Por meio da Correlação de Pearson obteve-se o Coeficiente de Determinação de $r^2 = 0,85$. Portanto, como se observa na Figura 14, a linha de regressão está bem próxima da maioria dos pontos, ou seja, apresentando bons valores e pertencendo a faixa da correlação forte.

5.1.2 Resultados do ensaio mecânico

O ensaio mecânico restringiu-se ao teste de compressão para a determinação dos módulos de elasticidade e de ruptura para cada amostra. Juntamente com os resultados dos ensaios foram calculadas as médias e respectivos desvios padrões

para cada uma das três granulometrias da escória estão apresentados nos itens 5.1.2.1 e 5.1.2.2.

5.1.2.1 Análise do módulo de elasticidade

Os valores de MOE para cada amostra, médias e desvios padrões para cada uma das três formas diferentes de granulometria da escória estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 10-Dados do módulo de elasticidade, obtidos através da máquina de ensaio universal, para Etapa 1

CP	<i>Etapa 1 - MOE (MPa)</i>		
	<i>10 mesh</i>	<i>20 mesh</i>	<i>60 mesh</i>
CME1	277,29	429,73	915,09
CME2	432,38	211,57	*
CME3	601,81	571,89	1777,01
CME4	395,75	522,93	832,59
CME5	601,81	571,89	767,28
CME6	395,75	522,93	702,68
Média	450,80	471,82	998,93
Desvio Padrão	116,99	125,67	395,36

* Valor de amostra descartado por erro na realização do ensaio.

Os valores médios do MOE apresentaram crescimento gradativo com a diminuição da granulometria da escória como ocorreu para densidade. Desse modo apresentando melhor desempenho para os corpos de prova produzidos com escória de 60 *mesh* de escória.

Utilizando o software R realizou-se análise estatística para os dados da Tabela 10, através de Regressão Linear que visa modelar e investigar a relação de duas ou mais variáveis. A Figura 15 apresenta a análise de regressão do MOE em função das três variações granulométricas das amostras analisadas.

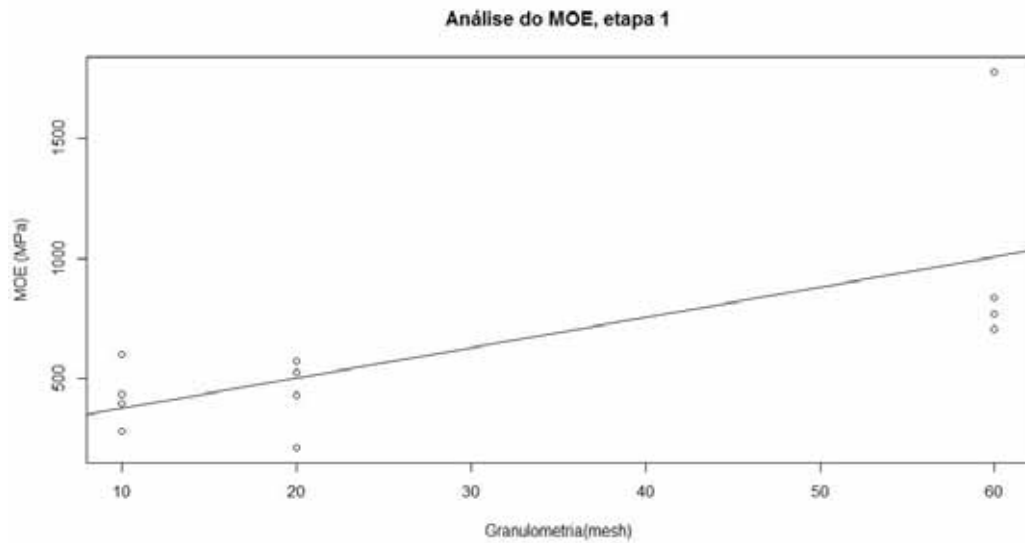


Figura 15-Representação gráfica da análise de regressão do MOE em função das 3 variações granulométricas da escória nos corpos de prova.

Analisando estatisticamente os dados do MOE (Tabela 10) nota-se que ocorreu uma boa interação entre eles e que existe diferença significativa entre as 3 variações da granulometria ($F_{1,10} = 9,62$; $p\text{-value} = 0,011 < 0,05$), considerando nível de significância de 5%.

