

UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE MADEIRA COMO ELEMENTO CONSTRUTIVO

**Pedro Paulo de Arruda⁽¹⁾; Aluzimar Oliveira da Silva⁽²⁾
Rubens Gargiulo Martinez⁽³⁾**

(1) IFMT, e-mail: pp.arruda@hotmail.com

(2) IFMT, e-mail:aluzimarsilva@hotmail.com

(3) IFMT, e-mail: rubensgargiulo@hotmail.com

Resumo

O presente estudo visou à utilização do efeito do uso cimento/madeira, com o intuito de adequar a destinação de resíduos (serragem) gerados pela Indústria Madeireira, utilizando como material de pesquisa, resíduos de madeireiras da região, com o objetivo de confeccionar placas, blocos, peças e tijolos maciços, onde os mesmos poderão ser utilizados como elemento de vedação em alvenarias. Foi estudada a influência da adição de pó de serra em substituição total ao agregado miúdo mineral (areia) na fabricação de corpos de prova experimentais. Foram avaliados aspectos como as características físicas e mecânicas do compósito. As propriedades físicas avaliadas no compósito cimento e pó de serra foram: a massa específica absorção de água, índice de vazios e granulometria. E as propriedades mecânicas avaliadas foram determinadas por meio de ensaios de resistência a compressão axial. Os ensaios foram realizados com base a normatização vigente para os variados tipos de elementos produzidos. De modo que a pesquisa tem grande influência na questão ambiental, uma vez que se trata da utilização de rejeitos da industrialização da madeira. De modo que o resultado final dessa pesquisa foi satisfatório, demonstrando que esse material pode ser incorporado como elemento construtivo atendendo aos requisitos mínimos exigido por normas específicas para cada tipo de componente fabricado. Este estudo reveste-se de maneira importante, pois contribui para o avanço científico e tecnológico do país, que tende a tornar-se cada vez menos dependente do conhecimento externo e ainda, caso ele venha a contribuir para o desenvolvimento de um produto extremamente necessário para o futuro, e bem possível que também favoreça a geração de emprego e renda, bem como colabore com eventuais programas voltados a exploração sustentável da madeira brasileira.

Palavras-chave: pó de serra, matriz cimenticia,construção civil.

Abstract

The present study aimed to use the effect of using cement / wood, in order to adjust the allocation of waste (sawdust) generated by the Timber Industry, using as research material, waste timber in the region, with the goal of making plates, blocks, solid bricks and pieces, where they could be used as sealing masonry. The influence of the addition of sawdust in total replacement of mineral fine aggregate (sand) in the manufacture of experimental specimens. We assessed aspects such as physical and mechanical characteristics of the composite. Physical properties in the composite cement and sawdust were: bulk density, water absorption and particle size voids. And the mechanical properties were determined by testing the resistance to axial compression. The tests were performed on the regulation in force for the various types of items produced. So the research has great influence on the environmental issue, since it is the use of the industrialization of waste wood. So the end result of this study was satisfactory, showing that this material can be incorporated as a constructive element having the minimum required by standards specific to each type of component manufactured. This study is of important ways, it contributes to the scientific and technological advancement

of the country, which tends to become less dependent on external knowledge and even if it will contribute to the development of a product that is highly necessary to the future, and may well also encourage job creation and income, as well as work with any programs aimed at sustainable Brazilian wood.

Keywords: sawdust, cement matrix, construction.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, há uma preocupação muito grande com o meio ambiente. As pessoas estão preocupadas em alcançar um meio sustentável para obter uma melhor qualidade de vida para si e para o futuro de seus filhos. A reciclagem de resíduos industriais na indústria da construção civil é uma opção viável, pois, esse segmento consome grandes volumes de matérias primas e se distribui em todas as regiões do país. Os benefícios gerais da reciclagem já foram muito discutidos, como a preservação e o prolongamento da vida útil de recursos naturais, e a lei 9605 de 12/02/98 referente à NBR ISO 14001 [7], contemplam esses aspectos, pois determina que as empresas geradoras de resíduos devam buscar alternativas de controle da poluição ambiental.

O setor de construção apresenta índices de desperdício significativos, gerando grande volume de resíduos, que ocasionam custos devidos a: remoção e transporte dos rejeitos; compras de materiais para compensar as perdas; consumo excedente de horas-homem, etc. Como nos últimos anos a necessidade de encontrar uma utilização para todo este volume de material inorgânico gerado pelas atividades da construção civil tem se tornado uma necessidade premente, uma vez que as áreas destinadas à disposição de entulho atualmente são raras e caras e a disposição ilegal não só prejudica a gestão de políticas ambientais como a população. A reciclagem de resíduos da indústria de construção, prática que apresenta vantagens ambientais e econômicas, vem recebendo grande impulso no Brasil, com a implantação de recicladoras em municípios médios e grandes. Empresários também se interessam pelo assunto, analisando a possibilidade de realizar recuperação de resíduos de construção, individualmente ou em parcerias com prefeituras. Institutos de pesquisas e universidades estudam o reciclado e seus usos, gerando textos técnicos importantes.

Muitas das espécies fornecedoras de madeira são empregadas na construção civil, fábricas de moveis, indústrias de molduras e indústria automobilística em todo o mundo. Este fato causa uma grande geração de resíduos que, na maioria das vezes, não possuem um aproveitamento adequado, causando poluição no meio ambiente e desperdício de matéria prima. Toneladas de resíduos de madeiras são descartadas ou, quando muito, queimadas em substituição ao carvão.

