



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

ANA BETÂNIA SILVA MOREIRA

**INFLUÊNCIA DA APLICAÇÃO DO RESÍDUO DE MADEIRA
NA COMPOSIÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO PARA
ALVENARIA DE VEDAÇÃO**

**Belém – Pa
Dezembro/2008**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

ANA BETÂNIA SILVA MOREIRA

**INFLUÊNCIA DA APLICAÇÃO DO RESÍDUO DE MADEIRA
NA COMPOSIÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO PARA
ALVENARIA DE VEDAÇÃO**

Dissertação de Mestrado apresentada à Comissão de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará, como parte do requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil na área de concentração em Construção Civil.

Orientador: Alcebíades Negrão Macedo
Co-Orientador: Paulo Sérgio Lima Souza

**Belém – Pa
Dezembro/2008**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

ANA BETÂNIA SILVA MOREIRA

**INFLUÊNCIA DA APLICAÇÃO DO RESÍDUO DE MADEIRA
NA COMPOSIÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO PARA
ALVENARIA DE VEDAÇÃO**

Aprovado em.....dede.....

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Alcebíades Negrão Macêdo
Presidente e orientador/Universidade Federal do Pará

Prof. Dr. Paulo Sérgio Lima Souza
Co-orientador/Universidade Federal do Pará

Prof.Dr. Bernardo Borges Pompeu Neto
Membro/Universidade Federal do Pará

Prof. Dr. Osmar José Romeiro de Aguiar
Membro/ Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias (EMBRAPA)-Pará

FICHA CATALOGRÁFICA

Moreira, Ana Betânia Silva.

Influência da aplicação do resíduo de madeira na composição de blocos de concreto para alvenaria de vedação. / Ana Betânia Silva Moreira. – Belém, Pará: 2008.

Orientador: Prof. Dr. Alcebíades Negrão Macêdo
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará.

1. Cimento-madeira. 2. Resíduos. 3. Resistência à compressão.
I. Macêdo, Alcebíades Negrão. II. Universidade Federal do Pará.
III. Influência da aplicação do resíduo de madeira na composição de blocos de concreto para alvenaria de vedação

Não vos iludais, de Deus não se zomba; o que alguém tiver semeado é isso que vai colher.

Gálatas 6,7.

AGRADECIMENTOS

Não poderia deixar de demonstrar minha mais profunda gratidão aos que estiveram junto comigo durante este trabalho, que considero tão importante para minha formação profissional e para que meus sonhos se concretizem.

Antes de tudo, não tenho como expressar meus sentimentos de gratidão a Deus, pois foi Ele que me deu sustento em todos os momentos difíceis de minha vida, não permitindo que eu desistisse. Agradeço também à Nossa Senhora de Nazaré que como uma mãe nunca me abandonou.

A minha mãe, que é uma fortaleza e sempre esteve ao meu lado em todos os momentos.

A minha razão de vida, Fábio Augusto, que é o sentido de todo meu esforço.

Ao meu marido, Eng^o Fábio Moreira, que em todos os momentos de me apoiou, sem o qual não seria possível chegar ao fim dessa jornada.

A meu orientador, Prof. Dr. Alcebiades Negrão Macêdo por sua dedicação e paciência, pelo apoio e contribuição técnica dado ao trabalho. Agradeço profundamente por ter acreditado em meu projeto.

Agradeço ao meu co-orientador, Prof. Dr. Paulo Sérgio Lima Souza, por sua paciência na revisão da pesquisa, além das construtivas críticas que tão bem fizeram ao desenvolvimento do trabalho. A você professor minha mais honesta admiração, agradeço muito seus ensinamentos que com certeza vão me acompanhar por toda minha vida.

Aos técnicos do Laboratório de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará – Maneca e Natalino – sempre ajudando na prática do desenvolvimento desta pesquisa.

Ao Eng^o Eri Sobrinho, que não mediu esforços para me acompanhar na elaboração do trabalho, meus sinceros agradecimentos.

Ao Eng^o Creso Demétrio e Eng^o Creso Antônio que permitiram que a moldagem dos blocos fosse realizada nas dependências da empresa CIPAC, em Ananindeua-PA, disponibilizando o equipamento e a mão-de-obra necessária para a produção dos blocos.

À empresa Construfox Construções e Incorporações Ltda., sempre disposta a trabalhar no sentido de pesquisar e estudar novos rumos tecnológicos

para a evolução da construção no estado do Pará. Meus agradecimentos por ter apoiado a elaboração desta pesquisa.

Aos professores e amigos, certamente eternos, do Mestrado em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará.

RESUMO

Moreira, Ana Betânia Silva. Influência da Aplicação do Resíduo de Madeira na Composição de Blocos de Concreto para Alvenaria de Vedação. Belém, Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, 2008. 114p. Dissertação de Mestrado.

A industrialização da madeira na região amazônica gera grande quantidade de resíduos. Atualmente estes resíduos são lançados diretamente no meio ambiente, sendo queimados na maioria das vezes. Esta pesquisa tem como objetivo principal evitar o descarte deste material e aproveitá-lo na fabricação de blocos de concreto não estrutural, para serem utilizados como alvenaria de vedação, além de avaliar, por meio de ensaios físicos e mecânicos, a influência deste resíduo na confecção dos blocos. Este estudo avaliou a compatibilidade da espécie nativa da região amazônica do tipo dicotiledônea, Angelim Vermelho (*Dinizia excelsa Ducke*). A escolha da espécie foi feita de acordo com o uso comercial da madeira na região de Belém, ou seja, foi escolhida a espécie de árvore mais utilizada pela indústria madeireira e que conseqüentemente gera maior quantidade de resíduos. Assim, como primeira etapa de pesquisa, fez-se a seleção e caracterização dos materiais. Posteriormente, através de um estudo de dosagem, foi definido o traço piloto, tendo como parâmetro a avaliação da consistência e resistência à compressão axial nos blocos. O estudo de dosagem foi baseado no Método da ABCP (FERREIRA JÚNIOR, 1995). Após definido o traço piloto, fez-se a proporção cimento:madeira, com teores de substituição de 5%, 10% e 15%. Posteriormente, foram realizados os ensaios nos blocos para avaliar a influência da aplicação destes resíduos no compósito de matriz cimentante, fazendo um comparativo desses resultados aos do traço de referência. Nesta fase, foram avaliadas as propriedades quanto à compressão axial, absorção, teor de umidade e peso próprio.

Palavras-Chave: Resíduos, Compósitos, Blocos de Concreto.

ABSTRACT

Moreira, Ana Betânia Silva. Influence of the application of waste wood in the composition of concrete blocks for masonry to seal. Belém, Post-graduate in Civil Engineering, Federal University of Pará, 2008. 114p. Mestrado's dissertation.

The industrialization of wood in the Amazon region generates large amounts of waste. Currently these wastes are released directly into the environment, and burned most of the time. This research has as main goal to prevent the disposal of this material and make use of it in the manufacture of non-structural blocks of concrete to be used as a masonry sealing, and evaluate, by means of physical and mechanical tests, the influence of waste in construction of the blocks. This study evaluated the compatibility of the species native to the Amazon region of the type dicot, Angelim Red (*Dinizia Ducke excelsa*). The choice of species was done according to the commercial use of wood in the region of Bethlehem, namely, was chosen the most species of tree used by the timber industry and that consequently generates greater quantities of waste. Thus, as the first stage of research, was the selection and characterization of materials. Later, through a study of strength, was set to trace pilot, taking as a parameter to assess the consistency and resistance to axial compression in the blocks. The study was based on the strength of Method of ABCP (Ferreira Junior, 1995). Having defined the trait pilot, was the proportion cement: wood, with levels of substitution of 5%, 10% and 15%. Subsequently, the tests were conducted in blocks to assess the impact of the implementation of this waste in the composite cementing the matrix, making a comparison of these results to the trace of reference. At this stage their properties were assessed on the axial compression, absorption, moisture content and weight itself.

Keywords: Waste, Composites, Blocks of Concrete.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	xiii
LISTA DE TABELAS	xvi
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	xviii
1.INTRODUÇÃO	1
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	1
1.2 JUSTIFICATIVA	4
1.3 OBJETIVO GERAL	6
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO	7
2.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	8
2.1 BREVE HISTÓRICO DO APROVEITAMENTO DO RESÍDUO DE MADEIRA	8
2.1.1 Painéis de Madeira – Cimento:Madeira	11
2.1.2 Painéis de Madeira – Aglomerados e MDF	13
a) Aglomerados	14
b) MDF – <i>Médium Density Fiberboard</i>	15
2.1.3 Aplicações Gerais	17
2.2 A MADEIRA	19
2.2.1 Composição química	20
2.2.2 Composição Física	22
2.3 O CIMENTO	23
2.4 COMPÓSITO	26
2.5 BLOCOS DE CONCRETO	33
2.6 MÉTODOS DE DOSAGEM	36
3.MATERIAIS E MÉTODOS	44
3.1 PROGRAMA EXPERIMENTAL	44
3.2 CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAIS	49
a) Cimento	49
b) Madeira	51
c) Areia	53
d) Seixo	54
e) Equipamento	55
3.3 TRATAMENTO DO RESÍDUO DE MADEIRA	57
3.3.1 Alterações no tratamento do resíduo	60
3.4 CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE A CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAIS	61
4.PRODUÇÃO DOS BLOCOS DE REFERÊNCIA	63
a) Características do Concreto	63
b) Dosagem e Moldagem	64
c) Análise dos Resultados	72
5.PRODUÇÃO DOS BLOCOS COM PÓ DE SERRA	73
a) Dosagem e Moldagem	73

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES	75
a) Resistência à Compressão	75
b) Absorção e Teor de Umidade	81
c) Peso Próprio	91
7. CONCLUSÕES	93
7.1 TRATAMENTO ADOTADO	93
7.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	94
7.3 ABSORÇÃO E TEOR DE UMIDADE	96
7.4 PESO PRÓPRIO	97
7.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	97
7.6 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	97
8. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	99
ANEXOS	105

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Estrutura da madeira	22
Figura 02 – Fluxograma do programa experimental	44
Figura 03 – Máquina de blocos MBM-3	55
Figura 04 – Seqüência de funcionamento da vibro-prensa	56
Figura 05 – Secagem em estufa	58
Figura 06 – Imersão da serragem	59
Figura 07 – Extrativos liberados	59
Figura 08 – Lavagem do resíduo em água corrente	59
Figura 09 – Adensamento do material	65
Figura 10 – Sarrafeamento da mistura seca	65
Figura 11 – Pesagem da mistura-massa unitária	65
Figura 12 – Ponto de Pelota	67
Figura 13 – Ponto de Pelota	67
Figura 14 – Ponto de Pelota	68
Figura 15 – Não formação de Pelotas	68
Figura 16 – Segregação da Mistura	68
Figura 17 – Textura Irregular	69
Figura 18 – Quebra Após Compactação	69
Figura 19 – Homogeneidade e Formação de pelotas	70
Figura 20 – Consistência Seca	70
Figura 21 – Capeamento dos Blocos	71
Figura 22 – Ruptura dos Blocos	72
Figura 23 – Bloco com 5% de Pó de Serra	74
Figura 24 – Bloco com 5% de Pó de Serra	74
Figura 25 – Irregularidades na Borda Superior	77
Figura 26 – Irregularidades na borda superior	78
Figura 27 – Fissuras	78
Detalhe 01 – Ampliação da Figura 25	77
Detalhe 02 – Ampliação da Figura 27	78
Figura 28 – Pesagem do Bloco – M3	85
Figura 29 – Bloco na Estufa – 24Hs	85
Figura 30 – Pesagem do Bloco Após 24Hs - Massa Seca (M1)	86
Figura 31 – Imersão em Água – 24Hs - Massa Saturada (M2)	86
Figura 32 – Retirada do Excesso de Água	86
Figura 33 – Massa Saturada (M2)	86

Gráfico 01 – Resistência aos 28 dias (Souza, 2006)	61
Gráfico 02 – Proporção da Misturas dos Agregados em Função da Compacidade (Sobrinho, 2007)	66
Gráfico 03 – Resistência ao 7º Dia (Sobrinho e Moreira, 2007)	72
Gráfico 04 – Resistência ao 28º Dia (Sobrinho e Moreira, 2007)	72
Gráfico 05 – Análise Individual de Resistência à Compressão	76
Gráfico 06 – Análise Individual de Resistência à Compressão	79
Gráfico 07 – Média das Resistências ao 28º Dia	79
Gráfico 08 – Análise Individual de Resistência à Compressão	80
Gráfico 09 – Análise Individual de Resistência à Compressão	81
Gráfico 10 – Análise da Média da Resistência ao 28º Dia	81
Gráfico 11 – Análise Individual da Absorção	83
Gráfico 12 – Média dos Resultados da Absorção – Bloco T0 e T5	84
Gráfico 13 – Análise Individual do Teor de Umidade	85
Gráfico 14 – Análise Individual da Absorção	87
Gráfico 15 – Média dos Resultados da Absorção – Bloco T0 e T10	87
Gráfico 16 – Análise Individual do Teor de Umidade	88
Gráfico 17 – Análise Individual da Absorção	89
Gráfico 18 – Média dos Resultados da Absorção – Bloco T15	89
Gráfico 19 – Análise Individual do Teor de Umidade	90
Gráfico 20 – Análise da Média de Absorção	90
Gráfico 21 – Análise da Média do Teor de Umidade	90
Gráfico 22 – Análise Individual do Peso Próprio dos Blocos	91
Gráfico 23 – Média de Resultados dos Pesos Próprios – M3	92

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Composição Quantitativa da Madeira	21
Tabela 02 – Principais Compostos Químicos do Clínquer	24
Tabela 03 – Dimensões Nominiais dos Blocos de Vedação – Unid: cm	34
Tabela 04 – Relações Cimento:Agregado	37
Tabela 05 – Traços para Fabricação de Blocos de concreto	39
Tabela 06 – Quantidade de Blocos para Estudo dos Traços de Referência	48
Tabela 07 – Quantidade de Blocos para o Estudo de Teores de Substituição	48
Tabela 08 – Propriedades do Cimento Portland CP V-ARI	50
Tabela 09 – Caracterização do Resíduo – Serragem	51
Tabela 10 – Propriedades Físicas do Angelim Vermelho	52
Tabela 11 – Propriedades Mecânicas do Angelim Vermelho	53
Tabela 12 – Caracterização do Agregado Miúdo – Areia	54
Tabela 13 – Caracterização do Agregado Graúdo – Seixo	55
Tabela 14 – Definição de Traço para Moldagem	67
Tabela 15 – Definição de traço para moldagem	70
Tabela 16 – Definição do Traço de Substituição	73
Tabela 17 – Número de Blocos por traço para cada Ensaio	75
Tabela 18 – Resistência Mecânica à Compressão	75
Tabela 19 – Resistência Mecânica à Compressão	79
Tabela 20 – Resistência Mecânica à Compressão	80
Tabela 21 – Resistência Mecânica à Compressão	80
Tabela 22 – Teor de Umidade dos Blocos de Referência Traço 1:8	82
Tabela 23 – Absorção dos Blocos de Referência Traço 1:8	82
Tabela 24 – Teor de Umidade dos Blocos com 5% de Serragem	83
Tabela 25 – Absorção dos Blocos com 5% de Serragem	83
Tabela 26 – Teor de Umidade dos Blocos com 10% de Serragem	86
Tabela 27 – Absorção dos Blocos com 10% de Serragem	87
Tabela 28 – Teor de Umidade dos Blocos com 15% de Serragem	88
Tabela 29 – Absorção dos Blocos com 15% de Serragem	88
Tabela 30 – Peso Próprio dos Blocos (M_3)	91

LISTA DE ABREVIATURAS

$Al_2(SO_4)_3$ - Sulfato de alumínio;
CP-I- Cimento portland comum;
CP-II-E - Cimento portland composto, tipo II com adição de escória;
CP-II-F - Cimento portland composto, tipo II com adição de filer;
CP-II-Z- Cimento portland composto, tipo II com adição de pozolana;
CP-III - Cimento de alto forno tipo III;
CP-IV- Cimento portland pozolânico;
CP-V-ARI - Cimento portland de alta resistência inicial;
CaCO₃ - Calcário;
SiO₂ - Sílica;
Al₂O₃ - Alumina;
Fe₂O₃ - Óxido de ferro;
CaSO₄ - Sulfato de cálcio;
C₂S - Silicato dicálcico ou belita;
C₃S - Silicato tricálcico ou alita;
C₃A - Aluminato tricálcico;
C₄AF- Ferro aluminato tetracálcico;
C-Cal livre;
CH - Hidróxido de cálcio ou portlandita [Ca (OH)₂];
C-S-H - Silicato de cálcio hidratado;
CP's - Corpos-de-prova;
MPa - Mega pascal;

SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas;
ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland;
AMSLER - Prensa universal para ensaios;
IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente;
LEC - Laboratório de Engenharia Civil da UFPA;
NBR - Norma Brasileira;
UFPA - Universidade Federal do Pará;

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

São utilizados pela indústria da construção civil entre 14 e 50% dos recursos naturais extraídos da terra (JONH, 2000). Partindo desta afirmativa, pode-se concluir que esta indústria assumiu mais uma enorme responsabilidade além da social, a ambiental, visto que quase metade de tudo que é extraído é aplicado na construção. E ainda, se for levado em consideração que alguns desses recursos não são renováveis, como o uso de agregados na produção de concretos e argamassas, esta análise se torna ainda mais agravante.