Por meio da Correlação de Pearson obteve-se o Coeficiente de Determinação de $r^2 = 0,70$. Portanto, como se observa na Figura 15, a linha de regressão está bem próxima da maioria dos pontos, ou seja, apresentando bons valores e pertencendo a faixa da correlação forte. Isto ocorreu devido ao ponto localizado na parte superior do gráfico, cuja granulometria é de 60 *mesh*, apresentar uma diferença maior da reta em relação aos outros pontos, ocasionando uma redução do coeficiente.

5.1.2.2. Análise do módulo de ruptura

Os valores de MOR para cada amostra, média e desvios padrões para cada um dos três tipos de tratamentos estão apresentados nas Tabelas 11.

Tabela 11-Dados do módulo de ruptura, obtidos através da máquina de ensaio universal, para Etapa 1

CP	<i>Etapa 1 – MOR (MPa)</i>		
	<i>10 mesh</i>	<i>20 mesh</i>	<i>60 mesh</i>
CME1	3,79	3,74	6,87
CME2	4,56	3,01	*
CME3	4,06	3,32	8,06

CME4	4,68	3,74	6,85
CME5	4,06	3,32	7,25
CME6	4,68	3,74	6,46
Média	4,31	3,48	7,10
Desvio Padrão	0,35	0,28	0,54

* Valor de amostra descartado por erro na realização do ensaio.

Os valores do MOR médios, assim como para o MOE, apresentaram maior resistência quando o compósito foi produzido com partículas de escória de menor granulometria. Os valores obtidos para os corpos-de-prova de 10 e 20 *mesh* apresentaram pouca variação entre eles, aumentando consideravelmente quando comparado com o compósito produzido com partículas de escória de 60 *mesh*. Isto pode ser justificado pela granulometria da escória ser quase semelhante nas partículas de 10 e de 20 *mesh* e muito menor para a de 60 *mesh*.

Realizou-se análise estatística para os dados das Tabelas 11, através da análise de regressão que visa modelar e investigar a relação de duas ou mais variáveis. A Figura 16 apresenta a análise de regressão do MOR em função das três variações granulométricas das amostras analisadas.

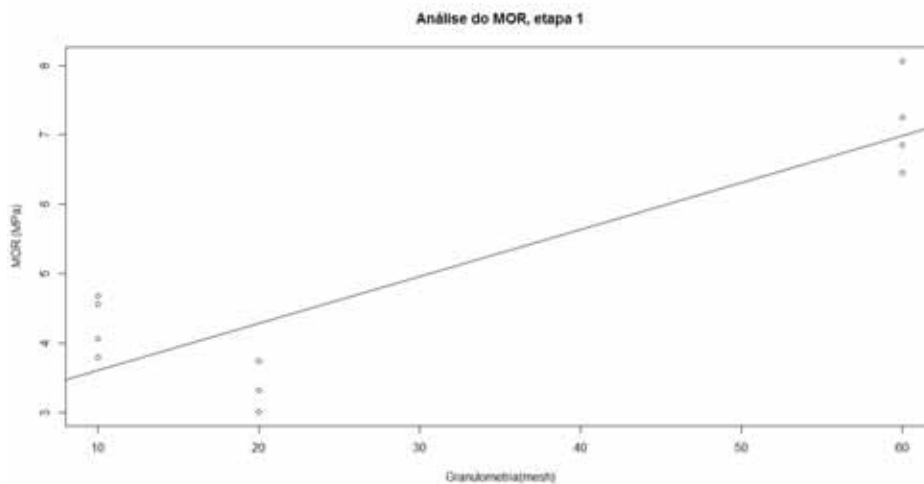


Figura 16-Representação gráfica da análise de regressão do MOR em função das 3 variações granulométricas da escória nos corpos de prova.

Estatisticamente, para os dados do MOR (Tabela 11) observa-se que ocorreu uma boa interação entre eles e que existe diferença entre as 3 variações da granulometria ($F_{1,15} = 49,78$, $p\text{-value} = 0,0000039 < 0,05$), considerando nível de significância de 5%.

Através da Correlação de Pearson pode-se avaliar o quanto os valores dos dados estão próximos da linha de regressão. Neste caso o valor do coeficiente de regressão linear foi de $r^2=0,88$, correlação forte e positiva. Portanto, observa-se na Figura 16 que a maioria dos pontos estão tendendo ou bem próximos a linha de regressão sendo assim, o experimento apresenta valores bastante satisfatórios.

5.2 Resultados da variação da granulometria da madeira - Etapa 2

Após verificar que o melhor resultado obtido na Etapa 1, granulometria de 60 mesh para a escória, realizou-se a Etapa 2 com o propósito de obter a melhor granulometria para a madeira. Os itens 5.2.1 e 5.2.2 a seguir descrevem o desempenho do compósito CEM para diferentes granulometrias da madeira.