Apesar de muitos anos de interesse pelo assunto, ainda ha muitas questões a serem compreendidas. Com o intuito de esclarecer algumas dessas dúvidas, é que está pesquisa tem como base a avaliação do efeito de compósito de madeira aliado a matriz cimenticia, tendo como um dos objetivos, avaliar suas funções e como se comportarão em relação a resistência. O pó de serra e o que se conhece popularmente por serragem. Para ser usado na produção de argamassa ele sofre um peneiramento, para que cada pequeno resíduo de madeira fique do tamanho de um grão da areia utilizada nos processos convencionais.

Usar serragem em substituição a areia na produção de argamassa, a principio, parece algo desnecessário, mas analisando com base em regras normativas, o resultado pode ser surpreendente e, sobretudo, economicamente viável. Este material pode ganhar uma função bem mais nobre, fornecendo insumos destinados a produção de outros materiais.

Este trabalho analisou o estudo sobre o efeito da razão cimento/madeira adequando a destinação de resíduos de madeira (pó de serra), utilizando como material de pesquisa, resíduos de madeireiras da região, com o objetivo de confeccionar placas, blocos, peças e tijolos maciços, os quais poderão ser utilizados como elemento de vedação em alvenarias com ou sem função estrutural. É estudada a influência da adição de pó de serra em substituição total ao agregado miúdo mineral na fabricação de corpos de prova. Foram avaliados aspectos como as características físicas e mecânicas do compósito. As propriedades físicas avaliadas no compósito cimento e pó de serra foram: a massa específica absorção de água, índice de vazios e granulometria. E as propriedades mecânicas avaliadas foram determinadas por meio de ensaios de resistência a compressão axial. Os ensaios foram realizados tendo como base a normalização. De modo que a pesquisa tem grande influência na questão ambiental, uma vez que se trata da utilização de resíduos de madeira resultante da sua industrialização.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Atualmente, pode-se afirmar que esta havendo uma grande preocupação quanto ao destino final da sobra dos processos industriais. Dentro de um conceito ecológico, vem aumentando a busca por alternativas para reciclagem desses materiais. No caso da madeira, uma das tendências observadas é a possibilidade do uso dos resíduos como fonte de matéria prima para novos produtos.

A capacidade de gerar produtos com características e propriedades específicas, utilizando-se de material reciclado, já é uma realidade. Assim sendo, os resíduos passam a ser motivo de estudo em busca de sua utilização em produtos industriais. O emprego de argamassas com compósito cimento e pó de madeira justifica-se não só pelo esgotamento das jazidas de areia para a produção de argamassas, mas segundo alguns autores, também, pelas vantagens técnicas das argamassas de cimento-madeira como:

1. Sua ótima capacidade de isolamento térmico e acústico;
2. Diversidade de moldagem;
3. Possibilidade de dosagem racional para alcance de resistências especificadas em projeto com grande precisão e baixa variabilidade;
4. Disponibilidade de matérias-primas em praticamente todos os locais;
5. Facilidade na produção.

Outra justificativa pelo interesse ao uso de resíduos de madeira no estudo deve-se ao fato de que, como o pó de serra da maioria das indústrias madeireiras, tem como única opção de uso, sua queima ou descarte final. Sabendo-se que a combustão do pó de serra resulta na retirada de oxigênio da atmosfera, na liberação de vapor de água e do gás carbônico, agravando ainda mais a poluição ambiental, portanto, a utilização do pó de serra como agregado miúdo em argamassas visa também melhorar o conforto ambiental da edificação e dar ao resíduo um destino mais nobre que a combustão.

Fatores que podem afetar o compósito madeira-cimento. De acordo com Rocha (2004) a madeira possui componentes como a hemicelulose, os açúcares, taninos e lignina que afetam a cura e as resistências mecânicas do produto final de compósitos a base de cimento-madeira. Os açúcares da madeira têm efeito retardador de pega, eles formam elementos complexos organometálicos sobre os grãos do cimento retardando a hidratação. A celulose cristalina não reage com o cimento, sendo que as hemiceluloses não cristalinas, solúvel na água ou em meio alcalino e os açúcares reagem com íons metálicos. Os carboidratos existentes na madeira

podem-se depositarem na rede de cristalização e diminuir a cristalinidade e a resistência. Para obter um adequado produto a partir de compósitos de madeira, deve-se submeter o componente ligno-celulosico a um tratamento de lixiviação. Este tratamento consiste na imersão por 1 ou 2 dias para extrair os elementos nocivos a pega.

“Compostos fenólicos, tais como taninos, apresentam também a capacidade de se combinar com os íons metálicos do cimento, o que pode impedir ou limitar as reações de hidratação.” (CARVALHO, 2000, p. 9). Rocha (2004, p. 28) diz que “as reações dos carboidratos abaixam a polimerização da hemicelulose aumentando a solubilidade e formam ácido sacharinico com baixo peso molecular que retarda a hidratação e a pega do cimento.”

Carvalho (2000) relata que algumas reações inibitórias podem-se desenvolver na interface madeira-cimento, ou na matriz, causando o enfraquecimento das ligações químicas e mecânicas entre a madeira e o cimento. Outro fator altamente inibitório a pega do cimento são as madeiras atacadas por insetos xilófagos como os cupins. Os agentes biológicos quando agem sobre a madeira podem causar um efeito inibitório em relação à pega do cimento, ao transformarem açúcares em substâncias menos nocivas ao aglomerante. Não existe incompatibilidade da celulose com o cimento, mas as hemiceluloses solúveis e os açúcares simples, ao se combinarem com íons metálicos, provocam incompatibilidade entre a madeira e o cimento. (CARVALHO, 2000).