Neste sentido, a reciclagem é uma alternativa viável, pois através dela é reutilizado o que não está sendo aproveitado. A sociedade em geral tenta reduzir o consumo dos recursos naturais existentes e o meio técnico especializado vêm buscando a elaboração e o desenvolvimento de novos produtos para serem aplicados na construção, cuja produção deve se basear no aproveitamento do que hoje esta sendo descartado.

Esta busca em se elaborar novos produtos, tem sua origem baseada na necessidade e na exigência da sociedade. Isso quer dizer que, a necessidade se faz pela escassez do que hoje está sendo utilizado. E a exigência vem do consumidor, por um produto de melhor qualidade, custo reduzido e estética diferenciada. Assim, essas necessidades e exigências são as responsáveis por tudo o que de novo ou de inovador se faz na construção.

Assim, o meio técnico vê na reciclagem uma maneira positiva de minimizar a quantidade de resíduos gerados e os impactos que estes causam no meio ambiente, como por exemplo, no caso da madeira. No mercado nacional a aplicabilidade da madeira se dá de forma bastante ampla e variada, pois é feita em diferentes indústrias, e essas atividades geram bastantes resíduos, além de serem também poluidoras. Por exemplo, na indústria da construção a aplicação da madeira é bastante usual na confecção de fôrmas para concreto, escoras, pontaletes, peças estruturais, revestimentos de pisos e paredes, esquadrias e forros. Outras indústrias também utilizam a madeira em grande quantidade como a moveleira na fabricação de móveis rústicos e a siderúrgica, que utiliza carvão vegetal como geração de energia, liberando na atmosfera uma grande quantidade CO₂.

Com toda essa variabilidade de aplicação, os resíduos de madeira são gerados em grande quantidade. Assim, é necessária a busca de uma alternativa viável que reutilize este resíduo, evitando que o mesmo seja um agente poluidor.

Seguindo essa linha de pesquisa, a formação de materiais compósitos, onde se aproveitam diversos tipos de resíduos é tema de vários estudos. Esses estudos buscam principalmente novas alternativas para minimizar os danos causados no meio ambiente pelo uso de matéria-prima bruta.

Portanto, o tema desta pesquisa é baseado na produção de um material compósito formado a partir de uma matriz cimentante reforçada pelo resíduo de madeira da região amazônica. Pesquisas já foram elaboradas abrangendo a formação de compósitos com resíduos de madeiras nativas amazônicas, bem como ao tratamento a que este resíduo deve ser submetido antes de se incorporar à massa de concreto. Dentre as quais se podem citar a de Lima (2005) que aborda a influência de três tipos de tratamentos físicos em relação à resistência à compressão, a de Fonseca (2005) que é uma contribuição para estudos que analisam a formação destes compósitos, e a de Souza (2006), que estuda a formação de chapas cimento-madeira. Estes estudos analisam a viabilidade da formação do compósito cimento:madeira. Como os resultados foram satisfatórios para algumas espécies, têm-se então a oportunidade de produção, ou seja, de se formar um produto que tenha como base a mistura do cimento com partículas de madeira sendo utilizado como agregado. Portanto, a avaliação deste material compósito será feita na formação de um produto, o bloco de concreto não estrutural.

Atualmente blocos de concreto são muito utilizados na região sul e sudeste do Brasil para diversos tipos de construção. Este estudo também tem como finalidade difundir a utilização deste. Portanto, além de utilizar um resíduo na sua produção, em substituição ao agregado miúdo, o que é uma alternativa ecologicamente correta, visa-se ampliar a utilização do bloco de concreto na região norte. Os blocos de concreto para alvenaria nada mais são do que elementos pré-moldados de concreto. É importante citar que na maioria das vezes estes blocos são fabricados de maneira empírica, ou seja, poucos são os estudos para se adequar uma dosagem que me forneça um produto de melhor desempenho, e os fabricantes não se interessam em utilizar os estudos disponíveis fabricando o produto quase que de maneira experimental.

Neste sentido este trabalho se propõe a adequar da melhor forma possível os materiais para a formação do compósito cimento-madeira. Esta adequação será feita através de uma dosagem, assim será mais provável que se tenha um produto de melhor qualidade, pois se tem como trabalhar melhor a mistura dos materiais, conferindo-lhe melhor compacidade e consistência.

Considerando a possibilidade e a necessidade de melhor utilização dos resíduos gerados tanto na exploração florestal, bem como no processamento industrial, onde estes ainda são altamente desprezados, busca-se, portanto, uma alternativa viável para se aproveitar este material. Portanto, este estudo contribui no sentido de analisar a viabilidade de utilizar o pó de serra na composição de blocos de concreto, além de também contribuir para estudos futuros que abordem a formação deste tipo de compósito. Acaba-se por aumentar o valor da madeira como agregado, além de buscar uma alternativa para minimizar os depósitos de resíduos, analisando sua viabilidade.

Cabe também a esta pesquisa despertar o meio técnico e acadêmico para a importância da reciclagem de materiais, para que assim possamos garantir que a construção civil tenha sua produção mais adequada à realidade de escassez de certos materiais, ou seja, para que novas construções possam surgir sem agredir o meio ambiente, em busca do desenvolvimento social e sustentável.

1.2 JUSTIFICATIVA

A indústria da construção civil tem um grande potencial para reaproveitamento de resíduos, até porque é uma grande geradora dos mesmos, já que tem índices de perdas bastante elevados. É crescente o número de empreendedores que buscam novas alternativas para melhoria do setor, para diminuir custos e também para melhorar a imagem perante a sociedade.

É muito importante que o meio técnico assuma essa responsabilidade, e que consiga promover meios para que a reciclagem de materiais seja uma realidade, ou seja, o aproveitamento de resíduos ou o reaproveitamento de materiais seja uma alternativa para melhoria do setor, fazendo com que não seja necessário explorar tantos recursos naturais principalmente àqueles que não são renováveis. Isto é indispensável para o crescimento da indústria da construção e não é apenas uma questão de marketing. Observa-se a importância da reciclagem quando é avaliada a situação da grande Belém, capital do estado do Pará, e de sua região metropolitana. Recursos como areia e seixo estão cada vez mais distantes desta região, e isso implica em custos mais elevados, pois se acaba pagando mais pelo seu transporte. Assim, tem-se que buscar novas alternativas que visem à substituição destes agregados por outros tipos de materiais.

Também se destaca alguns índices que reforçam a necessidade de se promover reciclagem e/ou o aproveitamento de resíduos. Estes índices estão ligados diretamente ao consumo de toras de madeira no Estado do Pará que tem aumentado consideravelmente nos últimos anos. “O consumo de toras de madeira chegou a 11.150.000m³ no ano de 2004” (LENTINI et al., apud SOUZA; MACÊDO; POMPEU NETO, 2006, não paginado).

Isso se reflete na quantidade de resíduos gerados já que de acordo com os estudos preliminares do Laboratório de Produtos Florestais do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente, IBAMA – DF, 45% de uma tora que é extraída não é aproveitada, isso quer dizer que quando se retira uma tora de madeira só se utiliza 55% desta, o restante, ou seja, os 45%, são queimados ou depositados diretamente no meio, seja em rio ou em qualquer local a céu aberto (BARROS et al., apud SOUZA, MACÊDO, POMPEU NETO, 2006).

É ainda necessário que os grandes empreendedores estejam conscientes da situação atual, e que invistam nas novas alternativas de produção, o que significa

reduzir as perdas e reutilizar os resíduos. Hoje reciclagem é sinônimo de economia, ou ainda de redução de custos.

Assim, é incontestável a necessidade de reciclagem, evitando a incineração e deposições ilegais destes resíduos no meio ambiente. Portanto, é importante se pesquisar uma alternativa para o aproveitamento deste tipo de resíduo, e com este intuito justifica-se a elaboração deste trabalho. Além disso, a madeira quando comparada a outros recursos naturais leva vantagem, pois é um material renovável pela própria natureza e biodegradável, podendo ter seus resíduos aproveitados, pois não são tóxicos.

Atualmente a sociedade busca novas maneiras para utilizar os recursos naturais de maneira racional, para que o meio ambiente seja preservado. Estudos nesta área são de fundamental importância, pois dão embasamento técnico para que a reciclagem seja uma alternativa viável impedindo atividades poluidoras e de devastação ambiental. Isso é desenvolvimento sustentável, buscar alternativas para que seja retirado da terra apenas o necessário para nossa subsistência, promovendo o desenvolvimento da sociedade e preservando o meio ambiente.

Pode-se afirmar que as fibras vegetais, tais como resíduos de serraria, são utilizadas até hoje como reforço, pois possuem características particulares tais como: disponibilidade de uma matéria-prima renovável e de baixo custo, modificação das propriedades da matriz (após a fissuração), leveza do material e isolamento termo-acústico (BERALDO et al., 2002).

De tal modo, este tipo de pesquisa, pode trazer benefícios ambientais e também econômicos, pois pretende apresentar uma alternativa para o uso deste material.

Se comprovada a eficiência e o bom desempenho do produto que for produzido com o resíduo de madeira, estaremos evitando atividades poluidoras, e isto se traduz em benefício ambiental. Além disso, desenvolvendo um novo produto que seja competitivo no mercado, teremos também benefícios econômicos, pois teremos a reutilização do que antes eram perdas, e essas perdas são sinônimas de custo.

1.3 OBJETIVO GERAL

O trabalho apresenta um estudo para verificar a potencialidade do resíduo de madeira como alternativa para sua reutilização na construção civil. Essa reutilização é a partir de um compósito de matriz cimentante, para formação de blocos de concreto sem função estrutural para alvenaria de vedação.

Assim, o objetivo principal é avaliar a formação deste compósito em blocos de vedação através de ensaios mecânicos, de absorção de água, teor de umidade e peso próprio, além de analisar se houve melhora quanto à essas características quando comparamos os blocos de concreto tradicional (referência) aos confeccionados com o resíduo de madeira.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Criar alternativas para a utilização do resíduo de madeira;
- b) Analisar se existe a viabilidade técnica quanto à substituição de areia pelo resíduo de fibras vegetais na fabricação do bloco vazado de concreto simples para alvenaria sem função estrutural;
- c) Criar parâmetros relacionados ao emprego deste tipo de resíduo na fabricação de blocos de concreto;
- d) Avaliar o teor de umidade da mistura, definindo a quantidade de água ideal para o concreto seco, durante o estudo de dosagem baseado no método da ABCP (FERREIRA JÚNIOR, 1995);
- e) Avaliar o teor de umidade do resíduo para ser introduzido na mistura do concreto;
- f) Avaliar o aspecto visual e textura do bloco composto por pó de serra;
- g) Criar conhecimento em relação às espécies nativas amazônicas no que se refere ao seu aproveitamento na formação de compósitos;

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

A presente dissertação é composta dos seguintes capítulos, quais sejam:

1 - Introdução: onde se faz uma breve consideração inicial relacionada ao tema abordado na pesquisa, suas justificativas e seus objetivos;

2 - Revisão Bibliográfica: se refere à revisão da literatura técnica existente relacionada ao tema desta pesquisa. Primeiramente foi feito um levantamento de como o resíduo da madeira vem sendo utilizado, enfocou-se também o compósito cimento-madeira, além de pesquisas já realizadas na formação de blocos de concreto com aproveitamento de resíduos e métodos de dosagem;

3 – Materiais e Métodos: referente à metodologia adotada para o desenvolvimento da pesquisa, onde estão inclusas as caracterizações do material utilizado para a fabricação do bloco e a definição dos tratamentos adotados para os resíduos de madeira;

4 – Produção dos Blocos de Referência: referente às características do concreto utilizado para os blocos de referência, bem como sua dosagem, moldagem e análise dos resultados alcançados;

5 – Produção dos Blocos com Pó de Serra: referente à dosagem e moldagem dos blocos compostos com pó de serra.

6 – Resultados e Discussões: no capítulo em questão são apresentados os resultados obtidos com a produção dos blocos de pó de serra e discussões acerca dos mesmos;

7 – Conclusões: neste capítulo são apresentadas as conclusões da pesquisa de acordo com os resultados obtidos, relacionando esses resultados a pontos específicos da literatura técnica consultada, além de algumas sugestões para trabalhos futuros;

8 - Referências Bibliográficas: são apresentadas as referências consultadas e utilizadas para a elaboração deste trabalho;

Ao final, são apresentados os Anexos, onde constam as tabelas, planilhas, gráficos e ilustrações que não foram incorporados ao corpo do texto do trabalho.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 BREVE HISTÓRICO DO APROVEITAMENTO DO RESÍDUO DE MADEIRA

A madeira é um material muito utilizado desde os primórdios da civilização humana e sua aplicação sempre foi feita de maneira muito variada, contribuindo para o desenvolvimento e o bem estar do ser humano. Este tipo de material vem sendo aplicado amplamente na construção, mas também como meio de ignição, lenha e fabricação de utensílios diversos.

Com o passar dos anos, a madeira deixou de ser usada de maneira primitiva e seu processamento passou a ser feito de maneira serrada, o que possibilitou o aumento na gama de utilizações, principalmente na construção, pois se tornou mais fácil o aproveitamento do material. Com isso, a aplicação se expandiu e conseqüentemente aumentou a geração de resíduos.

A globalização da economia levou ao acirramento da concorrência entre as empresas de base florestal. Cada qual passa a se preocupar e a tomar decisões no sentido de tirar o máximo proveito da matéria-prima disponível e de aperfeiçoar o processo produtivo. Os objetivos das empresas passam a ser o baixo custo e a alta qualidade, definindo quem permanece no mercado.

O nível tecnológico na industrialização da madeira está diretamente ligado à capacidade de investimento. A falta de capital implica no uso de sistemas e equipamentos inadequados à obtenção de bons rendimentos e qualidade.

Por outro lado, o real conhecimento da matéria-prima, ou seja, de suas propriedades, pode maximizar seu potencial de uso e minimizar os problemas no processo produtivo.

A qualidade da madeira é a soma de todas as suas características e propriedades, e estas afetam o rendimento do material nos produtos finais e sua adequação para as aplicações pretendidas. Isso quer dizer que a qualidade final dos produtos feitos de madeira pode ser afetada pelas características apresentadas das peças utilizadas, como: densidade, rigidez, estabilidade, presença de nós, cerne, bolsas de resina, teor de lignina, teor de extrativos e outros. Ou seja, as composições químicas e físicas implicam diretamente na qualidade do produto, assim como todos os fatores que incidem direta ou indiretamente nestes.

É importante o entendimento da amplitude das variações das propriedades da madeira encontradas entre e dentro dos diferentes gêneros. A

qualidade da tora afeta os rendimentos no processamento e por consequência os custos de produção. Neste aspecto, cuidado no abate, arraste, operações de carregamento e descarregamento são relevantes.

As toras são determinadas para cada tipo de uso de acordo com suas propriedades, por exemplo, as toras destinadas à construção civil de um modo geral não são as mesmas destinadas a produtos que ficam aparentes, pois estes precisam ter qualidade superior. Neste caso podemos citar as madeiras que são aplicadas na fabricação de móveis, painéis decorativos, pisos, lâminas de alta qualidade, torneados, entre outros. Para estes, características como cor, trabalhabilidade e, particularmente estabilidade, tornam-se muito importantes. Assim, para produtos de acabamento e elementos decorativos, pouquíssimas imperfeições na superfície são admitidas. Fissuras ou outros problemas oriundos da secagem são inadmissíveis, principalmente se a superfície venha a sofrer tingimentos ou cobertura. As manchas causadas por ataques de fungo são totalmente inaceitáveis.

É importante ressaltar que para Tsoumis (apud MORI et al., 2007, p. 257):

[...] a madeira apresenta certas características que dificultam sua utilização na construção civil devido, principalmente, a sua anisotropia. A variação das propriedades nas madeiras também é observada entre espécies, entre árvores de uma mesma espécie e até mesmo entre peças de uma mesma árvore.

Nesse sentido, a formação de compósitos utilizando resíduos de madeira é uma alternativa bastante viável, já que para a formação destes não há necessidade de perfeição nas peças, mas ao contrário, passa-se a utilizar e aproveitar o que esta sendo descartado por outras indústrias.

Neste contexto surgiram os painéis de madeira com o uso de adesivos na fabricação. Passou-se a se produzir diferentes tipos de painéis, o que possibilitou ainda mais a aplicação variada e racional do material. A utilização do material de maneira racional tem como objetivo melhorar as propriedades do produto, trazendo benefícios maiores à sociedade, servindo como material alternativo em relação aos recursos não renováveis como materiais metálicos.

O uso de adesivos para colagem das peças proporcionou o aproveitamento do resíduo, mesmo que as peças apresentem características diferentes e variadas. Inicialmente foram utilizados adesivos naturais à base de proteína de origem animal, vegetal e amido, sendo mais utilizada a de origem animal

como a glutina (couro, pele e ossos), caseína (leite) e albumina de sangue. Na década de 30, surgiram os primeiros adesivos sintéticos termoendurecedores, fenol-formaldeído e uréia-formaldéico (MADEIRA, 2003).

Os painéis formados por madeira em sua composição podem ser classificados em dois grupos:

- a) Compostos laminados: se caracterizam pela estrutura contínua da linha de cola através do processo de colagem de lâminas, para fabricação de produtos como: compensado multilaminado, compensado sarrafeado, painéis de lâminas paralelas (LVL), compensado de lâminas paralelas (lammyboard), compensado de painéis de madeira maciça (three-ply), etc. (MADEIRA, 2003, não paginado).
- b) Compostos particulados: constituídos de pequenos elementos de madeira (partículas / fibras) e se caracterizam pela estrutura descontínua da linha de cola, tais como: chapas de madeira aglomerada, chapas OSB, chapas de fibras isolantes, duras e de média densidade (MDF), chapas madeira-cimento, etc. (MADEIRA, 2003, não paginado).