5.2.1 Resultados do ensaio físico

O ensaio físico restringiu-se a determinação das densidades para cada amostra. Juntamente com os resultados dos ensaios foram calculadas as médias e respectivos desvios padrões para cada uma das quatro granulometrias da madeira (Tabela 12).

Tabela 12-Dados obtidos após mensurar os corpos-de-prova, diâmetro, altura e peso, para Etapa 2

CP	<i>Etapa 2 - Densidade aparente (g/cm³)</i>			
	<i>10 mesh</i>	<i>20 mesh</i>	<i>32 mesh</i>	<i>60 mesh</i>
CME₁	1,32	1,20	0,98	0,91
CME₂	1,28	1,19	1,02	0,90
CME₃	1,29	1,14	0,95	0,88
CME₄	1,23	1,14	1,04	0,90
CME₅	1,19	1,25	1,07	0,94
CME₆	1,24	1,21	1,00	0,91
Média	1,26	1,19	1,01	0,90
Desvio padrão	0,042	0,041	0,037	0,018

As densidades médias apresentaram redução gradativa, ou seja, quanto menor a granulometria da madeira menor a densidade do compósito. Isto pode ser justificado pela menor interação existente entre as partículas finas de madeira com o

cimento, como foi comprovado por Latorraca (2000). Estudos anteriores mostraram que um fator determinante para as características do compósito está relacionado ao processo produtivo. Sendo assim uma melhor compactação pode ser conseguida com a mecanização do processo de confecção do compósito, por exemplo, com uma prensa a frio (IWAKIRI, 2005).

Destaca-se ainda que é de fundamental importância a realização de uma análise química dos constituintes químicos da madeira para avaliar a interação entre os constituintes e, assim, restringir as variáveis que interferem no compósito.

Utilizando o software R realizou-se análise estatística para os dados da Tabela 12, através de Regressão Linear que visa modelar e investigar a relação de duas ou mais variáveis. A Figura 17 apresenta a análise de regressão da densidade aparente em função das três variações granulométricas das amostras analisadas.

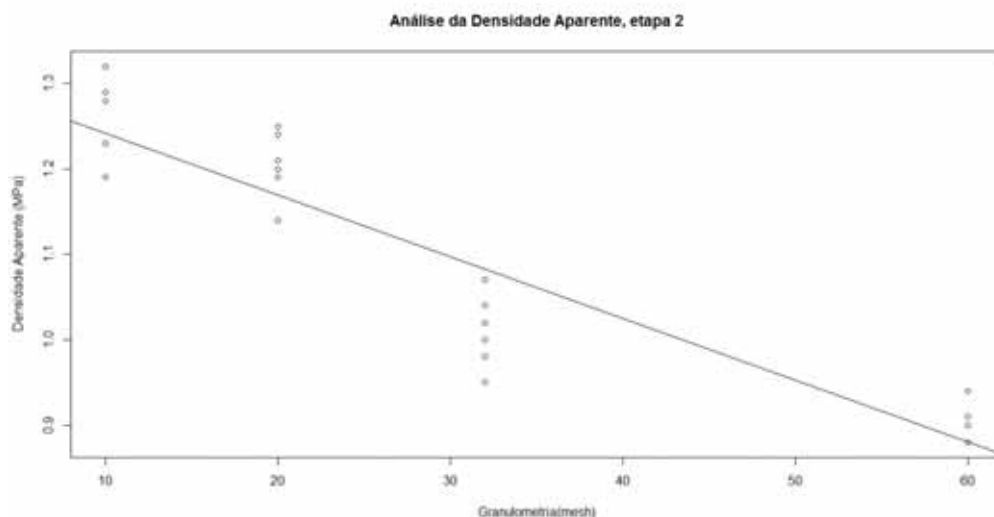


Figura 17-Representação gráfica da análise de regressão da densidade aparente em função das 4 variações granulométricas da madeira nos corpos de prova

Analisando estatisticamente os dados da densidade (Tabela 12) nota-se que ocorreu uma boa interação entre eles e que existe diferença significativa entre as 3 variações da granulometria ($F_{1,22} = 122,7$; $p\text{-value} = 0,00000000018 < 0,05$), considerando nível de significância de 5%.