Resíduos Sólidos. A norma brasileira NBR 10004 (ABNT, 2004) define os resíduos sólidos como sendo os resíduos no estado sólido e semi-sólido, que resultem de atividades da comunidade de origem: industrial, doméstica hospitalar, comercial, agrícola, e de serviços de varrição. A tabela abaixo apresenta a classificação dos resíduos sólidos seguindo as especificações da norma NBR-10004 (ABNT, 2004):

| Classificação | Definição |
|---------------------------------|--|
| Resíduo classe I Perigosos | São aqueles que apresentam periculosidade ou uma das características: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade. |
| Resíduo classe II - Não-inertes | São aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos classe I ou classe III, nos termos desta norma. Os resíduos classe II pode ter propriedades, tais como: combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água. |
| Resíduo classe III - Inertes | Quaisquer resíduos que, quando amostrados de forma representativa, segundo as normas da ABNT (NBR 10007) – Amostragem de resíduos, e submetidos a um estado estático ou dinâmico com água destilada ou desionizada, a temperatura ambiente, conforme teste de solubilização, segundo norma técnica da ABNT (NBR-10006) – Solubilização de resíduos, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de portabilidade da água, excetuando-se os padrões de aspectos, cor, turbidez e sabor. |

Tabela 1-Classificação dos resíduos sólidos-10004 (ABNT,2004)

Fonte: NBR 10004/2004

Resíduos de madeira. O conceito de resíduo, segundo algumas entidades, é tudo o que se pode agregar valor, gerando uma nova cadeia produtiva, ao contrário de lixo que é todo o resíduo que não possui valor agregado. (IBAMA..., 2007).

Anualmente, o Brasil produz 30 milhões de resíduos vegetais, a maior parte abandonada a céu aberto, sem qualquer utilização, sendo que em 2002, o país exportou US\$1,5 bilhão em madeiras processadas, esta, sendo produzida por 13 mil serrarias e 320 fabricas de compensado de madeira, segundo dados da Abimci. A maior parte da produção das serrarias do Brasil é destinada ao mercado interno, abastecendo indústrias de moveis, de embalagens e na construção civil. (IBAMA..., 2007).

Resíduos (2005) fazem uma estimativa da quantidade de rejeitos de madeira gerados anualmente no Brasil que gira em torno de 60 milhões de toneladas. Por outro lado o que fica evidente e que o reaproveitamento destes resíduos industriais não é motivado devido ao fato da abundância da matéria-prima em algumas regiões.

O reaproveitamento de resíduos possui a vantagem de agregar valor aos produtos florestais, eliminar os resíduos do meio ambiente e dar destinação correta aos resíduos. A utilização de resíduos de madeira para geração de energia já é uma realidade no Brasil, com este procedimento a indústria garante algumas vantagens a si própria e ao meio ambiente, mas quando há uma comparação com combustíveis a base de petróleo ainda apresenta desvantagens.

Segundo Grauer e Kawano (2001) o uso de biomassa para a produção de energia implica em vantagens e desvantagens que serão apresentadas abaixo:

1. Não emite dióxido de enxofre;
2. As cinzas são menos agressivas que as provenientes de combustíveis fósseis;
3. Menor corrosão dos equipamentos (caldeiras, fornos);
4. Menor risco ambiental;
5. Recurso renovável;
6. Emissões não contribuem para o efeito estufa.

Mas também há desvantagens, como as citadas abaixo:

1. Menor poder calorífico;
2. Maior possibilidade de geração de material particulado para a atmosfera. Isto significa maior custo de investimento para a caldeira e os equipamentos para remoção de material particulado;
3. Dificuldades no estoque e armazenamento.

Compósito de cimento-madeira. O desenvolvimento insuficiente de pesquisas sobre este assunto resulta na falta de informações científicas sobre a estrutura, propriedades e comportamento destes compósitos. Estudos recentes no Brasil relacionam a utilização de resíduos de madeira em várias aplicações.

Dantas Filho (2004) escreve:

o resíduo vegetal denominado pó de serra e constituído de material proveniente de fontes renováveis, que sendo utilizado na substituição parcial da areia contribui para um programa específico de reciclagem, diminuindo a demanda de agregado miúdo para a fabricação de concreto e argamassa, tornando estes compostos mais isolantes termicamente, em função da baixa condutividade térmica da madeira.

Dantas Filho (2004) comenta que foi utilizada a abreviação WFRC (*wood fiber reinforced cement*) para indicar os produtos confeccionados de cimento reforçados com fibras, sendo que não se devem confundir partículas com fibras, pois são elementos distintos, sendo as fibras elementos individuais primários, diferentes de “partículas”. Ele explica também que alguns autores definem “partícula” como elementos ligno-celulosicos com os quais é feito chapas de aglomerado. A madeira é utilizada em uma grande variedade de forma. A figura 1 apresenta varias formas de utilização da madeira.

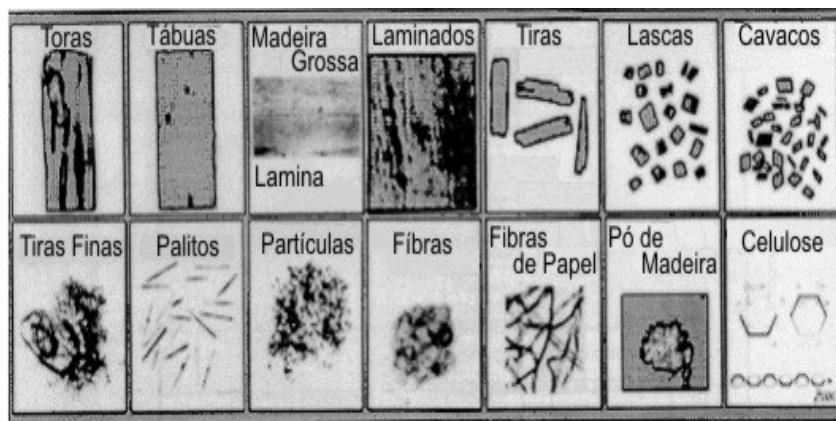


Figura 1 – Elementos básicos da madeira.