Os inúmeros tipos de painéis foram surgindo até o momento presente sempre com a preocupação em se buscar novos materiais. Essa busca foi feita pela indústria de maneira a alcançar a melhor relação custo/benefício, aplicações específicas e principalmente, de maneira mais recente, a formação de materiais que aproveitem o máximo do que lhe é permitido da matéria-prima, de maneira racional e reciclada, evitando desperdícios e reaproveitando o que é possível.

Estudos nessa área vêm chamando a atenção do meio técnico e da sociedade em geral, principalmente no que se refere ao aproveitamento do resíduo da madeira.

Atualmente no Brasil vários trabalhos foram desenvolvidos por pesquisadores que utilizam fibras orgânicas na formação de compósitos como Beraldo (1996), Agopyan (1996), Savastano (2000) e Latorraca (2000) e que apontam a possibilidade de uso da madeira mesmo na forma de resíduo para a formação de compósitos (LIMA, 2005). Mas recentemente têm-se estudos voltados para o aproveitamento de resíduos na formação de produtos para a construção civil como é o caso de Dantas Filho (2004), que busca a utilização do pó de serra na formação de blocos para alvenaria de vedação. E ainda pesquisas realizadas na Universidade Federal do Pará, aproveitando resíduos de espécies típicas da flora amazônica, como a de Lima (2005) abrangendo a influência dos tratamentos físicos aplicados aos resíduos, Fonseca (2005) abordando a formação de compósitos e Souza (2006) que estuda a formação de chapas cimento-madeira.

2.1.1. Painéis de Madeira - Cimento:madeira

O uso de painéis de madeira (cimento:madeira) passa a ser uma forma bastante utilizada após a segunda guerra mundial. De acordo com dados históricos a necessidade nessa época se fez em função da escassez de material, fazendo com se buscasse novas alternativas de reciclagem para a produção de novos materiais, pois era imprescindível a construção rápida e o aproveitamento do que estava disponível no local. A escassez de materiais como cimento-amianto fez com que a produção de chapas de cimento-madeira fosse uma alternativa viável e de custo reduzido. Assim, estas chapas foram aplicadas nas coberturas, sendo utilizadas em substituição as telhas de cimento-amianto. Esse tipo de material também foi largamente utilizado na produção de painéis que foram aplicados como alvenaria pré-montada, dando agilidade ao processo construtivo.

A grande aceitação na utilização deste tipo de painel é devido a sua boa trabalhabilidade, grande resistência ao ataque de fungos e cupins, bom isolamento térmico e acústico, parcialmente incombustível (ELTOMATION apud MORI et al., 2007).

A boa trabalhabilidade não está relacionada à fluidez, mas sim à facilidade para adensamento feito através de compressão mecânica por se tratar de um concreto “seco”, entretanto também tem interligação ao fator água:cimento (MOREIRA, 2008). O material precisa apresentar-se coeso e homogêneo (RIBEIRO, 2005) e após compressão mecânica apresentar-se sem fissurações aparentes. (SOUZA, 2006).

Este tipo de material compósito é produzido a partir da mistura de partículas de madeira com um aglomerante mineral, gipsita (gesso) ou cimento portland, este último é o mais empregado, além de compostos químicos aceleradores de cura.

Para Sarmiento e Freire (apud LIMA, 2005, p. 3) “o resíduo de madeira pode ser utilizado para fabricação de painéis prensados, ou mesmo como reforço, quando associado à aglomerante mineral”.

“Quando esta associação de fibras ou partículas de madeira é feita com uma matriz de cimento portland, produz-se um material compósito comumente denominado cimento-madeira” (LIMA, 2005, p. 3).

Em relação aos compostos químicos adicionados a mistura, alguns dos aditivos mais utilizados são à base de sais ou cloretos, sendo estes de cálcio ou magnésio. O aditivo acelerador cloreto de cálcio é o que vem sendo, destacadamente, o mais utilizado durante décadas, provavelmente, porque este aditivo acelera eficientemente a hidratação dos silicatos de cálcio, principalmente o C3S, além de ser muito barato (MADEIRA, 2003).

As ligações entre as partículas são formadas através da hidratação e cristalização do cimento. Este tipo de chapa apresenta menor exigência em relação à matéria-prima (madeira), quanto a sua forma, dimensões e defeitos naturais. Os elementos compositores da mistura são consolidados através de prensagem a frio. A composição é relativamente simples, na proporção 1:3:1,5 , resíduo:cimento:água (MADEIRA, 2003).

Essas chapas são utilizadas na Áustria desde 1920, e na Alemanha desde 1940, mas sua aplicação somente expandiu-se após a segunda guerra mundial para Austrália, EUA e países da Ásia (SOUZA; MACÊDO; POMPEU NETO, 2006).

São produtos destinados para uso tanto exterior como interior, principalmente para paredes externas de habitações, por serem altamente resistentes à água e mudanças climáticas, virtualmente incombustíveis, resistente ao ataque de agentes biodegradadores e bom isolamento térmico e acústico. As chapas madeira-cimento são muito empregadas na Europa, EUA e Japão, para construções modulares de casas pré-fabricadas, tendo em vista as suas qualidades tecnológicas e aumento em produtividade da construção (MADEIRA, 2003)

No que se refere à produção, notou-se que no Japão foi à larga escala, assim como na comunidade européia, dentre outros países, isso é verificado pelo índice que foi em torno de 2,5 milhões de m³ em 1996 (MOSLEMI apud MORI et al., 2007).

A aplicabilidade do produto é bastante diversificada, podemos destacar as paredes de casas pré-fabricadas, bancadas (para-peito), pisos, revestimento de túneis, paredes divisórias, paredes isolante térmico e acústico, portas corta fogo, forros de casas, entre outras aplicações. A sua utilização não abrange somente residências, mas também pavilhões, estádios e edifícios públicos, estando presentes em banheiros, lavanderias e cozinhas (MADEIRA, 2003). No Brasil, a produção

deste produto ainda inexistente em escala industrial apesar de ser um produto já consolidado em diversos países.

De certa forma, devido algumas limitações do material orgânico, como a incompatibilidade de espécies, pode-se restringir o emprego do resíduo de madeira na formação do material compósito. A presença de algumas substâncias químicas do material lignocelulósico retarda a “pega” e o endurecimento do cimento, são os chamados extrativos, podendo prejudicar as propriedades finais dos produtos formados (MOSLEMI, 1998; LATORRACA e IWAKIRI, 2000 apud MORI et al., 2007).

Em conseqüência disso, fez-se necessário o desenvolvimento de tratamentos que mantivessem as qualidades da madeira e minimizassem as suas propriedades indesejáveis, principalmente quando na formação de compósitos. Esses tratamentos são feitos de maneira preliminar a mistura do resíduo ao aglomerante, e podem ser por meio físico, químico ou biológico.

Em relação ao tratamento químico, este é feito com sulfatos, hidróxido de sódio ou cal, ou ainda, a adição de soluções aceleradoras de pega na mistura do compósito (SILVA et al., 2002).

Outros processos podem ser utilizados para minimizar o efeito causado pelos extrativos em relação à hidratação do cimento. A remoção dessas substâncias pela ação de soluções aquosas ou imobilização das substâncias através do recobrimento por uma película protetora (oleosa ou salina), mineralização, que podem melhorar a compatibilidade do material com o cimento (BERALDO et al., 2002).

2.1.2 Painéis de madeira – Aglomerados e MDF

A diversificada maneira de utilizar painéis compostos por madeira, ou seja, sua versatilidade, sejam estes de cimento:madeira ou os que se compõem por adesivos como os multilaminados, compensados, aglomerados, MDF (*Medium Density Fiberboard*), entre outros, passa a ser um atrativo para a produção dos mesmos. Além disso, esse tipo de material é uma alternativa bastante viável no que diz respeito ao processo construtivo e a sua produtividade.

Vale ressaltar, que o uso de adesivos para a ligação das partículas de madeira acaba por ter um custo mais elevado devido tais produtos serem

provenientes da indústria petroquímica, daí se resulta a ampla utilização dos painéis de cimento:madeira em larga escala logo após a segunda guerra mundial.

Os painéis que utilizam adesivos têm grande potencialidade de aplicação pelas indústrias moveleiras. O processo industrializado associado à necessidade de suprir uma demanda elevada proporcionou um avanço na fabricação de móveis em aglomerados e, posteriormente em MDF (*Medium Density Fiberboard*).

Os painéis em MDF possuem consistência e algumas características mecânicas que o aproximam a da madeira maciça e o difere do painel de madeira aglomerada basicamente por apresentar parâmetros físicos de resistência superiores, boa estabilidade dimensional e excelente capacidade de usinagem.

Diferenciam-se painéis de aglomerados dos de MDF basicamente pelo tipo de material usado para ligar as partículas da madeira. Nos aglomerados as partículas são unidas por adesivo sintético, por meio de pressão e calor e geralmente sua chapa é composta por três camadas para conferir melhor estabilidade. Já o painel de MDF, é constituído por fibras de madeira unidas por resinas sintéticas, por meio de calor e pressão. Este tipo de material é homogêneo em toda a sua superfície. Portanto, ambos têm custo relativamente elevado, pois precisam de equipamentos adequados que através da pressão e do calor formam as chapas, e a principal diferença é a forma como as partículas são unidas, adesivo ou resina. A seguir pode-se avaliar a crescente produção e aproveitamento destes painéis no mundo e mais especificamente no Brasil.

a) Aglomerados

Os painéis de madeira aglomerada são os mais consumidos no mundo dentre os diferentes painéis de madeira reconstituída existentes. Os móveis em aglomerado são bastante consumidos por países como EUA e Alemanha que detêm cerca de 46% da demanda, ou seja, quase a metade. A produção destes móveis teve um crescimento de 6,5% no mundo entre 1996 e 2000. O comércio mundial de aglomerado movimenta cerca de US\$ 6 bilhões e 25% do consumo global (22 milhões de m³). A Europa concentra quase a metade das transações realizadas. (MADEIRA, 2003).

A produção mundial de aglomerados alcançou 84 milhões de m³, em 2000, destacando-se como maior fabricante os Estados Unidos responsável por 25% desse volume. O Brasil posiciona-se em nono lugar, com 2% do volume produzido (MADEIRA, 2003).

No Brasil este tipo de móvel torna-se mais comum em 2001, aumentando seu consumo a partir deste ano em 62%. Assim, a partir de 2001, o produto popularizou-se no Brasil, e essa indústria alcançou um faturamento de cerca de US\$ 500 milhões, contribuindo com exportações de US\$ 66 milhões. Os fabricantes de painéis de madeira reconstituída utilizam preponderantemente na confecção de seus produtos, madeira proveniente de maciços florestais plantados, principalmente *Pinus* e *Eucalipto* e, para completar o mix, resíduos de serraria.

A produção brasileira de aglomerado, no período 1996/2000, evoluiu de 1.059 mil m³ para 1.762 mil m³, o que representa um crescimento médio anual de 13,6%, bastante superior à taxa mundial de 5,8%. Esse crescimento pode ser associado a três fatores principais:

- I) Necessidade de substituição do uso de madeira maciça na indústria moveleira e na construção civil face à escassez de oferta;
- II) Evolução tecnológica que permitiu melhor usinagem dos painéis aglomerados;
- III) Melhoria da percepção do consumidor final sobre a qualidade do aglomerado.

Com a exigência por móveis diferenciados no acabamento e de melhor qualidade passa-se assim a produção de móveis em MDF.

b) MDF - *Medium Density Fiberboard*.

A produção mundial de MDF duplicou entre os anos de 1996 e 2000, equivalente a um crescimento médio anual de cerca de 18%. Estados Unidos, Alemanha e China, juntos, representam 39% do volume produzido. No período mencionado foram acima de 30% ao ano os acréscimos de produção verificados na Alemanha, França, China e Brasil.

O consumo mundial de MDF vem crescendo cerca de 20% a.a., em média. Os principais consumidores, Estados Unidos, China e Alemanha, respondem por cerca da metade da demanda global. Analisando-se países selecionados,

observam-se taxas de crescimento acima da média mundial na China, na Alemanha e no Brasil.

O comércio mundial representou, ao longo do período 1996/2000, cerca de 35% do volume fabricado. Europa e América Latina (Chile) são regiões exportadoras, enquanto Ásia e América do Norte caracterizam-se como regiões importadoras. Em 2000 as exportações movimentaram em âmbito mundial US\$ 1,5 bilhão.

No Brasil o MDF começou a ser fabricado em setembro de 1997 pela fábrica da Duratex, em Agudos (São Paulo), depois da modernização do processo de fabricação de aglomerados, embora tenha sido adotado já no início dos anos 60 nos Estados Unidos.

Entre 1998 e 2001, ocorreu um expressivo crescimento de consumo, evidenciando a aceitação do produto pelo mercado e atraindo a instalação de mais três fabricantes. Começaram a operar as unidades da Tafisa (final de 1998), localizada em Pien; da Masisa (início de 2001), situada em Ponta Grossa e a da Placas do Paraná (final de 2001), localizada em Jaguariaíva, todas no Estado do Paraná. Ressalta-se que somente depois de 2000, é que este tipo de móvel passou a ser mais conhecido e, atualmente já é referência para as grandes marcas como Todeschini e Difratelli.

A indústria produtora de móveis é a grande compradora de MDF, com taxa de crescimento médio de consumo de 64% ao ano, no período 1997/2001. São quatro as fábricas instaladas no Brasil nesse período, todas com tecnologia de última geração e utilizando-se de madeira de **Pinus** (cavacos ou resíduos de serrarias) como principal insumo. Em 2001 as empresas operaram a 87% da capacidade instalada ajustada em função das diferentes épocas de entrada em operação ao longo do ano dos projetos novos (Placas do Paraná e Masisa) e da expansão da Tafisa. Atualmente a capacidade instalada é de 1.080 mil m³/ano o que oferece uma folga para atender a esperada continuidade de crescimento da demanda.

A produção brasileira no ano 2000 representou 2% do volume mundial. A produção nacional, que em 2001 atingiu 609 mil m³, está voltada totalmente para o mercado interno e ainda não foi suficiente para eliminar as importações que, naquele ano, atingiram 24 mil m³, correspondente a 3,8% do consumo.

No Brasil, o principal demandante desse painel é a indústria moveleira, constituindo-se a construção civil um mercado potencial, ainda não devidamente explorado, principalmente em itens como pisos, rodapés, almofadas de portas, divisórias, batentes e peças torneadas, entre outros.

2.1.3 Aplicações Gerais

Dentro desse contexto, aproveitamento de resíduos, a área técnica tem sido muito consciente e tenta proporcionar embasamento através de estudos científicos que apontem para uma possível aplicação de resíduos de madeira na formação de compósitos que sejam adequados a nossa necessidade e realidade.

Pode-se citar como exemplo o estudo para a utilização de resíduos de madeira para confecção de tijolos de solo-cimento (SILVA; CARRASCO, 2006) entre outras contribuições, como a pesquisa para a aplicação do pó de serra em elementos de alvenaria de concreto não estrutural (DANTAS FILHO, 2004).

Em relação ao estudo dos tijolos de solo-cimento, foi possível a determinação da resistência das misturas: solo-cimento e solo-cimento-resíduos e verificou-se a inter-relação direta da resistência à compressão com os moldes de formato, ou seja, dos corpos-de-prova, tijolos e prismas, relacionando-as. O trabalho conclui que os valores da resistência à compressão nos tijolos mostraram-se maiores que os dos corpos-de-prova e prismas, independente do tipo de solo e da presença ou não de resíduos.

O estudo também aponta que a inclusão dos resíduos de madeira no compósito mostrou que estes resíduos influenciam na resistência de peças confeccionadas de acordo com o solo utilizado. Para solos mais granulares ou arenosos, ocorre o aumento da resistência até certo teor de resíduos (0,5%), reduzindo posteriormente. Para solos mais finos, no entanto, ocorre a redução da resistência. Além disto, observou-se o aumento da ductilidade do compósito que sem resíduos apresentou um comportamento mais frágil e com a inclusão dos mesmos tornou-se um pouco mais dúctil. A inclusão de resíduos, ainda que não proporcione um grande aumento na resistência é aconselhável por melhorar o comportamento do compósito (SILVA; CARRASCO, 2006).

Com relação aos resultados para a pesquisa do compósito cimento-madeira foram bastante satisfatórios na formação de blocos de concreto, identificando uma potencialidade do resíduo na forma de pó para se aplicar na formação do bloco. Os melhores resultados foram para o traço na proporção de 1:0,25:2,06:3,3:0,79 (cimento: pó de serra: areia: seixo: a/c), que aproximadamente é duas vezes e meia mais isolante térmico em comparação ao bloco de referência, e atingiu uma resistência à compressão média de 2,76 MPa e absorção de água média igual 12,57% (DANTAS FILHO, 2004).

Já o traço de cimento, pó de serra e relação água/cimento na proporção de 1:0,4:0,78, teve melhor desempenho para ser aplicado como elemento de enchimento das pré-lajes, pois a resistência à compressão alcançada foi de 0,89 MPa, com absorção de água igual a 37%, sendo 3,5 vezes mais isolante térmico em comparação ao traço de referência (DANTAS FILHO, 2004).