Por meio da Correlação de Pearson obteve-se o Coeficiente de Determinação de $r^2 = -0,92$. Portanto, como se observa na Figura 17, a linha de regressão está bem próxima da maioria dos pontos, ou seja, apresentando bons valores e pertencendo a faixa da correlação fortíssima.

5.2.2 Resultado do ensaio mecânico

O ensaio mecânico restringiu-se ao teste de compressão para a determinação dos módulos de elasticidade e de ruptura para cada amostra. Juntamente com os resultados dos ensaios foram calculadas as médias e respectivos desvios padrões para cada uma das quatro granulometrias da madeira estão apresentados nos itens 5.2.2.1 e 5.2.2.2.

5.2.2.1 Análise do módulo de elasticidade

Os valores de MOE para cada amostra, médias e desvios padrões para cada uma das quatro variações granulométricas da madeira estão apresentados na Tabela 13.

Tabela 13-Dados do módulo de elasticidade, obtidos através da máquina de ensaio universal, para a Etapa 2

CP's	Etapa 2 - MOE (MPa)			
	<i>10 mesh</i>	<i>20 mesh</i>	<i>32 mesh</i>	<i>60 mesh</i>
CME₁	671,95	445,76	204,57	55,23
CME₂	723,53	544,16	218,42	47,37
CME₃	855,1	463,62	213,69	36,25
CME₄	649,67	544,71	315,98	113,36
CME₅	763,49	657,33	155,38	54,83
CME₆	637,39	580,56	525,5	75,28
Média	716,9	539,4	272,3	63,72
Desvio padrão	82,68	77,67	134,600	27,46

Os valores médios do MOE apresentaram redução gradativa com a diminuição da granulometria da madeira, onde obteve-se melhor desempenho para as amostras de *10 mesh* de madeira. Segundo Latorraca (2000), a granulometria muito fina da farinha de madeira gera um efeito inibidor da cura do cimento, e por isso leva a resultados mais baixos na tensão de ruptura e no módulo de elasticidade em flexão estática, como comprovado neste estudo.

Realizou-se análise estatística para os dados das Tabelas 13, através da análise de regressão que visa modelar e investigar a relação de duas ou mais variáveis. A Figura 18 apresenta a análise de regressão do MOE em função das quatro variações granulométricas da madeira.

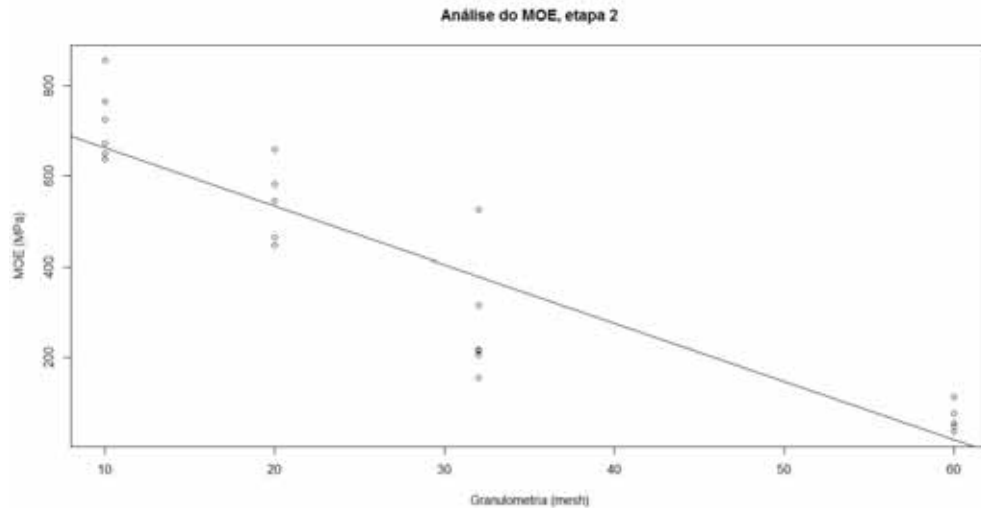


Figura 18-Representação gráfica da análise de regressão do MOE em função das 4 variações granulométricas da madeira nos corpos-de-prova.

Analisando estatisticamente os valores do MOE (Tabela 13) nota-se que ocorreu uma boa interação entre eles e que existe diferença significativa entre as 4 variações da granulometria ($F_{1,22} = 119,3$, $p\text{-value}=0,000000000236 < 0,05$), considerando nível de significância de 5%.

Por meio da Correlação de Pearson obteve-se o coeficiente de determinação de $r^2 = -0,92$ demonstram uma fortíssima correlação com sinal negativo, pois está mais próximo de do valor 1 (Figura 18).