De acordo com Wander (2001) existem três tipos distintos para classificar os resíduos de madeira, tais como:

- **serragem:** a serragem é um resíduo originado da operação de serras, podendo ser seca ou úmida podendo ser encontrada em vários tipos de indústrias;
- **cepilho:** este resíduo também é conhecido como maravalha, e gerado pelas plainas nas instalações de serraria/beneficiamento e beneficiadora, sendo que estas indústrias adquirirem a madeira já transformada e a processam em componentes para moveis, esquadrias, pisos e forros, estes resíduo encontra-se exclusivamente no estado seco;
- **lenha:** são os resíduos de maiores dimensões, gerados em todos os tipos de indústrias, composto por costaneiras, aparas, refilos, casca e outros.

Importância da presença da madeira na construção civil. De acordo com Matoski (2005) as construções que são constituídas por madeira geram um processo construtivo bastante significativo para um desenvolvimento ecológico, pois a madeira proporciona um baixo consumo de energia resultando em baixa quantidade de emissão de carbono em forma de CO₂. Esta característica da madeira assume maior importância nos tempos de hoje, pois a preocupação com o aumento da concentração de dióxido de carbono na atmosfera que contribui com o aquecimento global é muito grande. Portanto, é claro que uma maior utilização da madeira como elemento construtivo, colabora com a redução das emissões.

A maior concentração de carbono armazenado está praticamente somente na madeira e em seus produtos, ela contém o carbono até que seja queimada ou sofra a biodeterioração, então é a melhor solução em longo prazo. Alguns produtos também contêm o carbono, mas em quantidades insignificantes como é o caso do aço. No entanto as florestas capturam o carbono fazendo um balanceamento dessa situação. O dióxido de carbono é emitido na atmosfera por diversos materiais devido às alterações químicas que ocorrem no momento da fabricação. O

material que mais emite carbono na atmosfera no momento de sua fabricação é o cimento. O coeficiente de emissão de carbono de cada tipo de material depende da fonte de energia utilizada para sua fabricação. A indústria está buscando o desenvolvimento de novos produtos com qualidade, melhorando a qualidade dos existentes e, no caso da madeira, o desenvolvimento ocorre através da combinação da madeira com outros materiais. (MATOSKI, 2005).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Serão apresentados as características dos materiais utilizados, e os procedimentos tomados para a realização dos ensaios. Foi realizado moldagem de corpos de prova cilíndricos com o intuito de caracterizar o comportamento dos componentes do compósito cimento-madeira. As propriedades foram analisadas através de ensaios de granulometria, massa específica absorção de água, índice de vazios, e resistência a compressão.

Metodologia. A metodologia utilizada para o cumprimento dos objetivos propostos por esta pesquisa foi baseada nos tópicos representados abaixo.

Planejamento de pesquisa. Verificamos todo o material necessário e sua disponibilidade para elaboração deste trabalho, desde livros, teses, material teórico, equipamentos e sites. Planejamos um roteiro das etapas necessárias para o desenvolvimento da pesquisa colocando em uma seqüência preparatória para obtenção dos resultados.

Levantamento bibliográfico. Nesta etapa foram levantados todos os tipos de livros e documentos (teses e dissertações) que pudessem ser utilizados para elaboração do trabalho. Os livros utilizados foram sobre Madeiras de um modo geral, todos adquiridos através das seguintes universidades: UFMT, UNIC e IFMT, e as teses e dissertações foram adquiridas em meio eletrônico e por outras universidades. Os temas procurados foram sobre as inúmeras utilidades dos resíduos de madeira na construção civil; utilizações de resíduos de madeira, mais precisamente pó de serra em argamassas de revestimento e assentamento de paredes e tetos, onde foi constatada uma grande escassez de referencias em relação ao tema desta pesquisa.

Coleta de amostras. Foram coletadas amostras de resíduos de madeira da espécie de várias espécies, provenientes do processo de industrialização da madeira. Estes resíduos ficam armazenados em locais separados, não havendo contaminação por demais resíduos. Para a coleta das amostras foi retirada uma quantidade de resíduos considerada suficiente para o inicio dos ensaios.

Classificação das amostras. No laboratório, foi realizada, a classificação e secagem das amostras coletadas, tendo como propósito visualizar o tipo de material bem como sua granulometria. Após isso, as amostras foram acondicionados em sacos plásticos e guardados no laboratório de concreto do DACC (IFMT), para dar inicio aos ensaios.

Ensaios em laboratório. Após a coleta e a classificação foram determinados os tipos de ensaios que possibilitariam um resultado mais preciso, pois a determinação correta do ensaio torna muito mais fácil a integração de dados. Os ensaios realizados foram apresentados e analisados através de gráficos e tabelas.

Materiais. Os materiais utilizados para a confecção dos corpos de prova cilíndricos foram o pó de serra (serragem de madeira), o cimento Portland (CP II E-32), e água desionizada.

Pó de serra. A serragem utilizada no estudo foi obtida das madeiras e marcenarias da região metropolitana de Cuiabá, não foi feita escolha por determinado tipo de madeira, foi recolhido

amostra aleatoriamente, sendo uma mistura de várias espécies vegetais. Apos a coleta, as amostras de serragem foram levadas ao laboratório de concreto do Departamento da Área da Construção Civil, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso.