Serão descritos a seguir as principais aplicações na construção civil de modo geral, mas precisamente onde se tem o aproveitamento do resíduo, ou seja, da serragem. Esta serragem é proveniente na maioria dos casos do processo de fabricação de móveis, mas também podem ser usadas as provenientes dos processos de fabricação celulose ou de qualquer outra atividade que tenha perdas em seus processos de fabricação de produtos que use a madeira como matéria-prima (MACÊDO; FONSECA, 2001):

- a) Painéis de cobertura – Chapas (compósito cimento-madeira);
- b) Abrigos para cães;
- c) Casas de veraneio;
- d) Nivelamento (contrapiso);
- e) Pisos para práticas esportivas (resistência à abrasão);
- f) Depósitos: Permite sistemas de controle de umidade e temperatura;
- g) Proteção para concreto comum (sujeito ao ataque externo e instalações externas);
- h) Acabamento interno;
- i) Restauração; 85% das restaurações históricas na França; devido à baixa reatividade, não interferindo quimicamente com o material original em grande parte dos casos;
- j) Placas (ladrilhos) de pavimentação; Com nervuras de reforço estrutural;

- k) Recifes artificiais; Devido à alta resistência à salinidade e por não ser agressivo ao ambiente;
- l) Alvenaria pré-montada ou pré-moldada.

2.2 A MADEIRA

As madeiras apresentam diversas propriedades que são muito variáveis entre as espécies. Essas variações são causadas, além do material genético, pelas diferenças de manejo, idade de corte, porção a ser retirado da árvore, solo onde se encontra, entre outros aspectos. De acordo com determinadas características as espécies são selecionadas para diferentes tipos de uso como, por exemplo, madeira para construção civil que deve apresentar características superiores do que as utilizadas para produtos reconstituídos, assim como a madeira para celulose que deve apresentar de 15% a 35% de lignina, pois quanto maior o teor de lignina e de extrativos na madeira, menor será o rendimento em celulose e a qualidade do papel produzido. Descreve-se a seguir algumas características de qualidade requeridas para madeira utilizadas pela construção civil:

- a) Resistência;
- b) Rigidez;
- c) Retidão;
- d) Estabilidade dimensional;
- e) Isenção de empenamentos e defeitos;
- f) Longos comprimentos;
- g) Durabilidade.

Para o melhor entendimento destas características é necessário ter o conhecimento da composição química e física da espécie selecionada, que varia de acordo com a classificação estrutural. Essa classificação é determinada da seguinte maneira: **Gimnosperma** e a **Angiosperma**.

As Gimnospermas são as do tipo coníferas, conhecidas popularmente como madeiras brancas ou moles por terem uma resistência menor. A este tipo de árvores pertencem os pinheiros, abetos e araucárias. Encontram-se adaptadas ao ambiente em que vivem e resistem bem aos rigores do inverno, crescendo apenas no Verão.

As Angiospermas subdividem-se em monocotiledôneas e dicotiledôneas, são conhecidas como madeiras mais nobres, mais duras e resistentes. Estas características acabam por chamar a atenção de indústrias madeireiras, e por este motivo algumas espécies encontram-se ameaçadas de extinção. As dicotiledôneas são as espécies presentes em nossa região amazônica e são constituídas principalmente de fibras, que lhe conferem resistência e rigidez.

2.2.1 Composição Química

Do ponto de vista químico, a madeira é um biopolímero tridimensional composto de três constituintes principais: celulose, hemicelulose e lignina, responsáveis pela formação da parede celular de seus elementos anatômicos e pela maioria de suas propriedades (LEPAGE, 1986; BORDINI et al., 2004 apud SOUZA, 2006).

A madeira contém em menores proporções, e em quantidades variáveis, outras substâncias, como as cinzas minerais e os chamados extrativos, encontrados notadamente na casca, reunindo os terpenos, óleos, ácidos graxos, compostos aromáticos, corantes além de outros. (SOUZA, 2006).

As características da madeira e a quantidades de seus componentes, bem como as diferenças em estrutura celular, resultam em significantes variações nas propriedades da espécie.

Algumas espécies são mais pesadas, outras mais leves, algumas mais fáceis de trabalhar do que outras. Portanto essa variação se reflete em características como resistência e ductibilidade.

A madeira apresenta um radical monossacarídeo (CH_2O) como seu componente orgânico principal. Este radical é formado a partir da equação de fotossíntese descrita a seguir:



A composição química da madeira, em termos médios, apresenta 60% de celulose, 28 % de lignina e quantidades menores de outras substâncias. Essa composição é demonstrada detalhadamente na tabela 01 a seguir:

Tabela 01 – Composição Quantitativa da Madeira		
Componente/Espécie	Coníferas (%)	Dicotiledôneas (%)
Celulose	20 - 45	40 - 55
Hemicelulose	20 - 30	20 - 40
Lignina	25 - 35	15 - 25
Extrativos	02 - 10	01 - 05
Cinzas Minerais	0,1 - 1,0	0,1 - 1,0

Fonte: Lepage (apud SOUZA, 2006, p. 7)

A celulose é constituída de três elementos: carbono, hidrogênio e oxigênio, sendo o componente principal das paredes das células das árvores e também de outras plantas, da maioria das algas e alguns cogumelos (SOUZA, 2006). Este componente, celulose, é considerado o mais importante para a formação das propriedades da madeira, é altamente resistente à tração axial, devido às ligações covalentes e sua estrutura é formada por longas cadeias de átomos com o monômero $C_6H_{10}O_5$ repetido n vezes, onde n é um número muito grande, entre 8.000 e 10.000 (SILVA apud SOUZA, 2006).

De acordo com Browing e Bordini et al. (apud SOUZA, 2006, p. 7):

A hemicelulose diferencia-se da celulose por apresentar baixo grau de polimerização e como consequência têm pequeno peso molecular, são solúveis em soluções alcalinas diluídas, hidrolisam-se pela ação de ácidos diluídos à quente produzindo a-D manose, a-D galactose, a-D-arabinose, a-D-xilose, L-ramnose, ácido a-D-glicourônico, ácido a-D-galactourônico, a-D-4-O-metil glicourônico, além da a-D-glicose.

“A lignina é um polímero amorfo e heterogêneo, que envolve os polissacarídeos celulose e hemicelulose e pode ser pensado como o adesivo das fibras, conferindo-lhes resistência à compressão” (SOUZA, 2006, p. 7).

A madeira seca contém em média 49 % de carbono, 44 % de oxigênio, 6% de hidrogênio e 1 % de cinza.

2.2.2 Composição Física

A madeira apresenta características tanto de um composto quanto de um polímero. Composto porque leva em consideração que a matriz é um composto rígido de lignina que envolve e mantém unidas as fibras de celulose. Como material polimérico, apresenta boa resistência à corrosão e baixa resistência ao calor, é leve devido ao baixo peso específico, além de isolantes elétricos e térmicos. Quanto à resistência mecânica e ductibilidade, apresentam muitas variáveis, de acordo com a espécie estudada. Como foi visto anteriormente, a classificação botânica interfere nas características químicas das espécies assim também se faz quanto às propriedades físicas.

Primeiramente é necessário entender a estrutura física da madeira. A seção transversal do tronco de uma árvore, abaixo ilustrada na figura 01, permite distinguir as seguintes partes, de forma bem caracterizada, de fora para dentro: casca, câmbio e lenho. Este último subdivide-se em medula, durâmen e alburno conforme a ilustração:

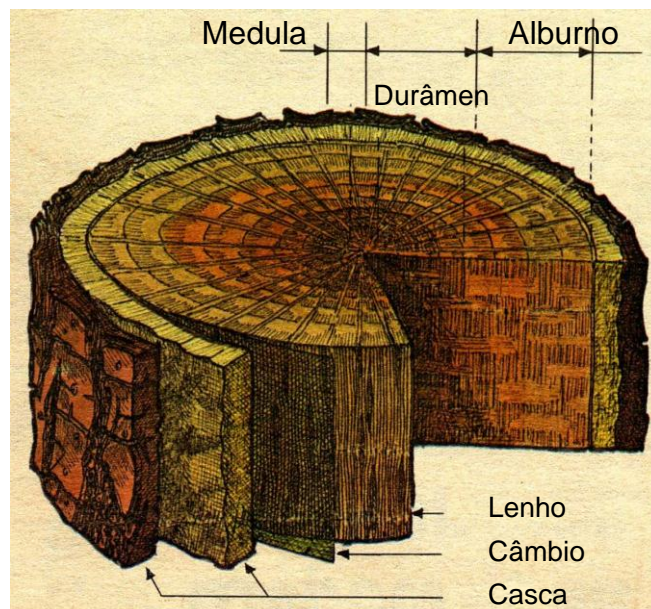


Figura 01 – Estrutura da Madeira
Fonte: MACÊDO, 2006

A Casca protege a árvore contra os agentes externos. Não apresenta importância do ponto de vista da construção, é eliminada no aproveitamento do lenho. O Câmbio é uma camada invisível a olho nu, situada entre a casca e o lenho, formada de tecido meristemático.

O Lenho constitui a parte resistente da árvore. Compreende o cerne ou durâmen e o alburno. O cerne ou durâmen, formado por células mortas, que tem como função resistir aos esforços externos que solicitam a árvore, e o alburno, formado por células vivas, que além da função resistente é veículo da seiva bruta, das raízes às folhas. A Medula é o miolo central, mole, de tecido esponjoso e cor escura. Não tem resistência mecânica, nem durabilidade. Sua presença na peça desdobrada constitui um defeito.

Portanto, de acordo com a estrutura física e anatômica das espécies vamos ter diferentes propriedades nas toras de madeira, e assim variações tanto na resistência, rigidez, durabilidade e desempenho do material.

2.3 O CIMENTO

O aglomerante mais usual da construção civil é o cimento, conhecido mundialmente como cimento portland. Pode-se definir o cimento como um aglomerante cerâmico hidráulico, fabricado a partir do clínquer, cuja constituição fundamental é o silicato de cálcio hidráulico. (FONSECA, 2005). O aglomerante é denominado hidráulico já que reage com a água, é o que se denomina reação de hidratação, ou seja, torna-se primeiramente pastoso e dentro de um intervalo de tempo enrijece, perdendo plasticidade e endurece ganhando resistência mecânica. Essa reação de hidratação é exotérmica, pois é acompanhada de liberação de calor. (BLANKS e KENNEDY apud LIMA, 2005).

A produção do cimento resulta da moagem do clínquer que é o material obtido pela calcinação da pedra calcária e argila. Assim, o calcário (CaCO_3) é a principal matéria-prima do cimento, ou seja, o clínquer é produzido a partir da queima de quatro substâncias principais: o calcário (CaCO_3), a sílica (SiO_2), a alumina (Al_2O_3) e o óxido de ferro (Fe_2O_3). Após a queima é feita a adição do gesso, sulfato de cálcio (CaSO_4), pois este componente evita que a reação de hidratação ocorra instantaneamente. Como podemos verificar pelo esquema abaixo (RIBEIRO; PINTO; STARLING, 2003):

Calcário + Argila →

→ material cru → forno → clínquer → gesso → moagem → cimento

Podem-se verificar os compostos químicos do clínquer pela tabela 02 a seguir:

Tabela 02– Principais Compostos Químicos do Clínquer.			
Compostos	Fórmula Química	Abrev.	Propriedades Específicas
Silicato Tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ 50-65%	C3S	Endurecimento rápido; Alto calor de hidratação; Alta resistência inicial.
Silicato Dicálcico	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ 15-25%	C2S	Endurecimento lento; Baixo calor de hidratação; Baixa resistência inicial.
Aluminato Tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ 6-10%	C3A	Pega muito rápida controlada com adição de gesso; Suscetíveis a ataques de sulfatos; Alto calor de hidratação; Alta retração; Baixa resistência final.
Ferro Aluminato Tetracálcico	$4 \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ 3-8%	C4AF	Endurecimento lento; Resistente a meios sulfatados; Não tem contribuição para resistência; Cor escura.
Cal Livre	CaO 0,5-1,5%	C	Aceitável somente em pequenas quantidades; Maiores quantidades causam aumento do volume e fissuras.
Fonte: RIBEIRO; PINTO; STARLING, 2003.			

De acordo com a ABNT existem diversos tipos de cimento e suas propriedades variam de acordo com sua composição, ou seja, de acordo com a dosagem do clínquer e adições, são estes (RIBEIRO; PINTO; STARLING, 2003):

1. Cimento Portland Comum CP-I;
2. Cimento Portland Composto CP-II (com adições de escória de alto forno, pozolana e filer);
3. Cimento Portland de Alto Forno CP-III (com adição de escória de alto forno, apresentando baixo calor de hidratação);
4. Cimento Portland Pozolânico CP-IV (com adição de pozolana, apresentando baixo calor de hidratação);
5. Cimento Portland de Alta Resistência Inicial CP-V (com maiores proporções de silicato tricálcico – C3S);

Como esta pesquisa trata da formação de um compósito cabe ressaltar que existem comprovações técnicas da melhor adequação do CPV - ARI com as fibras vegetais em função da velocidade de reação, apesar do elevado teor de alcalinidade (BERALDO; ARZOLLA, 1999).

Dois fatores interferem na velocidade de reação e na resistência elevada já nos primeiros dias: processo de moagem do clínquer, pois quanto mais fino o aglomerante maior a velocidade de reação e dosagem diferenciada de calcário e argila (ABCP, 2002).

“Quanto mais fino o aglomerante maior a resistência, principalmente nos primeiros dias, maior a trabalhabilidade, maior a impermeabilidade e menor a exsudação” (RIBEIRO; PINTO; STARLING, 2003).

Sabe-se que a moagem é feita de forma que este tipo de cimento seja o mais fino em relação aos outros, pois tem como resíduo de peneira (# 0,075mm) o menor valor, $\leq 6,0\%$ (ABCP, 2002).

Em relação a sua composição, o CPV- ARI, quando comparado a outros tipos de cimento, é formado basicamente de clínquer e gesso entre 100-95 (% de massa), possuindo uma pequena adição de material carbonático entre 0-5 (% de massa), ou seja, é um cimento dito “puro”, só perdendo para o CP-I que é 100% clínquer. (ABCP, 2002).

O clínquer sendo dosado de maneira diferenciada faz com que o CPV- ARI tenha elevado teor de alcalinidade, devido sua composição ser em maiores proporções de C_3S (silicato tricálcico). Este elemento é o responsável pelo endurecimento rápido e pela alta resistência inicial, no entanto, libera um alto calor de hidratação (RIBEIRO; PINTO; STARLING, 2003).

Para melhorar o desempenho da mistura de concreto em relação a esse calor de hidratação, principalmente pelo fato de que elementos pré-moldados são dosados com quantidade de água menor, o processo de cura deve ser bem estruturado, para assim minimizar efeitos como o de micro fissuração e interrupção do processo de hidratação dos grãos de cimento.

Levando em consideração que a fibra vegetal pode se degradar, quando o PH do concreto está acima de 13, à mesma é submetida a um tratamento que tem como função protegê-la dessa alcalinidade além de eliminar os extrativos liberados durante a mistura que interferem na reação de hidratação do aglomerante.

2.4 COMPÓSITO

Existem diversos estudos que buscam o aproveitamento de resíduos aplicando-os na formação de compósitos. Os materiais compósitos ou conjugados, nada mais são do que a combinação de dois ou mais materiais. Os mais comuns são os fibrosos e os particulados, sua formação consiste em um elemento de reforço envolvido por uma matriz (resina colante). A matriz pode ser polimérica, metálica ou cerâmica, o mesmo também pode ocorrer no reforço que se apresenta na forma de partículas, fibras, bastonetes, lâminas ou plaquetas.

Existe naturalmente em nossa natureza uma variedade de exemplos em materiais compósitos. A própria madeira é um destes exemplos, pois se considera que a matriz é um composto rígido de lignina que envolve e mantém unidas as fibras de celulose como foi visto anteriormente.

Os compósitos para Hull e Clyne (apud LIMA, 2005, p. 9) “formam uma classe importante no âmbito dos materiais de engenharia, tanto que sua produção mundial é da ordem de milhões de toneladas anuais, com crescimento em torno de 5 a 10% a cada ano”.

Para Leão et al. (apud LIMA, 2005, p. 15):

As primeiras pesquisas com materiais lignocelulósicos associados a aglomerantes minerais, como o cimento portland, aconteceram por volta da década de 20 na Europa e Austrália, onde em 1914 acontece um dos primeiros usos de injeção de gás a fim de melhorar a fabricação de painéis e placas a base de aglomerantes inorgânicos e madeira.

Para Wolfe e Gjinolli (apud LIMA, 2005, p. 15):

Os compósitos cimento-madeira são classificados em dois grandes grupos, quais sejam: cimento-partículas de madeira e cimento-fibras de madeira; o primeiro é usado como matéria prima para fabricação de painéis acústicos e resistentes ao fogo; o segundo, foi inicialmente desenvolvido com intuito de substituir as fibras de asbestos como material de reforço de matrizes de cimento.

Esta pesquisa demonstrará a formação do compósito, onde a matriz é cimentante, e cujo elemento de reforço é a madeira, que no caso, são os resíduos das serrarias. A literatura atual demonstra através de vários autores que este tipo de compósito pode ser viável. A grande maioria dos estudos que abordam esse tipo de assunto se realizou na região sul e sudeste do Brasil, ou ainda, nas regiões de clima temperado, onde há predominância de espécies do tipo coníferas, conhecidas popularmente como madeira branca ou mole.