5.2.2.2. Análise do módulo de ruptura

Os valores de MOR para cada amostra, médias e desvios padrões para cada uma das quatro variações granulométricas das partículas de madeira estão apresentados nas Tabelas 14.

Tabela 14-Dados do módulo de ruptura, obtidos através da máquina de ensaio universal, para a Etapa 2

<i>Etapa 2 - MOR (MPa)</i>			
<i>10 mesh</i>	<i>20 mesh</i>	<i>32 mesh</i>	<i>60 mesh</i>

CP's				
CME₁	6,02	3,35	2,20	0,91
CME₂	5,06	3,71	2,82	0,86
CME₃	5,34	3,36	2,20	0,66
CME₄	4,44	3,32	2,90	0,92
CME₅	3,80	4,56	3,16	1,08
CME₆	5,22	4,04	2,61	0,92
Média	4,98	3,72	2,65	0,89
Desvio padrão	0,77	0,50	0,39	0,13

Os valores médios do MOR mostraram decréscimo gradativo com a diminuição da granulometria da madeira, como ocorreu para a densidade e para o MOE, que foram verificados um melhor desempenho para a condição de partículas de madeira de 10 *mesh*. Como já mencionado anteriormente e comprovado por Latorraca (2000). E ainda, segundo Matoski (2007) há uma tendência ao crescimento dos valores de resistência com o aumento da densidade, como comprovado neste estudo.

Com relação a qualidade superficial dos compósitos apenas o CEM₆₀ apresentou esfarelamento ao manusear. Isso pode ser justificado pela maior área superficial das partículas de madeira de 60 *mesh* que absorveram a água da mistura, portanto o cimento não solidificou pela falta de água.

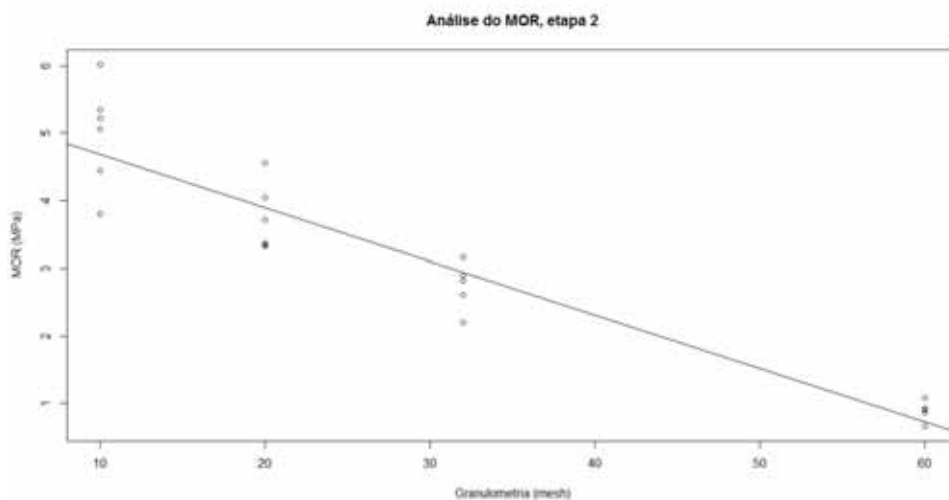


Figura 19-Representação gráfica da análise de regressão do MOR em função das 4 variações granulométricas da madeira nos corpo de prova.

Analisando estatisticamente os dados do MOR (Tabela 14) nota-se que ocorreu uma boa interação entre eles e que existe diferença significativa entre as 4 variações da granulometria ($F_{1,22} = 180,1$, $p\text{-value} = 0,0000000000045 < 0,05$), considerando nível de significância de 5%.

Por meio da Correlação de Pearson obteve-se o coeficiente de determinação de $r^2 = -0,94$ demonstram uma fortíssima correlação com sinal negativo, pois está mais próximo de do valor 1. Portanto, como observa-se na Figura 19, a linha de regressão está descrita com inclinação decrescente.

5.3 Analisando o MOR e o MOE

Estudos anteriores já verificaram que adição da escória produz compósitos com menor MOE e MOR quando comparados aos compósitos sem escória (QUINTANA, 2009). Este fato foi explicado, pois a escória apresenta maior granulometria quando comparada ao cimento e, também por apresentar geometria desuniforme. A própria composição química da escória reduz o desempenho mecânico do compósito por apresentar menor interação química com a madeira. A afirmação anterior pode ser comprovada por estudos que utilizaram o cimento CP II E-32 e o CP V – ARI em compósito cimento-bambu tratado, onde o último não apresenta escória em sua composição, sendo os resultados de resistência de ruptura do compósito produzido com CPV superiores aos resultados do compósito produzido com CP II (Bertolini 2009 e Troya, 2010).