Cimento Portland. O cimento pode ser considerado como todo material com propriedades adesivas e coesivas capaz de unir fragmentos de minerais entre si de modo a formar um material compacto. Tem a propriedade de reagir com a água transformando-se inicialmente numa massa plástica, moldável, que endurece com o tempo, adquirindo altas resistências. No caso desta pesquisa foi utilizado o Cimento CP II E – 32. Com a seguinte especificação: CP II E-32 - Cimento Portland composto com escória (com adição de escória granulada de alto-forno) - Composição intermediária entre o cimento portland comum e o cimento portland com adições (alto-forno e pozolânico). Este cimento combina com bons resultados o baixo calor de hidratação com o aumento de resistência do Cimento Portland Comum. Recomendado para estruturas que exijam um desprendimento de calor moderadamente lento ou que possam ser atacadas por sulfatos.

MÉTODOS. Abaixo, serão apresentados os métodos de ensaios realizados no Laboratório de Concreto do DACC (IFMT), levando em consideração as características físicas dos materiais, sendo que, a serragem tem influencia na massa do produto por unidade de volume, e a resistência mecânica e de responsabilidade da massa cimento.

Tratamento da serragem: A serragem de madeira foi submetida ao processo de secagem à dois processos, primeiramente ao sol, e posteriormente à estufa em uma temperatura ± de 150°C por um período de 24hs, utilizando o material passante na peneira 2,4 mm.

Ensaio de granulometria: Para a realização da pesquisa considerou-se a serragem das madeiras como o agregado miúdo. Na realização dos ensaios, procurou-se obedecer às normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas, portanto as curvas granulométricas e o limite granulométrico foram determinados de acordo com a NBR NM 248/03. Apos a preparação das amostras, encaixaram-se as peneiras, de modo a formar um único conjunto de peneiras, com abertura de malhas em ordem crescente da base para o topo, provendo de um fundo de peneiras para o conjunto. Colocou-se uma espessa camada da amostra sobre a peneira superior do conjunto, destacando e agitando manualmente a peneira superior do conjunto (com tampa e fundo falso encaixado) em movimentos alternados ate que, após 1 min. de agitação continua, a massa de material passante pela peneira fosse inferior a 1% da massa do material retido. Atendeu-se o mesmo procedimento em todas as peneiras do conjunto. Removeu-se o material retido na peneira para uma bandeja identificada, escovando a tela em ambos os lados para limpar a peneira. O material removido pelo lado interno e considerado como retido e o desprendido na parte inferior como passante. Determinou-se a massa total de material retido em cada uma das peneiras e no fundo do conjunto.

Ensaio de absorção de água e massa específica: Este ensaio foi realizado com objetivo de determinar a absorção de água por imersão (AAI) das argamassas. Foram utilizados três corpos-de-prova cilíndricos, com 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura, onde o valor é obtido conforme a equação abaixo, que corresponde a NBR 9778.

$$\frac{\text{Msat.} - \text{Ms}}{\text{Ms}} \times 100$$

(1)

Ms

Onde:

AAI = absorção de água por imersão

Ms = massa do corpo-de-prova seco em estufa à temperatura de 105°C por 72 horas.

Msat = massa do corpo-de-prova saturado em água durante 72 horas.

Posteriormente, é determinado o índice de vazios e massa específica amostra seca e amostra saturada.

Ensaio de capilaridade: Este ensaio foi realizado com objetivo de determinar a absorção de água por capilaridade (C) das argamassas. Foram utilizados dois corpos-de-prova cilíndricos, com 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura, onde o valor é obtido conforme a equação abaixo, que corresponde a NBR 9779.

$$C = \frac{A - B}{S} \quad (2)$$

Onde:

C = absorção de água por capilaridade, em g/cm².

A = massa do corpo-de-prova que permanece com uma das faces em contato com a água durante um período de tempo especificado.

B = massa do corpo-de-prova seco, assim que este atingir a temperatura de 23°C.

S = área da secção transversal, em cm².

Constituição das misturas. A massa foi misturada em batedeira industrial, com capacidade nominal de 5l a uma temperatura de 28°C ± 2°C e umidade relativa de 62% (ambiente do laboratório), por um período de 10 minutos. Logo após a massa foi despejada em uma bandeja para a moldagem dos corpos de prova. A introdução dos materiais na batedeira observou a seguinte ordem: agregado miúdo (pó de serra), cimento e posteriormente água. Foram moldados 80 (oitenta) corpos-de-prova cilíndricos, e 10 (dez) tijolos maciços, para verificação da resistência à compressão, absorção de água por imersão, absorção por capilaridade, massa específica no estado endurecido. Os corpos de prova possuem dimensões de 50 mm de diâmetro por 100 mm de altura, conforme a NBR 7215. Os corpos-de-prova e os tijolos foram curados ao ar, a uma temperatura de 30 °C ± 3°C, umidade relativa ± 72%. Foi acrescentada a água da mistura uma porcentagem de 20 ml de CaCl₂, utilizado como agente acelerador de pega, e inibidor da lignina e açucares do compósito vegetal.

Determinação da Resistência à Compressão Axial. Este ensaio foi realizado conforme a NBR 13281/05 utilizando como parâmetro as argamassas de revestimento de paredes e tetos ou assentamento de paredes. Os valores da resistência a compressão para cada corpo-de-prova, expresso em Mpa, foram obtidos multiplicando a carga máxima observada no ensaio, pela constante do anel dinamométrico e dividido pela área do corpo de prova conforme estabelece a norma técnica NBR 13279/05.

4. RESULTADOS

Ensaio de granulometria; Ensaio de granulometria do pó de serra; utilizando 100 gramas do pó de serra seco em estufa. Onde o resultado obtido foi o seguinte.

| Malha | Retido | Passante |
|-------|---------|----------|
| 2,4 | 1,53 g | 98,5% |
| 2,0 | 8,1 g | 90,4% |
| 1,2 | 10,60 g | 79,8% |
| 0,6 | 40,13 g | 59,6% |
| 0,3 | 24,15 g | 15,85% |
| 0,15 | 12,82 g | 8,78% |
| Fundo | 3,43 g | 9,67% |

Tabela 2 – Composição granulométrica do pó de serra.