Na formação de compósitos as coníferas são as mais utilizadas por apresentarem menor risco de incompatibilidade em relação às reações de hidratação do cimento, ou seja, estas espécies apresentam propriedades químicas mais compatíveis com o cimento. (LATORRACA, 2000).

No entanto, alguns trabalhos já estão sendo realizados na Universidade Federal do Pará, como já citado anteriormente, onde seus autores estudam as espécies nativas da Amazônia, que são as madeiras mais duras e mais nobres. Dentre estas espécies podemos citar o Pau Amarelo, Angelim Pedra, Cedro, Andiroba, entre outras, que foram abordadas na pesquisa de Lima (2005).

Assim, a formação do compósito com as espécies de vegetação do tipo **Gimnosperma**, as coníferas, levam vantagem, pois a literatura é mais abrangente. Já em relação as **Angiosperma**, especificamente as espécies dicotiledôneas, que foram pouco estudadas, a literatura existente é escassa.

Vale ressaltar que esses estudos são de extrema importância, pois de acordo com a espécie estudada é dado um tratamento adequado de modo a melhorar a qualidade da mistura.

Algumas pesquisas demonstram que determinadas fibras vegetais podem ter sua utilização restringida na formação do compósito devido à grande quantidade de açúcar presente em sua composição. Isto porque ao entrar em contato com água, a madeira libera este açúcar, e na maioria das vezes também libera ácidos, fenóis, resinas, taninos e sais. São estas substâncias que acabam por interferir no processo de reação de hidratação do aglomerante. As espécies do tipo **Angiospermas**, ou seja, as madeiras mais nobres soltam grande quantidade desses extrativos. Portanto, é necessário um tratamento nas fibras vegetais de tais espécies, ou até a associação de dois tratamentos a fim de evitar que estes extrativos interfiram na reação da pasta.

O açúcar existente nos vegetais é liberado quando esta fibra vegetal entra em contato com a água de hidratação do cimento na formação do compósito. A liberação destes açúcares acaba por interferir na hidratação dos aglomerantes reduzindo a velocidade de reação com os mesmos, retardando a pega do cimento e aumentando o tempo de cura. (SAVASTANO; AGOPYAN, 1998).

A dificuldade de remoção deste açúcar em algumas fibras inviabiliza sua utilização. As outras substâncias presentes na estrutura dos tecidos vegetais tais como os fenóis e ácidos, também podem retardar e em alguns casos impedir a pega

do cimento, sendo necessária à utilização de algum processo de compatibilização da madeira com a matriz de cimento, para que ocorra a menor influência possível no processo de hidratação do cimento. (LATORRACA; SILVA, 2003)

No caso da região amazônica a maioria das espécies é do tipo **Angiosperma**, as dicotiledôneas, e são constituídas principalmente de fibras, que lhe conferem resistência e rigidez. Assim, estas características são atrativas para a formação do compósito, já que as fibras são o elemento de reforço. Existe, portanto o interesse tecnológico em estudos como este com a finalidade de buscar novas alternativas de tratamento do resíduo de madeira ou confirmar as já existentes para que na formação do compósito a quantidade liberada de extrativos não interfira no processo de hidratação do cimento.

Alguns autores afirmam que alcançaram bons resultados no uso deste tipo de resíduo formando um compósito de matriz cimentante desde que estes resíduos sejam submetidos a um tratamento físico-químico adequado.

Uma dessas alternativas já foi estudada e refere-se ao uso de aceleradores de pega com base de cloreto de cálcio a 3% e 5%. Os resultados mostraram-se satisfatórios, inclusive no que diz respeito ao aumento de resistência a compressão axial (SOUZA, 2006). Alguns tratamentos na madeira já foram também estudados a fim de que estas fibras não se degradem na presença alcalina do cimento quando esta é superior ao PH de 13.

Descreve-se a seguir exemplos de tratamento para melhorar a compatibilidade entre as partículas vegetais e o cimento (BERALDO; ARZOLLA, 1999):

- a) **Maturação da madeira ou das partículas:** a estocagem da madeira ou das partículas vegetais pode provocar o desencadeamento de ações microbiológicas, que tornam a matéria prima vegetal mais compatível com o cimento. Esse método não é muito usado por requerer tempo relativamente longo para que tenha êxito;
- b) **Extração em meio aquoso:** a lavagem simples em água corrente, ou em água quente, permite eliminar parcialmente certas substâncias que são nocivas ao cimento. Depois de lavadas essas partículas são postas a secar ao sol.

- c) Cimento de alta resistência inicial (tipo CP V – ARI): no caso de aplicações industriais, torna-se, às vezes, mais econômico, a substituição do cimento Portland tipo CII – E 32 ou CIII 32 por cimento mais tolerável à presença das partículas vegetais.
- d) Uso de aceleradores: também para aplicações industriais pode-se adicionar à água de amassamento, cerca de 3% de cloreto de cálcio (ou outro acelerador). Pode-se evitar, deste modo, a necessidade de lavagem de certas partículas vegetais.
- e) Mineralização: resultados interessantes têm sido obtidos com o tratamento das partículas vegetais, constando de imersão em solução de silicato de sódio (5%), seguida da imersão em sulfato de alumínio (30%). As partículas vegetais ficam recobertas por uma camada impermeável que impede que as substâncias nocivas ao cimento migrem para a superfície.
- f) Carbonatação artificial: o endurecimento de materiais à base de cimento Portland realiza-se ao ar, com presença de baixa concentração de gás carbônico (0,03%). A colocação do bloco de concreto com partículas vegetais em ambientes com alta concentração de gás carbônico pode favorecer a pega e o endurecimento do cimento, permitindo a desmoldagem precoce dos materiais. Materiais desmoldados podem apresentar melhoria em suas características físico-mecânicas devido à ação do gás carbônico, após um tempo “ótimo” de cura.
- g) As partículas vegetais lavadas podem receber pulverização (betume diluído, neutro), tornando-se menos suscetíveis à ação da água. Cuidados devem ser tomados, pois uma pulverização excessiva das partículas pode prejudicar a resistência do concreto.

Diversas soluções também são possíveis e foram aplicadas para o controle da degradação dos compósitos (JOHN; AGOPYAN, 1993):

- a) Emprego de matrizes de baixa alcalinidade, com pH da água do poro inferior ao do cimento Portland comum, como o gesso e os cimentos especiais (cimentos com escória de alto forno - baixa alcalinidade).
- b) Redução da alcalinidade, por carbonatação acelerada da matriz.
- c) Proteção das fibras com polímeros, hidro repelentes (resinas e asfaltos), ou ainda agentes bloqueadores da reação de decomposição das fibras, como silicatos e sulfatos de sódio e magnésio.
- d) Emprego de compósitos em locais permanentemente secos.

Foram obtidos melhores valores de resistência à compressão do compósito (cimento e pó de serra), com tratamento do pó de serra em solução alcalina, quando comparado às amostras sem lavagem. O tratamento a base de alcalinidade tem como finalidade a redução ou eliminação das substâncias que inibem a pega do cimento e interferem no processo de hidratação (GRANDI apud DANTAS FILHO, 2004).

São muitas as vantagens citadas para a utilização das fibras em matrizes cimentantes, entre estas: as fibras vegetais favorecem a produção de componentes esbeltos (leves) com bom desempenho mecânico (elevada absorção de energia, por exemplo, quando solicitado a esforços dinâmicos), bom isolamento termo acústico, além da indispensável viabilidade econômica. (SAVASTANO; AGOPYAN, 1998)

As fibras não impedem a formação das fissuras, porém, controlam a propagação das mesmas ao longo da massa cimentada, beneficiando as propriedades mecânicas no estado pós-fissuração (MONTARDO et al., apud DANTAS FILHO, 2004)

A adição de fibras é capaz de causar um aumento da resistência mecânica, da resistência à fadiga, da resistência às cargas de impacto e dinâmicas, da ductilidade e da tenacidade. Isto é possível desde que seja feito um estudo e posterior ajuste da granulometria dos materiais a serem empregados bem como um estudo de dosagem para melhor definir o traço.

“O ajuste granulométrico das partículas vegetais depende da natureza das mesmas; algumas podem ser utilizadas diretamente como a casca de arroz, enquanto outras como o bambu ou outros tipos de madeira devem ser triturados” (BERALDO apud DANTAS FILHO, 2004, p. 12).

Para a mistura das partículas vegetais a massa de concreto deve-se também levar em consideração a estética do produto final, já que para blocos a textura influencia na qualidade do produto. Estas partículas vegetais podem variar de 2 a 15 mm de comprimento.

“A dosagem em volume recomendada para a fabricação de blocos vazados e pisos, situa-se nas faixas 1 : 4 : 3 : x a 1: 3 : 2 : x , cimento: areia: partículas vegetais” (BERALDO apud DANTAS FILHO, 2004 p. 13)

Para a produção de blocos, por se tratar de um concreto “seco”, a quantidade de água (x) deve ser determinada experimentalmente baseada no processo de dosagem, em cada situação, depende também das umidades da areia e das partículas vegetais (BERALDO apud DANTAS FILHO, 2004).

Por se tratar de um estudo com espécies nativas da região amazônica será de fundamental importância avaliar os tratamentos utilizados pelas pesquisas já existentes com estas espécies, assim como levantar os ensaios realizados.

Como por exemplo, o tratamento de Beraldo et al. (apud SOUZA, 2006, p. 39) “onde parte da amostra foi lavada por um período de duas horas em água à 80°C na concentração 100g/litro de água, e posta a secar ao ar livre”.

Este tratamento apresenta baixo custo e se mostrou eficiente em eliminar parte dos extrativos solúveis em água sem uso de substâncias químicas (SOUZA, 2006).

“Este tratamento também foi utilizado por Batista (2002), Beraldo e Carvalho (2004), Okino et al. (2004), Pimentel (2000), Ramirez e Freire (1996), Zucco (1999)” (SOUZA, 2006, p. 39)

A lavagem dos resíduos em água quente por duas horas apresentou efeito diferenciado nas espécies, colaborando de forma discreta nos resultados de algumas espécies, demonstrando a influência da presença de substâncias não solúveis em água fria e quente que interferem na hidratação da pasta de cimento (SOUZA, 2006).

O efeito da lavagem é variável sobre as espécies, e este associado à concentração de extrativos. Há a necessidade do conhecimento das substâncias que compõem os extrativos, para melhor avaliação (PIMENTEL, 2000).

Para a espécie Anani houve uma influência considerável. Os resíduos de Cedro, Quaruba e Tauari apresentaram a menor variação nos valores de resistência à compressão axial, evidenciando uma maior incompatibilidade. A análise estatística

mostrou igualdade entre os tratamentos ao natural e lavado para estas espécies. Este fato pode ter relação com o maior teor de extrativos, como também a composição dos mesmos (SOUZA, 2006).

Conclui-se assim que para estas espécies se faz necessário associar outro tipo de tratamento, de modo que seus extrativos não interfiram, ou ao menos, interfiram em menores proporções na reação de hidratação do cimento, visto que, estes extrativos em sua maioria não são solúveis em água quente. Uma das possíveis alternativas seria então associar o banho térmico à mineralização.

A mineralização pode ser feita em solução de sulfato de alumínio, cuja concentração aplicada foi de 150g/l. Este tratamento fez com que os resultados de ensaios de resistência à compressão fossem maiores para as espécies que passaram por esse processo, quando comparados a outros tipos de tratamento, como banho térmico e secagem em estufa (LIMA, 2005).

A mineralização adotada na pesquisa de Lima (2005) foi amparada por outras pesquisas já desenvolvidas, “Fonseca e Lima (2002), Campos, Beraldo e Hellmeister et al. (1998), onde os resíduos eram impregnados com solução salina cloreto de cálcio e sulfato de alumínio respectivamente” (LIMA, 2005, p. 63).

E também pelo trabalhos de “Pimentel e Beraldo (2000), onde o material utilizado para a mineralização foi o sulfato de alumínio diluído na água de amassamento e posteriormente despejado sobre as partículas de cimento e madeira homogeneizados” (LIMA, 2005, p. 63).

As espécies utilizadas na pesquisa de Lima (2005) foram: Marupá, Pau Amarelo, Angelim Pedra, Cedro, Muiracatiara, Andiroba, Sucupira, Louro Rosa e Louro Vermelho.

2.5 BLOCOS DE CONCRETO

Os Blocos de concreto são definidos pela maioria de autores estudiosos da área como elementos pré-moldados utilizados para alvenaria de vedação, de acordo com a NBR-7173 (1982). Estes elementos pré-moldados foram utilizados no Brasil pela primeira vez em 1940, para construção de casas no conjunto habitacional de Realengo, no Rio de Janeiro (ABCP, 1978).

De acordo com Medeiros e Holanda Júnior (apud RIBEIRO, 2005, p. 42):

O bloco de concreto pode ser especificamente definido como a unidade de alvenaria constituída pela mistura homogênea, adequadamente proporcionada, basicamente composta de cimento Portland, agregado miúdo e graúdo e água, conformada através de vibração e prensagem, possuindo dimensões superiores a (250 x 120 x 55) mm, correspondendo a comprimento, largura e altura, respectivamente.

De acordo com a normatização brasileira existem dois tipos de blocos que estão vinculados à sua aplicação. Portanto, blocos vazados de concreto simples para vedação, que são aqueles sem função estrutural NBR 7173 (ABNT, 1982) e blocos vazados de concreto simples para vedação com função estrutural NBR 6136 (ABNT, 1994). Observa-se que para qualquer aplicação os blocos são vazados, ou seja, não tem fundo, isto traz maior facilidade para a passagem das instalações, proporcionando também economia na argamassa de assentamento.

A norma brasileira designa os blocos tomando como base a largura, por exemplo, M-10, M-15 e M-20, referindo-se às larguras 9, 14 e 19cm, respectivamente. As dimensões padronizadas dos blocos admitem tolerâncias de +2mm para a largura e + 3mm para a altura e comprimento.

Na Tabela 03 a seguir, são mostradas as dimensões nominais dos blocos de vedação conforme NBR 7173 (ABNT, 1982):

Tabela 03 – Dimensões Nominais dos Blocos de Vedação – Unid: cm			
Designação	Largura	Altura	Comprimento
Bloco de 20 cm nominal M - 20	19	19	39
	19	19	29
	19	19	19
	19	19	9
	19	9	19
Bloco de 15 cm nominal M - 15	14	19	39
	14	19	34
	14	19	29
	14	19	19
Bloco de 10 cm nominal	9	19	39
	9	19	29
	9	19	19
	9	19	14
	9	19	9
	9	9	19

Fonte: NBR 7173 (ABNT 1982, apud DANTAS FILHO, 2004, p. 36).

A resistência à compressão é sem dúvida uma propriedade fundamental para a concepção dos blocos, principalmente para aqueles têm função estrutural. Associada a esta propriedade está a absorção e a permeabilidades destes elementos. Em locais onde será feita a aplicação do bloco em que se nota a exposição à umidade e a intempéries a análise destas propriedades é fundamental, até porque se visa um elemento com maior durabilidade possível.

Partindo deste princípio e como a pesquisa pretende abordar os blocos sem função estrutural, relacionam-se abaixo de acordo com a NBR7173 (ABNT, 1982) os valores necessários para que os blocos possam ser desenvolvidos:

a) Resistência à compressão (valores mínimos):

- média : 2,5 MPa;
- individual : 2,0 MPa

b) Umidade:

- no momento do recebimento dos blocos pelo Laboratório, estes não deverão apresentar umidade superior a 40% da quantidade de água fixada como absorção máxima;

c) Absorção (valores máximos)

- média : 10%
- individual : 15%

Como regra geral, os concretos utilizados na produção dos blocos para alvenaria, são aqueles que apresentam consistência seca. Esse tipo de consistência é semelhante à terra úmida. Portanto, o concreto tem abatimento zero e para a retirada do ar aprisionado da mistura é necessário a utilização de máquinas que conferem compacidade à mistura. Por isso, o equipamento apropriado para a fabricação destes é a vibro-prensa (TANGO, 1994).

Existem várias diferenças entre o concreto de consistência plástica e o de consistência seca. Pode-se destacar entre estas a forma como o ar é aprisionado às misturas, a trabalhabilidade e o abatimento, a granulometria final, a relação água/materiais secos, os processos de produção, entre outras (FRASSON JÚNIOR apud DANTAS FILHO, 2004).

O concreto do tipo seco caracteriza-se pela presença significativa de vazios não comunicáveis na sua estrutura e pela ausência de exsudação (TANGO, 1994).

O estudo de dosagem é importante para proporcionar uma mistura homogênea e coesa, e que conseqüentemente ocasionará uma redução no índice de vazios. Como a mistura do concreto tem a consistência seca, ou seja, leva menor quantidade de água, a reação de hidratação acaba por ser interrompida, por isso a cura dos blocos também é uma etapa importante para garantir que desse processo não apareçam microfissuras. (RIBEIRO, 2005).

Como o processo de hidratação do cimento é interrompido, praticamente todas as propriedades dos componentes ficam comprometidas, principalmente a resistência à compressão. (HOLANDA JÚNIOR apud RIBEIRO, 2005).

No entanto, acredita-se que a quantidade de água não é menor, mas sim limitada de maneira tal que sua proporção seja a ideal para que a reação ocorra e a moldagem aconteça de modo a manter o bloco firme. A resistência esta associada ao traço da mistura (rico ou pobre), composição cimento:agregado, processo de mistura e compactação, além do procedimento de cura adotado.