Conclui-se ainda que maiores espaços vazios foram gerados no compósito com maior granulometria de escória ocasionando um material menos resistente (QUINTANA, 2009). No entanto, verificou-se neste estudo que a redução da geometria das partículas de escória proporciona um compósito com propriedades físicas e mecânicas melhores. Fioriti (2007) *apud* Shackel (1990) observou a necessidade da escolha da melhor geometria dos agregados para assim obter melhor resistência, acabamento superficial e maior grau de compactação do material no compósito, utilizando resíduos de pneus. Tais conclusões podem ser aplicadas para o compósito cimento-escória-madeira.

Ainda segundo Fioriti (2007) *apud* Cruz (2003) o empacotamento, ou seja, a compacidade de uma mistura é influenciada por três fatores principais para a qualidade do compósito, são eles, a forma dos grãos, método do empacotamento e a

curva granulométrica que reduzirá a porosidade do material final. A forma dos grãos utilizados foram restringidos para três dimensões diferentes para a escória, na Etapa 1 e quatro granulometrias diferentes para a madeira, na Etapa 2. Neste estudo não foram abordados, o método do empacotamento e a curva granulométrica que poderão ser indicados para novos estudos.

Segundo o compósito CEM descrito por Quintana (2009) utilizando *Pinus* com tratamento em água quente, obteve uma densidade média aparente $1,05 \pm 0,02$ g/cm³ e um MOE de $274,09 \pm 167,03$ MPa e um MOR de $3,79 \pm 0,42$ MPa. Com relação ao trabalho em questão foi utilizado *Eucalyptus*, sem tratamento, obteve uma densidade média aparente de $1,62 \pm 0,028$ g/cm³ e um MOE de $998,93 \pm 395,36$ MPa e um MOR de $7,10 \pm 0,54$ MPa. Portanto, se compararmos os resultados dos dois estudos, mesmo com espécies diferentes, verificamos um melhor desempenho para o trabalho em questão que obteve maiores valores de MOE e MOR.

6. CONCLUSÃO

No presente estudo pode-se comprovar que novos compósitos cimentícios podem ser desenvolvidos, entretanto algumas considerações das matérias-primas utilizadas devem ser atendidas como:

- A geometria da escória que apresentou melhor resultado com menores partículas tendendo as dimensões das partículas do cimento, o que possibilitou melhor interação entre os dois aglutinantes;
- A geometria da madeira interferiu no desempenho do compósito. Partículas maiores apresentaram melhor desempenho de resistência no compósito, portanto, a redução da partícula de madeira propiciou pouca interação com o cimento.

Sugere-se ainda para estudos futuros:

- Melhoria no fator compactação através da utilização de um prensa hidráulica para melhorar a uniformidade da compactação do compósito reduzindo assim os vazios;
- Adição de aditivos para acelerar a pega do cimento e, conseqüentemente, melhorar a resistência dos materiais fabricados (por exemplo, tijolos, blocos, placas e *pavers*) além de diminuir o tempo necessário para a desmoldagem de peças fabricadas;
- Análise química da madeira, onde pode-se mensurar a quantidade de extrativos de uma espécie para outra, restringindo assim as variáveis que afetam o compósito.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCP-Associação Brasileira de Cimento Portland. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/conteudo/sustentabilidade/sustentabilidade-do-concreto>>. Acesso em:08/05/2013.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7215: Cimento Portland-Determinação da resistência à compressão**. Rio de Janeiro, 1996.

AEDB- Associação Educacional Dom Bosco. II Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia – SEGeT'2005. Disponível em<http://www.aedb.br/seget/artigos05/5_Residuos%20industriais%20e%20a%20qu%20estao%20ambiental.pdf> Acesso em: 09/05/2013.

ArcelorMittal Tubarão. **Empresa**. Disponível em:<http://www.cst.com.br/produtos/co_produtos/catalogo_produtos/escoria_aciaria_id/introducao.asp>. Acesso em: 26/05/2013.

ABCP. GUIA BÁSICO DE UTILIZAÇÃO DO CIMENTO PORTLAND. São Paulo. 2002.