DMC → 2,4 mm.

Ensaio de absorção de água. De acordo com a NBR 9778/87, se obteve o seguinte resultado do ensaio de absorção de água. Bem como massa específica. Este ensaio foi realizado tendo como base o traço 3/1, utilização de três corpos de prova aos 14º dia de cura.

Foram obtidos os seguintes resultados;

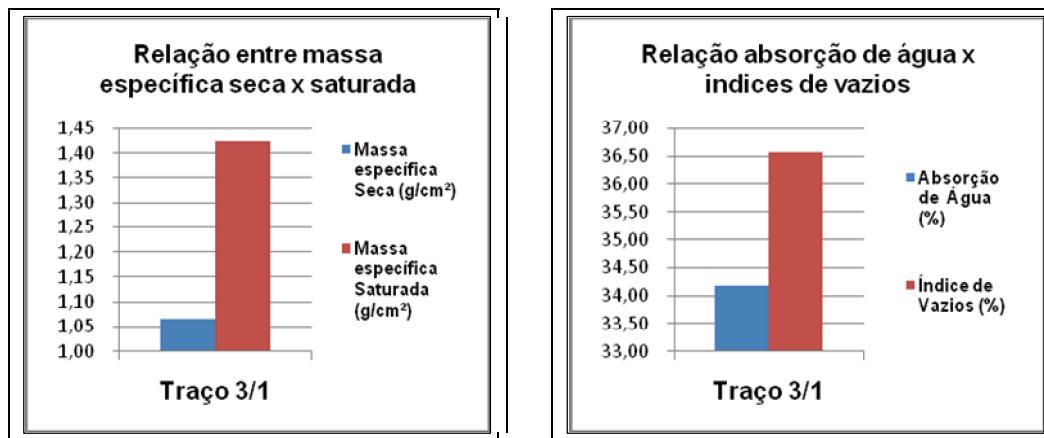


Figura 2 – Relações de: absorção de água x índice de vazios e massas específicas.

Ensaio de capilaridade. De acordo com a NBR 9779/95, se obteve o seguinte resultado do ensaio de absorção de água por capilaridade. Este ensaio foi realizado tendo como base o traço 3/1 com as seguintes idades: 7/14º e 24º dias, utilizando três corpos de prova, e fazendo a média dos valores, sendo obtidos os seguintes resultados;

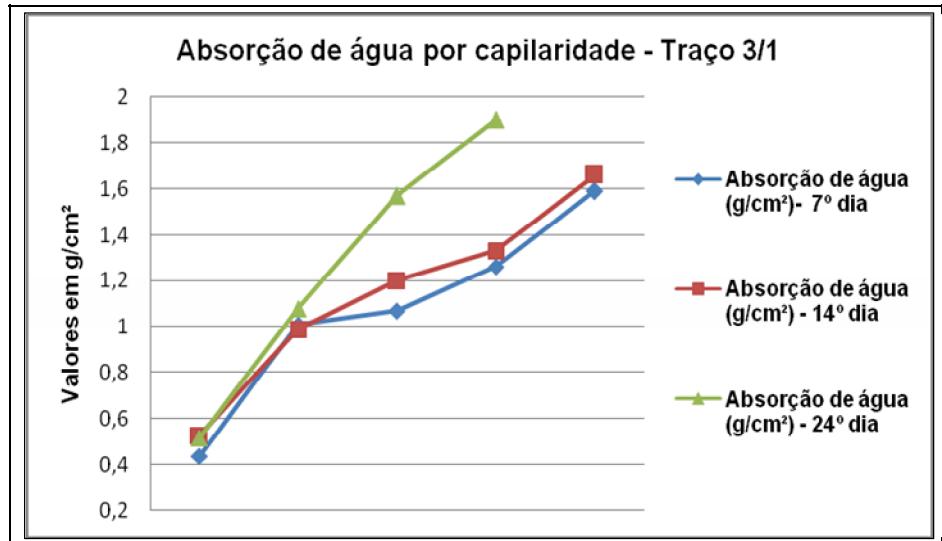


Figura 3 – absorção de água por capilaridade.

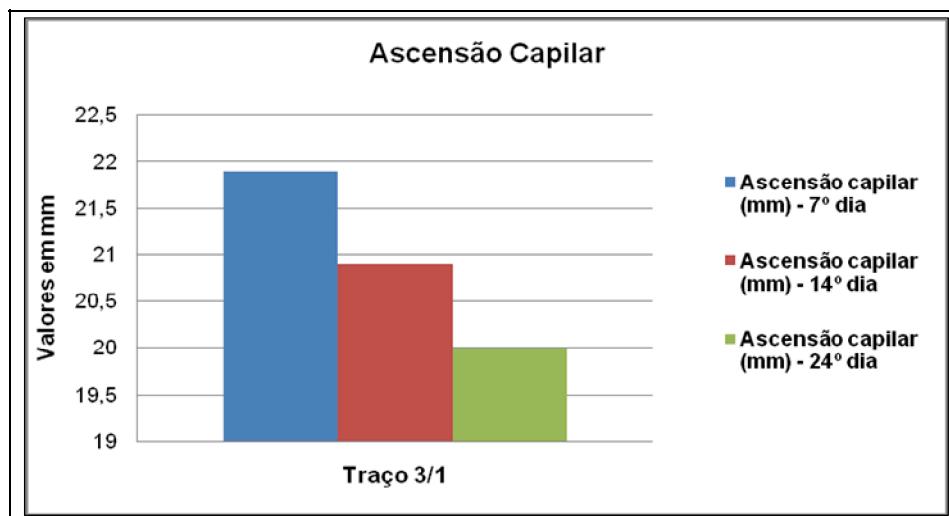


Figura 4 – ascensão de água por capilaridade ao final do ensaio.