Existem quatro tipos de cura, que geralmente são utilizadas na produção dos blocos de concreto. A cura através de autoclaves é pouco utilizada devido aos altos custos de implantação e consumo já que utiliza temperatura entre 150°C e 205°C e pressão de aproximadamente 1,0 MPa. (RIBEIRO, 2005).

A cura natural ou ao ar livre, é recomendada por meio de aspersão de água até os sete primeiros dias evitando assim a evaporação excessiva, os blocos

devem permanecer úmidos e protegidos do vento e da insolação direta (MEDEIROS et al., 1993)

A cura em câmara a vapor é o sistema de cura mais empregado na indústria de blocos de concreto, devido ao melhor desempenho a curtas idades. A aplicação do vapor produzido por gerador ou caldeira dura cerca de duas horas, variando de 16 horas a 24 horas (MEDEIROS et al., 1993). Para realização deste tipo de cura, o bloco deve ser precedido de um período de descanso de duas horas após a moldagem, para evitar fissurações (FRASSON, 2000).

Já a cura com aspersão de água ou câmara úmida é o sistema de cura considerado ideal pelo Sinapocim (1999), para qualificação ou certificação dos produtores de blocos de concreto, segundo o Programa de Qualificação e Certificação de blocos de concreto (QUALIHAB). A cura através de aspersão de água deve ser realizada a cada 2 horas, durante 24 horas, ao passo que a cura através de câmara úmida deve ser realizada durante 5 dias após a produção dos blocos. Comparado aos demais processos de cura, a cura através de aspersão de água apresenta-se como um método simples, não exigindo grandes investimentos, pois requer apenas de uma fonte de água, sendo o tipo de cura ideal para esta pesquisa.

2.6 MÉTODOS DE DOSAGEM

De acordo com a literatura atual existem diversos métodos de dosagem que podem ser aplicados na produção dos blocos de concreto. Cita-se a seguir os métodos de dosagem mais conhecidos:

- a) Método Besser Company;
- b) Método ABCP;
- c) Método IPT/EPUSP;
- d) Método Columbia;
- e) Método Dafico.

O método Besser foi elaborado por Lucas Pfeiffenberger e recebeu esta denominação, pois foi utilizado pela fabricante de vibro-prensas norte-americana a Besser Company. Este método foi citado por Frasson Jr (2000) e amplamente utilizado pela Encol, que inclusive elaborou um manual junto ao EPUSP, intitulado

Manual do processo Construtivo Poli-Encol para Blocos Pré-Moldados (EPUSP;ENCOL,1991).

O método estabelece um proporcionamento inicial na faixa de 40% para pedrisco e 60% para a areia média. Esta proporção é em volume de massa, e deve ter a granulometria proposta pelo método de acordo com o grupo de peneiras citado por este. Assim, para ajustar o módulo de finura da mistura, pode-se até usar um terceiro material, sendo que a granulometria deve ficar de 3,60 a 3,75. O método admite para o módulo de finura final da mistura, areias médias com módulo de finura de 3,00 a 3,50 e brita 0 entre 5,00 a 5,75.

Para se alcançar uma granulometria adequada ao método Besser, seria desejável que a mistura possuísse a graduação retida nas peneiras conforme abaixo esta descrito (FRASSON JÚNIOR apud DANTAS FILHO, 2004) :

- a) Grupo 1 (Peneiras 4,8mm e 2,4mm) : grosso – 40% do material;
- b) Grupo 2 (Peneiras 1,2mm – 0,6mm – 0,3mm) : médio – 45% do material;
- c) Grupo 3 (Peneiras 0,15mm e fundo) : fino – 15% do material.

Após definir a proporção mais adequada para os agregados, deve-se executar a produção de traços-piloto a fim de testar a resistência dos blocos com testes em escala real de produção.

Alguns cuidados devem ser tomados para garantir a qualidade à mistura e a produção dos blocos, dentre os quais, o controle do tempo de ciclo na vibroprensa, para evitar variações nas resistências dos blocos, a mistura com cerca de 6% a 7,5% de umidade, a resistência à compressão desejada é que irá determinar a relação cimento:agregado e a textura dos blocos também deve ser avaliada. (EPUSP; ENCOL apud RIBEIRO, 2005). De acordo com a tabela 04 verifica-se a melhor relação cimento:agregado, considerando um coeficiente de variação na produção na ordem de 15%, de acordo com a resistência desejada:

Tabela 04 – Relações Cimento:Agregado.				
	Resistência à Compressão			
	4,5	6,0	8,0	9,0
Relação Cimento: Agregado (em massa)	1:9 a	1:8 a	1:7 a	1:6 a
	1:12	1:10	1:9	1:8

Fonte: Manual Poli/Encol (apud DANTAS FILHO, 2004, p. 34).

As experiências na fábrica demonstraram que o valor de umidade utilizado para encontrar $H_{\text{ótimo}}$ foi de 7% de umidade para misturas sem aditivos e 6% de umidade para misturas que utilizavam aditivos. Estes valores podem oscilar conforme a natureza, granulometria e quantidade dos materiais empregados, e na prática foram demonstradas que estas oscilações são superiores a 0,5% segundo (FRASSON JÚNIOR apud DANTAS FILHO, 2004).

O manual cita ainda que estes resultados estejam sujeitos à influência de alguns fatores como o tipo de cura empregado, o ensaio nos blocos com capeamento de enxofre conforme NBR7186 (ABNT, 1982), moldagem em vibroprensa e características próprias dos materiais empregados na mistura (DANTAS FILHO, 2004).

Em relação ao método da ABCP, desenvolvido por Sylvio Ferreira Júnior (1990), foi intitulado: Produção de Blocos de Concreto para Alvenaria-Prática Recomendada. Este método determina que o proporcionamento entre agregado miúdo e graúdo resulte na máxima compacidade da mistura, diminuindo os índices de vazios e aumentando a resistência dos blocos. O índice de vazios é comum principalmente quando avaliamos a quantidade de água presente na mistura (FERREIRA JÚNIOR, 1995).

A mistura trabalha com uma quantidade de água no limite máximo, já que a consistência da mistura deve ser seca. Este limite é determinado quando os blocos começam a perder coesão e a aderir nas paredes das formas. A quantidade ótima de água será aquela que proporcionar aos blocos a maior compacidade, que é verificada pesando-os logo após a moldagem (FERREIRA JÚNIOR, 1995).

Assim, o método avalia esta compacidade através da comparação de massas, utilizando um recipiente padronizado e de volume conhecido. De acordo com o método proposto, o adensamento deverá ser feito com uma haste de ferro, que pode ser uma barra de aproximadamente 20 mm ($\frac{3}{4}$ " de polegada) de diâmetro, de forma que penetre entre os agregados. Deverão ser dados 8 golpes para cada 100cm² de área da boca do recipiente (FERREIRA JÚNIOR, 1995).

A dosagem com este método se dá no encontro da mistura com maior massa, ou seja, maior compacidade, seguindo três etapas (FERREIRA JÚNIOR, 1995):

- a) Determinação da melhor composição de agregados: para isso os agregados devem estar secos e previamente misturados. Colocá-los no

recipiente com quadro (colarinho) metálico já adaptado e de volume conhecido (40cm x 40 cm), adensar retirar o quadro, rasar e pesar. A composição que apresentar a maior massa será a composição ideal;

- b) Determinar a quantidade de água: deve-se utilizar o limite máximo, que é identificado quando o concreto perde coesão e adere nas paredes das formas do equipamento.
- c) Determinação da quantidade de cimento: é possível fabricar blocos de boa aparência com diversos consumos de cimento, desde traços ricos 1:6 em massa, até traços mais pobres 1:10; 1: 15, onde a resistência desejada é que irá determinar a quantidade de cimento. Para qualquer escolha, a composição de agregados deve permanecer a mesma.

A tabela 05 que segue, demonstra os traços normalmente empregados na fabricação de blocos de concreto sem função estrutural conforme estudos da Associação Brasileira de Cimento Portland – (ABCP apud DANTAS FILHO, 2004, p. 29):

Tabela 05 – Traços para Fabricação de Blocos de concreto					
Materiais	Traços (massa: pó : m ³ de concreto)				
	1:10		1:12		1:13
Cimento: Agregado	1: 5 :5	1: 6 :4	1: 6 :6	1: 6,5 :5,5	1: 6,5 :6,5
Relação água /cimento	1	1	1	1	1
Cimento (Kg)	197	197	171	171	160,5
Agregado (total)	1970	1970	2052	2052	2086
Areia considerando 4% de umidade (Kg)	985	1182	1026	1110	1043
Brita 0 (Kg)	985	788	1026	942	1043
Água (litros)	158	150	130	127	119

Fonte: ABCP (apud DANTAS FILHO, 2004, p. 29).

Independente do método a ser adotado deve-se dar atenção especial à quantidade de água a ser utilizada. A falta de água faz com que a probabilidade de segregação seja maior. Com isso dificulta-se a compactação e aumenta-se o índice

de vazios que conseqüentemente faz com que a resistência final do bloco seja afetada.

Por isso, a compactação produzida pela vibro-prensa deve ser processada de modo a favorecer a resistência final pretendida. (RIBEIRO, 2005)

“A porcentagem de água ideal varia entre 4% e 7% da massa dos materiais secos. Portanto, essa quantidade de água fica entre 110 l/m³ a 130l/m³ de concreto” (KOKUBO et al., apud RIBEIRO, 2005, p. 47).

Já no que se refere ao método IPT/EPUSP, este se baseou no método para dosagem de concreto plástico e adaptou-o a um concreto para formação de blocos estruturais. Esta adaptação consistiu em adequar um grau de compactação máximo durante a moldagem entre os agregados graúdos e miúdos, em seis passos (TANGO, 1994):

- a) Ajuste dos agregados;
- b) Estabelecer a resistência média a ser obtida;
- c) Estimar os teores de agregado/cimento, definindo três traços de concreto: rico, médio e pobre;
- d) No estado fresco determinar a proporção entre argamassa e umidade ótima do traço médio. Esta proporção deve apresentar bom aspecto superficial dos blocos, massa unitária elevada boa trabalhabilidade;
- e) Confeccionar misturas experimentais e realizar ensaios quanto resistência à compressão nos blocos. Estes resultados serão correlacionados em um diagrama de dosagem que é composto de quatro quadrantes, onde cada um destes possui uma relação própria que é interligada aos quadrantes adjacentes;
- f) Com este resultado determina-se graficamente a relação água/cimento correspondente a qualquer resistência.

Já o método Columbia, propõe estudos em blocos de concreto moldados em laboratório, utilizando-se de conceitos como o módulo de finura ótimo das misturas. Este método tem como foco principal as características como resistência à compressão, textura, porosidade, trabalhabilidade e disponibilidade dos agregados (RIBEIRO, 2005).

“O método Columbia foi baseado em estudos de Wilk (1948 apud FRASSON, 2000) e Menzel (1934 apud FRASSON, 2000)” (RIBEIRO, 2005, p. 52)

Assim, para que a mistura seja coesa, com uma adequada trabalhabilidade, facilidade de compactação (moldagem) e produção, é recomendado alguns critérios (RIBEIRO, 2005):

- a) Quantidade mínima de finos (passantes na peneira 0,3mm), variando entre 12% a 15%, em volume com relação à mistura total (incluindo o cimento);
- b) Dependendo da forma do agregado graúdo e tipo de areia usada e os teores dados para agregado miúdo podem ainda variar entre 18% e 20%;
- c) Na maioria dos casos, os fabricantes optam em utilizar agregados graúdos com dimensões menores que 12,5mm. O fator determinante para este limite é de que o agregado não pode exceder a espessura da parede dos blocos, que geralmente gira em torno de 1,5 a 3,0cm;
- d) A combinação entre os agregados (graúdo e miúdo) deve gerar uma mistura que seja 100% passante na peneira 9,5mm e 20% a 30% passante na peneira 4,75mm.

A metodologia do método Columbia recomenda que:

O único modo de realmente testar a mistura adequada é produzindo concretos que variam o agregado graúdo de 25% a 55%, misturando-o com o agregado miúdo e diferentes proporções de cimento, quais sejam: 1:6, 1:7, 1:8, 1:9, 1:10 e 1:11. Segundo esta metodologia, não são necessários percentuais maiores que 40% de agregados graúdos na mistura para alcançar a máxima resistência mecânica das peças produzidas com determinada quantidade de cimento (RIBEIRO, 2005, p. 52).

Em relação ao método Dafico, elaborado por José Dafico Alves e utilizado na pesquisa de Ribeiro (2005), sabe-se que este abrange toda sistemática da produção dos blocos, adequando os traços à produção, pois nesta pesquisa foi feita a dosagem e avaliação dos blocos de concreto com e sem função estrutural produzidos com resíduos de concreto compactados com rolo.

Este método determina que os agregados que devem ser utilizados podem ser desde o pó de pedra até a brita 0, desde que apresentem tamanho limitado até 12,5mm, podendo variar de 9,5mm a 12,5mm. A inovação consiste em se utilizar o pó de pedra (resíduo de britagem) em até 10% do agregado total da mistura (ALVES, 2004). Inicialmente estabelece-se uma composição granulométrica dos agregados em função de uma curva de referência, tal como a curva de Talbot-Richart (ALVES, 2004, p.16), esta é definida através da equação descrita a seguir:

$$P = \left(\frac{1 - d^n - 0,15^n}{D^n - 0,15^n} \right) \times 100$$

Onde:

P = Porcentagem retida acumulada na peneira;

d = dimensão da peneira (mm);

D = dimensão máxima da mistura (mm);

n = coeficiente igual a 0,5 para agregado natural e 0,8 para agregado britado.

Já as curvas de Jean Bolomey (ALVES, 2004, p. 16) apresentam-se através da seguinte equação:

$$P = (100 - A) \times \left(1 - \sqrt{\frac{d}{D}} \right)$$

Onde:

P = Porcentagem retida acumulada na peneira;

d = dimensão da peneira (mm);

D = dimensão máximo da mistura (mm);

a = coeficiente utilizado para agregados britados, igual a 12 para mistura seca, 13 para mistura branda e 14 para mistura fluida.

Com relação às curvas de Fuller (ALVES, 2004, p.17) também indicam uma boa composição granulométrica total dos agregados para blocos, sendo definidas através da equação:

$$P = \left(1 - \left[\frac{d}{D} \right]^n \right) \times 100$$

Onde:

P = Porcentagem retida acumulada na peneira;

d = dimensão da peneira (mm);

D = dimensão máxima da mistura (mm);

n = coeficiente relacionado com a forma e textura dos agregados, igual a 0,5 para agregado natural e 0,4 para agregado britado.

Calculam-se assim os módulos de finura do agregado adotado, utilizando-se as três equações correspondentes às curvas. Sendo que, após caracterização dos materiais disponíveis ($D_{m\acute{a}x}$, módulo de finura, massa específica e massa unitária), utiliza-se o módulo de finura da composição para atender aos módulos de finura das curvas granulométrica teóricas, obtendo assim o teor ideal de argamassa correspondente a cada curva granulométrica. A curva granulométrica de Bolomey é considerada a curva ideal para a produção de blocos pelo fato de proporcionar uma mistura mais argamassada, ideal para produção destes elementos pré-moldados (ALVES, 2004).

Após a determinação do teor de argamassa, procede-se à ajustagem das composições dos agregados, adotando-se uma relação cimento: agregado (1: m), sendo os valores utilizados em massa. A partir dos percentuais, são obtidas de três ou mais combinações entre os agregados (alterando o módulo de finura da mistura), de forma a minimizar o consumo de cimento sem prejuízo da resistência mecânica e da trabalhabilidade do concreto, realizando em seguida um desenvolvimento experimental destas três misturas. O desenvolvimento experimental consiste no ajuste ideal de argamassa para um traço intermediário, fixando um consumo de cimento e determinando a consistência através do ensaio designado por *Cannon Time* (FURNAS, 1997), que consiste na determinação do intervalo de tempo decorrido do início da vibração até aquele em que a argamassa ocupe todos vazios da mistura. Em seguida são executados os três traços, obtidos através das curvas granulométricas teóricas, dos quais são moldados blocos de concreto para a determinação da resistência à compressão e com os resultados são elaborados os diagramas de dosagem. Por fim, são feitos alguns ajustes do teor de agregado miúdo. Este método necessita de pelo menos três pontos que são usados para montar os diagramas de dosagem correlacionando resistência à compressão e água unitária, massa específica e água unitária e, por fim, resistência à compressão e massa específica. O teor de argamassa ideal será aquele que apresentar maior massa específica e maior resistência à compressão (ALVES, 2004).

Este método introduz conceitos inovadores na produção dos blocos, como o ensaio de consistência, proporcionando uma previsão adequada da umidade requerida pela mistura e, conseqüentemente, coesão necessária para que esta continue firme no transporte após a moldagem, desenvolvendo assim, uma mistura adequada e econômica.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 PROGRAMA EXPERIMENTAL

Este programa teve como base teórica os estudos realizados na área de compósitos, em particular os de cimento:madeira pois, foi através destes, ou melhor, da análise de seus resultados, que se pode ter parâmetros de escolha, principalmente no que se refere ao tratamento aplicado nos resíduos de serragem.