BRAND, M. A.; MUÑIZ, G. I. B. de; SILVA, D. A. da; KLOCK, U. Caracterização do rendimento e quantificação dos resíduos gerados em serraria através do balanço de matérias. **Revista Floresta**. Edição 32. p. 247-259. 2002.

CAIXETA, R. P. **Correlação Linear.wmv**. Professor de Estatística do UNIPAM-Centro Universitário Patos de Minas. 2012. Disponível em:<http://www.youtube.com/watch?v=Ba_yYfRzloU>. Acesso em 26/06/2013.

CARVALHO, J. V. de. Aproveitamento de resíduos particulados da madeira de eucalipto grandis na fabricação de compósitos à base de cimento Portland. 82f. **Dissertação de Mestre**- FEAGRI – UNICAMP, Engenharia Agrícola, Área de Concentração :Construções Rurais e Ambientância. Campinas-SP, Novembro, 2000

CETESB. Resíduos sólidos industriais. São Paulo: CETESB/ASCETESB, 1985. 182p.

CRUZ, L. O. M. Pavimento intertravado de concreto: Estudo dos elementos e métodos de dimensionamento.281p. **Disertação de Mestrado**- Engenharia Civil- Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2003.

FILEV, R. **Ficha técnica**. Escória de Acácia. Engenharia Civil. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. EP-USP. Disponível em:< http://www.reciclagem.pcc.usp.br/escoria_de_aciaria.htm>. Acesso em: 26/05/2013.

FIORITI, C. F. Pavimentos intertravados de concreto utilizando resíduos de pneus como material alternativo. São Carlos. 202p. **Tese de Doutorado** -Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

FIORITI, C. F., INO, A., AKASAKI, J. L., TAKIY, N. H. Pavers de concreto com adição de resíduos da recauchutagem de pneus. **Artigo site**. Unesp-Campus de Ilha Solteira, São Paulo, Ilha Solteira, 2012.

GRUPO MARINGÁ. Disponível em: <<http://www.grupomaringa.com.br/>>. Acesso em 16/05/2013.

IPT-Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Disponível em:<http://www.ipt.br/noticia/657-cimento_a_partir_de_residuos.htm>Acesso em: 10/05/2013.

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

LATORRACA, J.V.F. Estudo da viabilidade do uso da espécie *Eucalyptus dunnii* (Maid) na manufatura de painéis de madeira-cimento. 94 p. **Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)** - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1996.

Laudo técnico. Laudo técnico para caracterização de madeiras do Gênero *Eucalyptus*. Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná – FUPEF do Paraná.Fundação de Apoio da Universidade Federal do Paraná. Bloco do Centro de Ciências Florestais e da Madeira –Campus III da UFPR. 2010. Disponível em: <http://www.mademape.com.br/laudo_fupef.pdf> Acesso em: 09/05/2013.

LIMA, A. M. de; FONSECA, F. de O.; MACEDO, A. N. Efeito de um tratamento físico na resistência à compressão de compósito cimento-madeira à base de resíduo de serraria. In: EBRAMEM, 10., 2006, São Pedro - SP. **Anais** do 10º Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira. [S.l.]: CEVEMAD/UNESP, 2006. Não Paginado. CD-ROM.

LINDUÁRIO, A. S., FARIAS, L. dos A.,ALBUQUERQUE, A. C. de,ANDRADE, M. A. S. de **Utilização da escória de alto forno moída no concreto convencional e compactado com rolo**. Tecnologia em Metalurgia e Materiais. São Paulo-SP. v.2. n1.p. 35-39.jul.-set. 2005.

LOBÃO, M. S.; LÚCIA, R. M. D.; MOREIRA, M. S. S.; GOMES, A. Caracterização das propriedades físico-mecânicas da madeira de eucalipto com diferentes densidades. Sociedade de Investigações Florestais. **Revista Árvore**. v.28. n.6. p.889-894. Viçosa-MG. 2004.

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. 29ºReunião Anual da Sociedade Brasileira de Química. Sociedade Brasileira de Química (SBQ). Águas de Lindóia-SP. Maio. 2006.

MALINOVSKI, R. A. Reflorestamento em áreas limítrofes de propriedades rurais em São José dos Pinhais (PR): análise de percepção e de viabilidade econômica. 2002.

161 p. **Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)** – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná - UFPR, Curitiba, 2002.

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

MOSLEMI, A. **Technology and market considerations for fiber cement Composites**. University of Idaho. 11BCC-11th Int.Inorganic-Bonded Fiber Composites Conference. Madrid-Spain. November. 2008. Disponível em: <<http://iibcc.net/media/9784/moslemi-technology-and-market.pdf> >. Acesso em: 26/05/2013.