Ensaio de resistência a compressão axial. Utilizando a NBR 13281/05 como parâmetro de medida, Este ensaio foi realizado tendo como base os traços: 2/1 e 3/1 com as seguintes idades: 7º/14º e 24º dias, utilizando quatro corpos de prova, e fazendo a média dos valores, sendo obtidos os seguintes resultados;

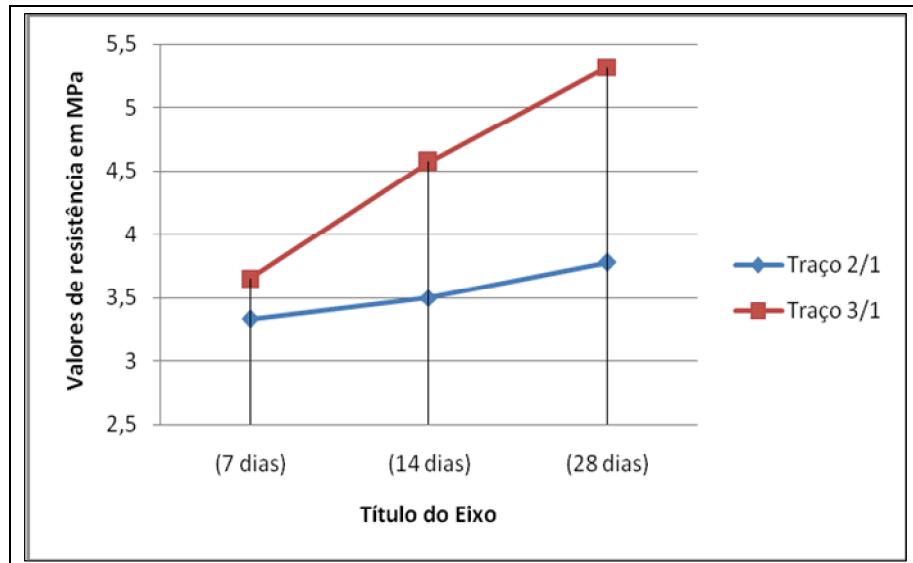


Figura 5 – Resistência a compressão axial em MPa.

A Tabela apresenta os resultados do ensaio de resistência a compressão axial de tijolos do material pesquisado, utilizando traço 2/1, foram ensaiados três tijolos, nas idades de: 7 e 14 dias, fazendo uma média aritmética dos resultados.

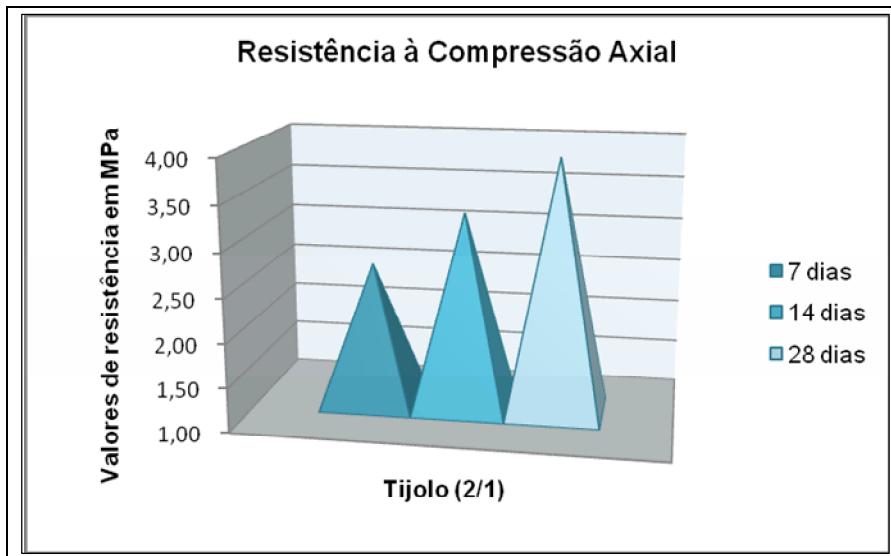


Figura 6 – Resistência à compressão axial dos tijolos produzidos, em MPa.

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Comparação de Resistência à Compressão. Baseando na NBR 13281/05, tendo como base a tabela que classifica as argamassas. O material em estudo fica estipulado entre as classes P1 e P3, apesar de que o objetivo principal é de observar o efeito cimento/madeira com esse produto da nossa região. Através dos resultados analisados, pode-se verificar certa variação de um corpo de prova para outro, isso se deve ao fato do elevado A/C da mistura. Com base nos prosseguimentos desta pesquisa, em novos ensaios realizados com baixo valor A/C, estamos obtendo um aumento na resistência, sem ter interferido na composição de massas do traço,

somente no fator A/C, outro fator que influenciará no aumento da resistência mecânica deste compósito, será um estudo de composição de traços, adicionando determinadas porcentagens de finos à mistura. Pode-se observar que mesmo aumentando a quantidade de cimento na mistura, a resistência teve pouca variação na resistência a compressão axial, cabendo aí, uma avaliação mais aprofundada desse efeito. Quanto ao tijolo obtido, este apresentou excelente desempenho, tendo resistências superiores aos convencionais, bem como satisfatórios em relação ao tijolo maciço de solo cimento produzido na região.