Assim, por não existir uma normatização específica para a formação deste tipo de compósito, baseiam-se como metodologia experimental os estudos do compósito em questão. Pode-se dizer que a ausência dessa normatização foi uma das limitações deste trabalho. No entanto, não houve comprometimento na elaboração do programa experimental, pois os resultados dos estudos existentes nessa área deram suporte técnico para a elaboração da metodologia adotada. Para melhor entender as etapas do programa experimental, segue o fluxograma na figura 02, que demonstra de maneira clara todo o processo:

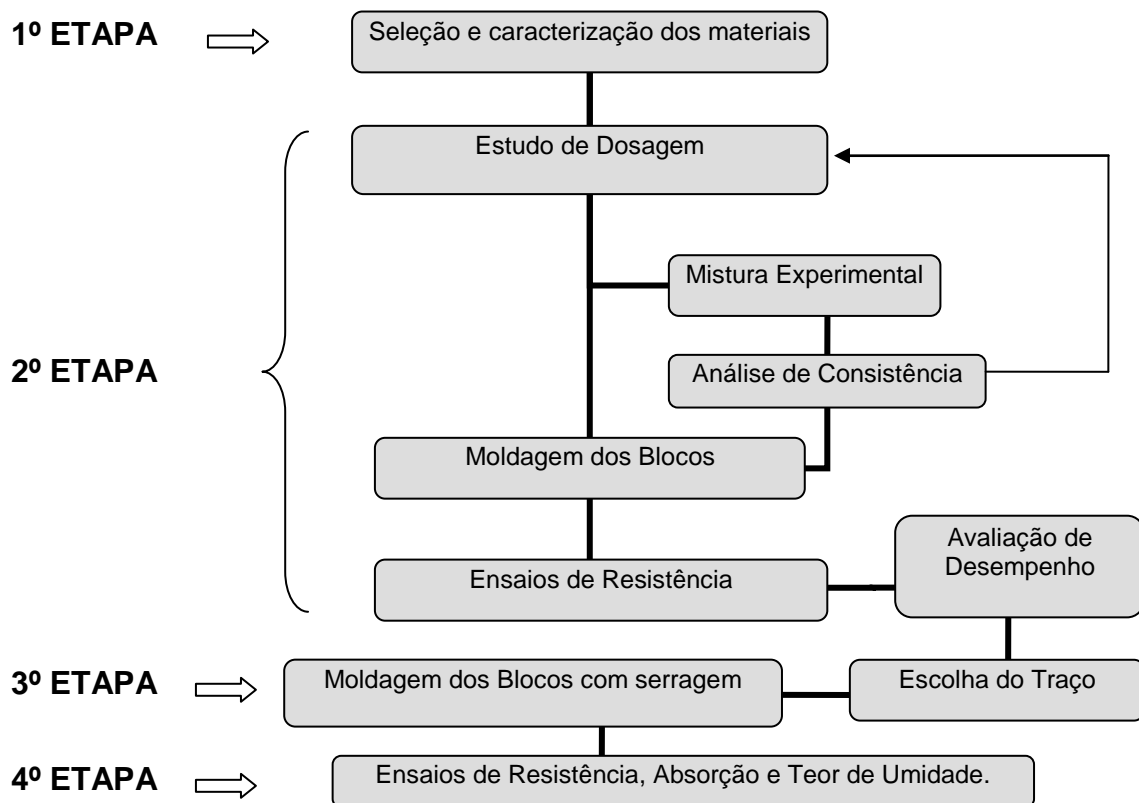


Figura 02 – Fluxograma do Programa Experimental.

A primeira etapa do programa, denominada de seleção e caracterização dos materiais, é de fundamental importância para que se possa entender o comportamento dos materiais quando aplicados na mistura. Esta etapa teve início com a coleta, processamento e posterior caracterização de todos os materiais utilizados na pesquisa: cimento, agregados e serragem.

Em relação ao cimento, a escolha do CPV- ARI foi feita por razões técnicas expostas a seguir.

Em se tratando da serragem, sua coleta foi feita em galpões situados na orla do Rio Pará, no bairro do Guamá, nas proximidades da Universidade Federal do Pará, em Belém, onde atuam diversas serrarias. Cabe ressaltar que o resíduo de madeira foi caracterizado conforme a normatização. Determinou-se a massa unitária no estado seco e solto, de acordo com a NBR 7251 (ABNT, 1982), no estado seco e compactado conforme a NBR 7810 (ABNT, 1983) e a massa específica por meio do frasco de Chapman de acordo com uma adaptação à norma da NBR 9776 (ABNT, 1987), (GRANDI apud. DANTAS FILHO, 2004).

Em relação ao agregado miúdo e graúdo (areia e seixo), utilizou-se na pesquisa o que estava disponível no Laboratório de Engenharia Civil da UFPA (LEC). Escolheu-se o seixo de menor granulometria, para facilitar a compactação da mistura e para que o mesmo não interferisse na textura dos blocos. Para início de caracterização destes materiais, os principais ensaios empregados foram os seguintes: composição granulométrica, massa específica e de massa unitária, segundo recomendações dispostas na NBR 7217 (ABNT, 1987), NBR 9776 (ABNT, 1987), e a NBR 7251 (ABNT, 1982), respectivamente.

Na segunda etapa do programa experimental, foi elaborada a dosagem do concreto, que se fez necessária para melhor adequar a proporção dos materiais empregados na formação do compósito. Esta dosagem foi baseada no Método da ABCP (FERREIRA JÚNIOR, 1995). O método foi escolhido devido sua facilidade em se compor a mistura, tendo como parâmetro apenas os teores de massa seca, ou seja, a proporcionalidade entre areia e seixo. A escolha da melhor proporção foi baseada na maior massa, isso se traduz na maior compacidade possível, pois o método entende que quanto maior a massa maior a compactação da mistura e, por consequência, obtêm-se melhores resultados de resistência.

O estudo de dosagem definiu o traço de referência de acordo com aquele que teve melhor desempenho em relação à consistência de moldagem, bem como o que teve melhor desempenho em relação à resistência à compressão dos blocos. O traço para a utilização do resíduo foi de substituição do agregado miúdo (areia), visando então adequar à melhor proporção cimento-madeira para assim comprovar se existe viabilidade técnica quanto à substituição da areia pelo resíduo de madeira na fabricação do bloco vazado de concreto simples para alvenaria sem função estrutural.

Como avaliação inicial do traço de referência verificou-se a consistência da mistura, lembrando que para a moldagem dos blocos de concreto esta consistência deve ser seca, ou seja, a mistura do concreto não poderia ter aparência plástica e homogênea, mas sim uma aparência seca e menos coesa.

A consistência como análise inicial foi de fundamental importância, pois através desta se chegou a um teor ótimo de água para cada mistura. Assim, para cada traço foi feita uma análise individual até se chegar à quantidade de água considerada ideal ao traço estudado. Posteriormente, quando comparados os traços, a análise foi feita de acordo com os resultados dos ensaios de resistência à compressão. Sendo o melhor traço aquele que obtivesse os melhores resultados de resistência.

Sendo escolhido o traço de referência, partiu-se para a terceira etapa do programa da pesquisa que foi a de substituição do agregado miúdo por teores de resíduos de madeira, e assim moldar os blocos com a serragem. O teor de substituição foi escolhido em função dos estudos realizados na área de produção de blocos baseado no aproveitamento de materiais alternativos, como por exemplo, o estudo de Dantas Filho (2004).

Conseguiu-se atingir valores de substituição de até 50% de volume de pó de serra em relação ao volume de agregado miúdo e nessa proporção, chegou-se a ter um resultado muito favorável em relação ao conforto térmico e acústico, estando em conformidade com as normas referentes à resistência, absorção e teor de umidade para blocos de vedação (DANTAS FILHO, 2004). Considerando que neste estudo as espécies adotadas foram: pinus (***Pinus caribaea var. hondurensis***), eucalipto (***Eucalyptus citriodora***) e cerejeira (***Amburana sp.***), concluiu-se que o teor de extrativos não interferiu de maneira significativa na formação do compósito, já que os blocos obtiveram os padrões adequados em norma, isto quer dizer que,

admite-se para estas espécies citadas os teores de substituição de até 50%. No entanto o resíduo adotado nesta pesquisa é diferente, ou seja, para o Angelim Vermelho (*Dinizia excelsa Ducke*) não se têm registro de estudos no que tange ao seu aproveitamento na produção de blocos.

Portanto, a opção de se escolher valores menores que 50% de substituição além de ser feita baseada na escassez de literatura, também se fez em função de alguns estudos apontarem para a maior compatibilidade de espécies do tipo coníferas na formação de compósitos como o de Latorraca (2000).

Seis espécies, incluindo coníferas e dicotiledôneas, foram estudadas usando a proporção cimento/madeira, variando de 14/1 a 4/1 (em massa), onde o tempo de hidratação foi drasticamente prolongado, quando foi diminuída a relação cimento/madeira, especialmente para as dicotiledôneas. (LEE et al apud SOUZA 2006 p. 22).

Assim, para verificar a viabilidade desta espécie na composição dos blocos, bem como avaliar a eficácia do tratamento aplicado no resíduo, definiu-se a substituição de 5%, 10% e 15% do agregado miúdo.

Na última etapa deste programa foi feita a análise dos blocos moldados com a serragem. Os ensaios realizados foram baseados na NBR7184 (ABNT, 1992) para resistência à compressão e baseado na NBR 13118 (ABNT, 1991) no que se refere aos ensaios de absorção por imersão e teor de umidade.

Foram moldados 10 blocos para cada traço de substituição, onde três desses blocos foram rompidos aos sete dias, e outros três aos vinte e oito dias. Dos quatro blocos restantes, três foram usados para o ensaio de absorção e teor de umidade. Ficando um bloco de reserva, para alguma eventualidade, como quebra no transporte do local de moldagem até o laboratório onde se realizaram os ensaios. Cabe lembrar que também foi analisado o peso próprio, ou seja, comparou-se o peso dos blocos de referência aos blocos formados com pó de serra.

Podemos ter uma visualização melhor e mais exata da quantidade de blocos moldados de acordo com as tabelas 06 e 07 a seguir, onde são expostas as quantidades dos blocos de referência (estudo de dosagem) e os blocos com serragem (teores de substituição; 5%, 10% e 15%):

Tabela 06 – Quantidade de Blocos para Estudo dos Traços de Referência.				
Resistência à Compressão Axial				
Traços de Estudo	Aos 7 dias	Aos 28 dias		Total
1:5	3 Blocos	6 Blocos	1 Bloco	10 Blocos
1:7	3 Blocos	6 Blocos	1 Bloco	10 Blocos
1:8	3 Blocos	6 Blocos	1 Bloco	10 Blocos
1:10	3 Blocos	6 Blocos	1 Bloco	10 Blocos
TOTAL				40 Blocos

Tabela 07 – Quantidade de Blocos para o Estudo de Teores de Substituição					
	Resistência à Compressão Axial		Absorção		
	Aos 7 dias	Aos 28 dias	28 dias	Total	
T5 5% de Resíduo	3 Blocos	3 Blocos	3 Blocos	1 Bloco	10 Blocos
T10 10% de Resíduo	3 Blocos	3 Blocos	3 Blocos	1 Bloco	10 Blocos
T15 15% de Resíduo	3 Blocos	3 Blocos	3 Blocos	1 Bloco	10 Blocos
TOTAL					30 Blocos

As características técnicas do bloco são indiscutivelmente importantes para a avaliação da qualidade do mesmo. Esta avaliação é dada em função dos resultados dos ensaios realizados, que sofrem influência direta dos materiais aplicados no estudo, isso quer dizer que, dependendo do tipo de material empregado, se obtêm variações nesses ensaios. Portanto, o conhecimento deste material é de suma importância para entender o comportamento destes na mistura do concreto. Por isso, há necessidade de caracterização dos materiais que formam a mistura do compósito.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAS

a) Cimento

O aglomerante utilizado na pesquisa foi do tipo CPV – ARI, alta resistência inicial, conforme NBR 5733 (ABNT, 1991). A escolha deste cimento se deve à elevada resistência adquirida já nos primeiros dias, o que favorece a desmoldagem rápida dos blocos. Além disso, o resíduo adotado na pesquisa é orgânico e sabe-se que a influência deste tipo de material é considerável nos primeiros sete dias de idade, e que nesta fase inicial a interferência na reação de hidratação é com efeito de retardamento (METHA; MONTEIRO, 1994).

Portanto, a reação acelerada nas idades iniciais foi o principal motivo pra a escolha deste cimento. O CPV-ARI está sendo muito utilizado na indústria de painéis cimento:madeira (SOUZA, 2006). Tal afirmativa também tem comprovação pelas pesquisas realizadas nos últimos anos em relação a este tipo de compósito, como a de Batista (2002); Beraldo et al. (2002); Latorraca (2000) e Souza (2006). Além destes, outros estudos também demonstram a eficácia deste tipo de cimento na formação de elementos pré-moldados, como os blocos, onde utilizam materiais alternativos em sua composição, para este caso, pode-se citar o estudo de Dantas Filho (2004) que utilizou serragem e o de Fioriti (2002) que utilizou resíduos de borracha.

De acordo com a tabela 08, exposta a seguir, identificam-se as propriedades do cimento:

Tabela 08 – Propriedades do Cimento Portland CP V-ARI					
ENSAIOS QUÍMICOS					
Ensaio	NBR	Unid	Resultados	Especificação Norma NBR 5733/91	
Perda ao Fogo – PF	5743/89	%	3,21	≤4,5	
Óxido de Magnésio – MgO	9203/85	%	2,88	≤6,5	
Anidro Sulfúrico – SO ₃	5745/89	%	3,60	≤3,5	
Resíduo Insolúvel	8347/92	%	1,22	≤1,0	
Equivalente Alcalino em Na ₂ O (0,658 x K ₂ O% + Na ₂ O%).	-	%	0,88	Não Aplicável	
Óxido de Cálcio Livre – ão (Livre)	7227/90	%	1,44	Não Aplicável	
ENSAIOS FÍSICOS E MECÂNICOS					
Ensaio	NBR	Unid	Resultados	Especificação Norma NBR 5733/91	
Área Específica (Blaine)	7224/96	m ² /Kg	4.950	≥3000	
Massa Específica	6474/84	g/cm ³	3,11	Não Aplicável	
Densidade Aparente	-	g/cm ³	1,07	Não Aplicável	
Finura – Resíduo na Peneira de 0,075mm (#200)	11579/91	%	0,42	≤6	
Finura – Resíduo na Peneira de 0,044mm (#325)	11579/91	%	2,62	Não Aplicável	
Água da Pasta de Consistência Normal	11580/91	mim	31,1	Não Aplicável	
Início de Pega	11581/91	mim	133	≥60	
Fim de Pega	11581/91	mim	201	≤720	
Expansibilidade de Lê Chatelier – a quente	11582/91	mm	0	≤5,0	
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO					
Idade (dias)	Mím	Máx	Média	Desvio	Especificação Norma NBR 5733/91
1	22,1	30,1	26,1	2,08	≥14,0
3	31,6	37,6	34,8	1,46	≥24,0
7	34,1	41,4	38,3	1,69	≥34,0
28	42,7	50,4	45,0	1,34	Não Aplicável
Fonte: SOUZA, 2006, pg. 37.					

b) Madeira

O resíduo adotado neste trabalho foi o da espécie Angelim Vermelho (*Dinizia excelsa Ducke*). Estes foram recolhidos em sacos plásticos na região metropolitana de Belém e sua doação foi de acordo com a disponibilidade comercial no momento da realização da pesquisa. Assim, a escolha desta espécie foi em função comercial, pois era esse tipo de madeira que estava sendo a mais utilizada comercialmente no momento da realização da pesquisa.

De acordo com a tabela 09, podemos analisar as características do resíduo desta espécie:

Tabela 09 – Caracterização do Resíduo – Serragem				
Determinações	Método de Ensaio	Resultados		
Composição Granulométrica	NBR 7217 (ABNT, 1987)	Abertura da Peneira (mm)	Porcentagem Retida (em massa)	
		ABNT (mm)	Indiv.	Acum.
		4,8	1,87	1,87
Massa Unitária Seco e Solto	NBR 7251 (ABNT, 1982)	0,253Kg/dm ³		
Massa Unitária Seco e Compactado	NBR 7251 (ABNT, 1982)	0,285Kg/dm ³		
Massa Específica	NBR 9776 (ABNT 1987)	1,133g/cm ³		

Em relação à massa específica foi feita uma adaptação a norma NBR 9776 (ABNT, 1987), por meio do frasco de Chapman. Esta adaptação constou do seguinte: substituiu-se a água por 350 cm³ de álcool e o agregado miúdo por 75g de pó de serra. A substituição da água por álcool deveu-se ao fato deste ter menor densidade do que a água e o pó de serra ser de massa unitária menor do que da areia. Utilizando a água, parte do pó de serra bóia na superfície, problema este eliminado pelo uso do álcool. (DANTAS FILHO, 2004).

Para o peneiramento utilizou-se apenas a abertura de #4.8, já que visivelmente grande parte do material apresentava-se em formato de pó. Esse procedimento foi adotado apenas para dar uniformidade ao material já que em certas amostras coletadas existia certa variabilidade de tamanho, com pedaços de

maravalha, cascas e algumas impurezas em função do local onde estavam depositados os restos da madeira. Assim, a percentagem retida é insignificante, pois ficou em média de 1,87%.

De acordo com pesquisas recentes, esta espécie de madeira é muito pesada e dura ao corte, apresentando superfície lisa ao tato e sem brilho. Além dessas propriedades, o Angelim Vermelho também demonstra resistência ao ataque de organismos xilófagos conforme análise laboratorial além de ser indicado para diversas aplicações, as mais usuais são em função de suas principais características: o peso e as propriedades físico-mecânicas altas.