NOLASCO, A.M. Resíduos da colheita e beneficiamento da caixeta – *Tabebuia cassinoides* (Lam.) DC.: caracterização e perspectivas. 2000. **Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental)** – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Carlos, São Carlos.

Notas de aula. Correlação. Disponível em: <http://www.inf.ufsc.br/~verav/Correlacao/Correlacao_Pearson_Spearman_Kendall.pdf>. Acesso em: 27/06/2013.

OLIVEIRA, I. R. C.; VASCONCELOS, R. P. Estudo da aplicação de fibras naturais de juta em placas de material compósito cimentício. Universidade Federal do Amazonas – UFAM **19º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais** – CBECiMat. Campos do Jordão-SP.

Painéis de cimento-madeira: características e aplicações. **Revista da Madeira**. Edição nº 71. Maio. 2003. Disponível em: <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=323&subject=Cimento>. Acesso em: 19/05/2013.

Painéis OSB e cimento-madeira poderão revolucionar a construção civil. **Revista da Madeira**. Edição nº 71. Maio. 2003. Disponível em: <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=327&subject=Constru%C3%A7%C3%A3o%20Civil&title=Pain%C3%A9is%20osb%20e%20cimentomadeira%20poder%C3%A3o%20revolucionar%20a%20constru%C3%A7%C3%A3o%20civil>. Acesso em: 26/05/2013.

PIMENTEL, L. L. Telhas onduladas à base de cimento portland e resíduos de *Pinus Caribaea*. **Dissertação (mestrado)**. Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Faculdade de Engenharia Agrícola. Campinas- SP. 2000.

Portal da madeira. Disponível em: <<http://portaldamadeira.blogspot.com.br/2010/02/composito-madeira-cimento-em-que.html>>. Acesso em: 26/05/2013.

PRADO, R. de M., COUTINHO, E. L. M., ROQUE, C. G., VILLAR, M.L.P. **Avaliação da escória de siderurgia e de calcários como corretivo da acidez do solo no cultivo da alface**. Pesquisa agropecuária brasileira. Brasília-DF. V.37. n. 4. P. 539-546. Abr. 2002.

QUINTANA, N. M. G. **Produção e avaliação das propriedades físico-mecânica do compósito cimento-escória-madeira**. 80f. Trabalho de Graduação (TCC)-UNESP Campus Experimental de Itapeva, Itapeva, 2009.

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

SAVASTANO Jr., H. Materiais à base de cimento reforçados com fibra vegetal: reciclagem de resíduos para a construção de baixo custo. 2p. **Tese (Livre-Docência)**-Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

SBU-Biblioteca Digital da UNICAMP. Disponível em:<<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/>>Acesso em : 08/05/2013

SCA- Slag Cement Association. Disponível em:<http://www.slagcement.org/News/FAQ_WhatIsSlag.html>.Acesso em : 08/05/2013

SHACKEL, B. **Disign end construction of interlocking concrete block pavements**. First edition. Elsevier, New York and London, 1990.

Siderurgia Brasil. Disponível em:<<http://www.siderurgiabrasil.com.br/novosb/component/content/article/217-materiassb77/2135-o-caminho-do-aco--marina-teixeira-de-mello>>. Acesso em: 08/05/2013.

Siderurgia Brasil. Disponível em:<<http://www.siderurgiabrasil.com.br/novosb/component/content/article/218-materiassb78/2159-avancos-das-exigencias-ambientais-na-siderurgia-mineira-ferro-gusa--guilherme-doal>>Acesso em:08/05/2013

TIBÚRCIO, U. F de. O. Medição e análise do acabamento superficial da madeira de eucalipto na usinagem de torneamento cilíndrico e lixamento. 2009, 101 f. **Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica)** – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista – UNESP, Guaratinguetá, 2009.

ZANIN, A. C.; JERKE, A.; ACORSI, B. K.; LOPES, H. W.; PIANARO, F. A. C. **Utilização de preservativos para madeira no setor da construção civil.** Engenharia Civil- PUCPR. Disponível em:<<http://pt.scribd.com/doc/102041643/Utilizacao-de-preservativos-na-madeira-no-setor-da-construcao-civil>>. Acesso em: 15/06/2013.

ZUCCO, L. L. Estudo da viabilidade de fabricação de placas de compósito à base de cimento e casca de arroz. **Dissertação (mestrado)**. Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Faculdade de Engenharia Agrícola. Campinas- SP. 1999.