Comparação de absorção de água, massa específica e granulometria. Em relação ao ensaio de absorção de água, tanto o método por imersão quanto o de capilaridade, os resultados obtidos foram satisfatórios, mesmo apresentando uma absorção de água pouco acima do convencional, esse fato é irrelevante, uma vez que se trata de material vegetal, o qual absorve grandes quantidades de água, e sendo um dos objetivos a moldagem de tijolos sem função estrutural, os mesmos serão recobertos por argamassa de revestimento, anulando essa absorção. Um fato bastante interessante nesta pesquisa, foi o ensaio de capilaridade, devido a utilização de CaCl_2 como agente acelerador de pega e inibidor da lignina do compósito vegetal, seus resultados foram muitos satisfatórios, ficando bem abaixo dos experimentos com materiais convencionais, o fenômeno de ascensão capilar foi retardado, devido a mineralização do compósito vegetal, podendo esse mesmo material, depois de um estudo de traço, vir a ser utilizado em obras de fundação. Quanto ao índice de vazios, o material demonstrou um elevado número de vazios na sua estrutura, fato que pode ser amenizado, por meio de empacotamento do agregado vegetal com adição de maiores porcentagens de finos. O fato de ter elevado índice de vazios, auxilia no conforto térmico do ambiente e na leveza do elemento o qual foi moldado, chegando a ser 60% mais leve que os elementos moldados com material convencional. Quanto à massa específica, o material tem uma baixa densidade, fato que auxilia na absorção de tração por compressão, esse fato de baixa densidade propõe ao produto a moldagem de vários tipos de elementos construtivos, tais como: blocos vazados, telhas, tijolos maciços, placas, entre outros, podendo ser aplicada uma variação de compressão no momento da moldagem. Já em relação à granulometria do material, não se pode afirmar que o mesmo possui a mesma distribuição em todo o conteúdo da amostra, devido que está pesquisa, trabalhou com rejeitos de diversas espécies vegetais, porém com essa amostra recolhida, pode-se observar uma boa distribuição granulométrica da amostra.

6. CONCLUSÃO

A falta de moradia e o alto custo da mesma é fator que deve ser levado em conta durante uma pesquisa, pois se deve devolver a sociedade qualidade de vida, sendo um dos seus agentes o custo. Entende-se que qualquer iniciativa que tenha por objetivo a utilização de concretos e argamassas com agregados reciclados é justificada, uma vez que estes podem contribuir para a preservação do meio ambiente e podem apresentar até o mesmo desempenho final com um custo equivalente ou inferior ao concreto e argamassa de referência.

A utilização dos resíduos de madeira traz grandes benefícios ao meio ambiente, pois através do emprego do pó de serra, promove-se a substituição de outras matérias-primas não renováveis. A madeira é um material que pode ser reposto pela própria natureza e, por serem biodegradáveis, seus resíduos podem ser aproveitados.

Com esta pesquisa foi possível concluir que a utilização do pó de serra em substituição ao agregado miúdo mineral, foi bem sucedida, a razão cimento/madeira, uma das nossas maiores preocupações, foi solucionada mediante a adição de produto químico a mistura do material, as

características observadas, chegam bem próximas à dos materiais convencionais. Podendo afirmar a viabilidade da confecção de bloco, bloquetes, tijolos maciço, telhas entre outros elementos construtivos.

O aproveitamento dos resíduos produzidos pelas indústrias madeireiras e a transformação das sobras de madeira em partículas de dimensões adequadas são também considerações valiosas a serem feitas face aos resultados obtidos.

A análise dos resultados permite concluir que a utilização do pó de serra como agregado miúdo na confecção da argamassa com substituição do agregado miúdo mineral provocou uma diminuição da resistência a compressão axial em relação à argamassa de referência, mas pode-se constatar que esses resultados estão dentro dos padrões exigidos pela normatização.

Qualquer novo material de construção deve atender a determinados requisitos mínimos, ou seja, deve ter a facilidade de serem produzidos em série; deve ser econômico; deve atender as necessidades culturais e econômicas da população a qual se destina e a satisfação de quem usa o material.

REFERÊNCIAS

AGOPYAN, Vahan. **Materiais reforçados com fibras para a construção civil nos países em desenvolvimento:** o uso de fibras vegetais. 1991. 204f. Tese (Livre Docência)-Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991.

AMBIENTE BRASIL. **Consumo industrial de madeira no Brasil.** Disponível em:<<http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=/agropecuario/index.html&conteudo=/florestal/consumo.html#a>>. Acesso em: 20 dez. 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215:** cimento Portland: determinação da resistência a compressão, 1996. 8p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004:** resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro, 2004. 71p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13279:** argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005. 9p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13281:** argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: requisitos. Rio de Janeiro, 2005. 7p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778:** Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por imersão – Índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, ABNT.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9779:** Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, 2005. 7p.

CARVALHO, Jose Vitorio de. **Aproveitamento de resíduos particulados da madeira de Eucalipto Grandis na fabricação de compósitos a base de cimento PORTLAND.** 2000. 82f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

DANTAS FILHO, Flavio Pedrosa. **Contribuição ao estudo para aplicação do pó de serra da madeira em elementos de alvenaria de concreto não estrutural.** 2004. 117 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

GRAUER, András; KAWANO, Mauricy. **Uso de Biomassa para a Produção de Energia.**

Disponível em: <<http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=/energia/index>>

html&conteúdo=/energia/biomassa_vant.html>. Acesso em: 12 set. 2010.

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

Resíduos: Fonte de energia. **Referência:** a revista do setor madeireiro, Curitiba, v. 7, n. 47, p. 28-52, ago. 2005.

ROCHA, Janaíde Cavalcante (Coord.). **Relatório final:** aproveitamento dos resíduos de madeira remadeira. Florianópolis: UFSC, 2004.

WANDER, Paulo Roberto. **Utilização de resíduos de madeira e lenha como alternativas de energias renováveis para o desenvolvimento sustentável da região nordeste do estado do Rio Grande do Sul**. 2001, 108f. Tese (Doutorado)-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.