Assim, a utilização dessa espécie se faz na maioria das vezes em aplicações externas como: pontes, postes, mourões, estacas, entre outras. Na construção civil, é usado comumente para vigas, caibros, ripas, tacos e tábuas para assoalho, além de paredes divisórias. (ANGELIM VERMELHO, 1988).

Pode-se verificar com mais detalhamento as características físicas e propriedades mecânicas dessa espécie conforme segue tabela 10 e 11:

Propriedades Físicas		Classificação
Massa específica aparente (densidade) a 15% de umidade	1,09	muito pesada
Contrações (%) (do p.s.f. até 0% de umidade)	Radial	4,2
	Tangencial	6,6
	Volumétrica	14,6
	Coeficiente de Retrabilidade Volumétrica	0,64
Fonte: Angelim Vermelho, 1988.		

Tabela 11 – Propriedades Mecânicas do Angelim Vermelho				
Propriedades Mecânicas				Classificação
Compressão Axial	Limite de Resistência (kgf/cm ²)	Madeira verde	665	Alto
		Madeira a 15% de umidade	825	Alto
	Coeficiente de influência da umidade (%)		4,0	Médio
	Coeficiente de qualidade		7,5	Médio
	Limite de proporcionalidade – Madeira verde (kgf/cm ²)		-	-
	Módulo de elasticidade – Madeira verde (kgf/cm ²)		-	-
Flexão Estática	Limite de resistência (kgf/cm ²)	Madeira verde	1.017	Médio
		Madeira a 15% de umidade	1.408	Alto
	Relação L/F - madeira verde		-	-
	Limite de proporcionalidade – Madeira verde (kgf/cm ²)		603	Alto
	Módulo de elasticidade – Madeira verde (kgf/cm ²)		143.500	Médio
Choque (madeira seca ao ar)	Trabalho absorvido (kgf.m)		4,97	Alto
	Coeficiente de resiliência R		0,79	Alto
	Cota dinâmica R/D2		0,70	Média
Cisalhamento- madeira verde (kgf/cm ²)			-	-
Dureza Janka (kgf)			-	-
Tração normal às fibras - madeira verde (kgf/cm ²)			86,9	Média
Fendilhamento - madeira verde (kgf/cm ²)			11,4	Alto
Fonte: Angelim Vermelho, 1988.				

c) Areia

A areia que se utilizou nesta pesquisa é de natureza quartzosa, oriunda de cava de rio, extraída de jazidas localizadas na cidade de Ourém (PA).

Esse material, conforme tabela 12 a seguir, foi caracterizado com os ensaios de composição granulométrica, DMC, módulo de finura, massa específica, massa unitária e coeficiente de inchamento de acordo com as normas da ABNT especificadas:

Tabela 12 – Caracterização do Agregado Miúdo – Areia.				
Determinações	Método de Ensaio	Resultados		
		Abertura da Peneira (mm)	Porcentagem Retida	
Composição granulométrica NBR 7217 (ABNT, 1987)	NBR 7217 (ABNT, 1987)	ABNT (mm)	Indiv.	Acum.
		4,8	0,00	0,00
		2,4	0,30	0,30
		1,2	1,20	1,50
		0,6	4,20	5,70
		0,3	9,10	14,80
		0,15	56,80	71,60
		< 0,15	20,40	92,00
		Fundo	8,00	100,00
		DMC	NBR 7217 (ABNT, 1987)	2,4 mm
Módulo de finura	NBR 7217 (ABNT, 1987)	1,86		
Massa específica	NBR 9737 (ABNT, 1987)	2,64 Kg/dm ³		
Massa unitária	NBR 7251 (ABNT, 1982)	1, 56 Kg/dm ³		
Coef. de inchamento	NBR 6467 (ABNT, 1987)	1,40		
Imp. Orgânicas	NBR 7220 (ABNT, 1987)	> 300 p.p.m		

d) Seixo

Utilizou-se o seixo rolado como agregado graúdo, pois é o material mais utilizado na região para produção de concreto e elementos pré-moldados. O material é de natureza quartzosa, sendo extraído de uma jazida no nordeste do estado do Pará.

O seixo foi devidamente seco e caracterizado com os ensaios de composição granulométrica, DMC, resistência à abrasão Los Angeles, massa específica e massa unitária de acordo com as normas da ABNT especificadas na tabela 13:

Tabela 13 - Caracterização do Agregado Graúdo - Seixo				
Determinações	Método de Ensaio	Resultados		
Composição Granulométrica NBR 7217(ABNT, 1987)	NBR 7217 (ABNT, 1987)	Abertura da Peneira (mm)	Porcentagem Retida	
		ABNT (mm)	Indiv.	Acum.
		12,5	2,04	2,04
		9,5	15,70	17,74
		4,8	40,28	58,02
		2,4	26,12	84,14
		1,2	6,92	91,06
		< 1,2	8,94	100,00
Módulo de finura	NBR7217 (ABNT, 1987)	2,53		
Massa específica	NBR9776 (ABNT, 1987)	2,63 Kg/dm ³		
Massa unitária	NBR7251 (ABNT, 1982)	1,60 Kg/dm ³		
Dmax	NBR7217 (ABNT, 1987)	12,50 mm		
Abrasão	NBR 6465 (ABNT, 1984)	58,91 %		

e) Equipamento

Foi utilizada uma betoneira para a mistura do concreto, e para a moldagem dos blocos uma máquina semi-automática da Marca Menegotti, cujo modelo é MBM-3. Essa máquina funciona como uma vibro-prensa de desmolde imediato. A máquina é demonstrada a seguir pela figura 03:



Figura 03– Máquina de Blocos MBM-3
Fonte: www.menegottiequipamentos.com.br, 2007.

De acordo com a fabricante, o equipamento é semi-automático e têm a finalidade de fabricar blocos, tijolos maciços e pavimentos de concreto com alta produção e sem a necessidade de mão-de-obra especializada. A fabricante ainda garante a rápida produção.

- a) Carregamento manual do carrinho de alimentação (Operação feita pelo operador da betoneira de 400 litros*, de acordo com fabricante);
- b) Alimentação do molde com o carrinho de alimentação com vibração simultânea (Operação feita pelo operador da máquina de blocos manual);
- c) Liberação do contra-molde sobre o molde;
- d) Extração;
- e) Retirada do pallet carregado e introdução do novo pallet;
- f) Descida do molde (Reinício do ciclo).

Abaixo na figura 04, apresenta-se um esquema de funcionamento da vibro-prensa:

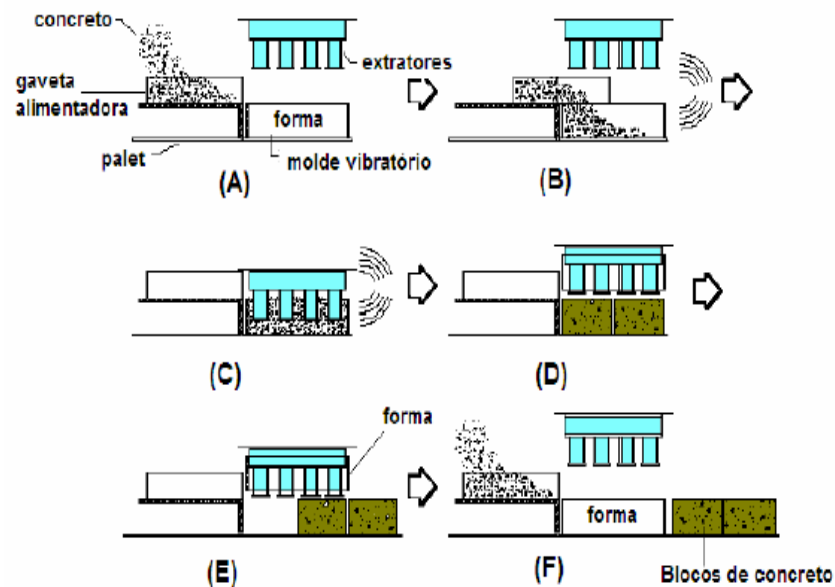


Figura 04 – Seqüência de Funcionamento da Vibro-prensa.
Fonte: Dantas Filho, 2004, p. 39

3.3 TRATAMENTO DO RESÍDUO DE MADEIRA

Pode-se afirmar que o principal enfoque deste trabalho está relacionado ao tratamento aplicado no resíduo de madeira. Isto porque, como já citado anteriormente, a alcalinidade do cimento pode degradar as fibras vegetais, quando o PH é acima de 13, além disso, estas fibras quando entram em contato com a água de amassamento acabam por liberar ácido e açúcares que interferem no processo de hidratação dos grãos de cimento.

Em relação a esses extrativos, sabe-se que grandes quantidades de açúcar, por exemplo, 0,2 a 1% em massa, dependendo da composição química do cimento, inviabilizam virtualmente a pega deste. Quando o açúcar é usado como retardador, as resistências iniciais são reduzidas, aumentando após sete dias de cura em relação a uma pasta de cimento sem retardador (NEVILLE, 1997).

Partindo deste princípio, descreve-se a seguir todas as etapas do processamento de coleta, tratamento e secagem da serragem, até a incorporação desta na massa de concreto, bem como se demonstra estas etapas através da seqüência de figuras:

- a) Recolhimento dos resíduos de madeira nas serrarias;
- b) Após a coleta, secou-se o material em estufa. A secagem foi feita a uma temperatura controlada de até 90°C, durante 24 h, evitando assim que as fibras se degradassem. Adotou-se esse procedimento para retirar da serragem a umidade excedente, atingindo assim um ponto de equilíbrio, dando maior uniformidade ao resíduo. Além disso, teve-se como objetivo reduzir os extrativos presentes nos lumens celulares da madeira. (LIMA, 2005). Tal procedimento está conforme a figura 05 a seguir:



Figura 05 – Secagem em Estufa.

- c) Posteriormente foi feito o peneiramento, utilizando-se a peneira com abertura #4.8, onde se obteve um pó de serra. Nessa etapa, ressaltase que a porcentagem retida na peneira foi pouco significativa, em média de 1,87% para cada amostra de 100g. O resíduo coletado em si, foi praticamente todo aproveitado.
- d) Iniciou-se o tratamento das partículas de madeira, ou seja, do pó de serra, com a lavagem em solução alcalina (GRANDI, 1991).
- e) Os resíduos ficaram imersos durante 24hs na solução alcalina, cuja quantidade de cal foi de 5% p/p (peso/peso) da massa unitária do pó de serra. A cal foi diluída na proporção de 10 litros de água para 1 kg de pó de serra seco, onde se empregou a cal hidratada, tipo CH-III, de uso corrente em pinturas. A imersão é demonstrada a seguir pelas figuras 06 e 07:

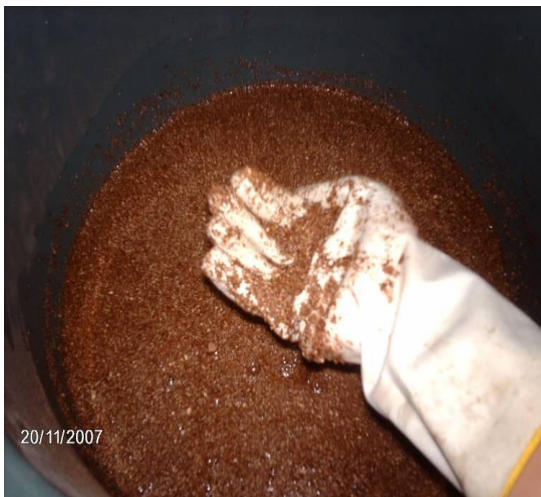


Figura 06 – Imersão da Serragem.



Figura 07 – Extrativos Liberados.

- f) Após 24 horas de imersão o material foi lavado em água corrente conforme figura 08, para posteriormente ser colocado para secar a sombra durante três dias.



Figura 08 – Lavagem do Resíduo em Água corrente

- g) Após esse período de três dias verificou-se que as fibras ainda estavam muito encharcadas o que acabaria por interferir no trabalho de dosagem dos blocos, já que o fator água:cimento interfere diretamente na consistência da mistura no estado fresco. Foi constatado que a umidade do resíduo após três dias estava com teor em média de 60%.
- h) Fez-se uma mistura experimental de modo a se chegar a um teor de umidade considerado ótimo, onde para tal, avaliou-se a consistência de

moldagem do concreto no estado fresco, através do “Slump test”, onde se buscou abatimento entre 0 e 20mm para se obter consistência seca. Concluiu-se que esse teor ótimo é de 30%.

- i) Deixou-se o material ainda para secar à sombra, já que três dias não foram suficientes. Foram necessários cerca de 7 a 10 dias para a secagem natural, sendo a serragem revirada algumas vezes no local onde estava depositada, de forma que chegasse a atingir em média 30% de umidade para só assim poder ser misturada ao concreto.

Para avaliar o tratamento aplicado a fibra vegetal adotou-se como parâmetro o comparativo dos ensaios de resistência à compressão axial, levando-se em consideração o traço de referência com o melhor desempenho.

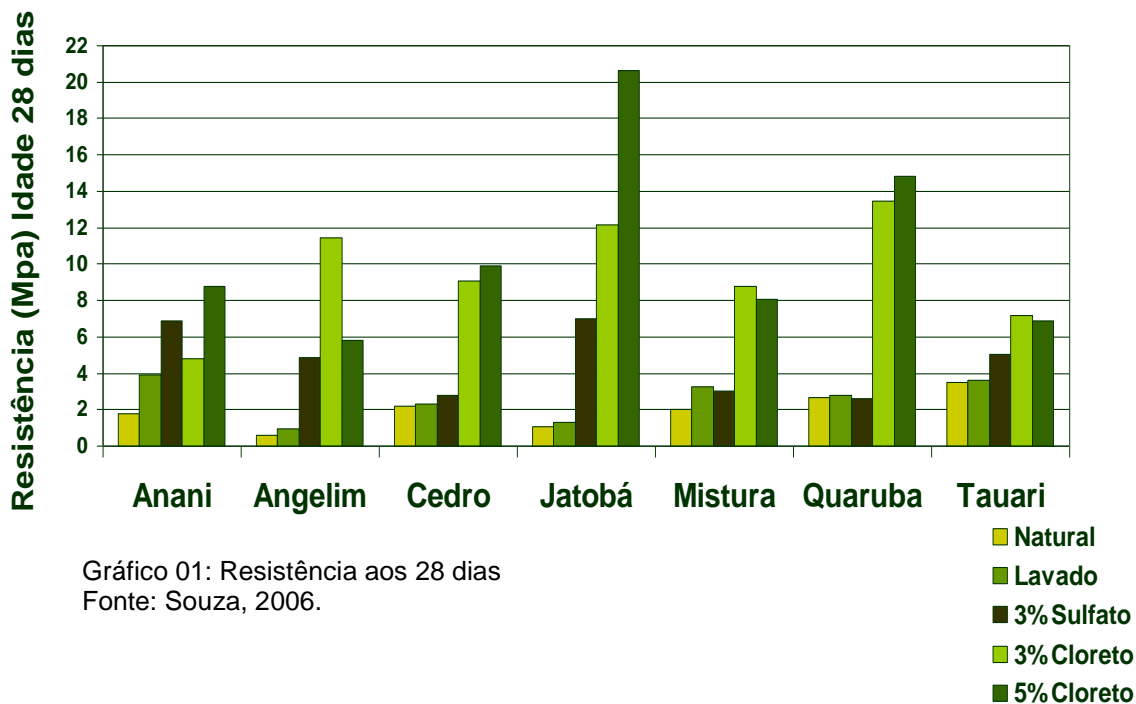
3.3.1 Alterações no Tratamento do Resíduo

O resultado obtido na moldagem dos blocos com 5% de pó de serra não foi satisfatório, optou-se então por alterar o tratamento do resíduo. Portanto, não foram mais moldados os teores de substituição T10 e T15 (10 e 15% de substituição respectivamente), para os resíduos tratados com a imersão em solução alcalina.

O tratamento foi alterado para a imersão em Sulfato de Alumínio. Este tipo de produto é comumente utilizado por fabricantes de aditivos aceleradores de reações, e em manutenção de piscinas. É de fácil aquisição comercial, custo razoável, podendo ser adquirido facilmente.

A pesquisa de Lima (2005) obteve resultados favoráveis em espécies dicotiledôneas ao adotar o sulfato de alumínio quando comparados a espécies que utilizaram outros tratamentos como o banho térmico ou secagem em estufa.

Além desta pesquisa, Souza (2006), ao estudar seis espécies amazônicas e a mistura destas, utilizando como tratamento aditivos aceleradores e o banho térmico, constatou que em média os melhores resultados para resistência foram nas amostras que utilizaram aditivos (sulfato de alumínio e cloretos) ao invés do resíduo natural ou lavados. Nota-se, no entanto, que para a espécie quaruba ocorreu uma ligeira melhora em relação ao tratamento lavado quando comparado ao tratamento sulfatado, e também para a mistura, que teve pequena superioridade quando se compara o tratamento lavado ao sulfato, mas essas variações foram bem pequenas, conforme gráfico 01 a seguir:



A imersão do pó de serra na solução sulfatada foi feita da mesma forma que na solução alcalina, ou seja, seguiu-se a mesma seqüência de etapas. A concentração do produto foi de 150 g/l. Esse tipo de imersão em Sulfato de alumínio é bastante usual para a mineralização.

3.4 CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE A CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAIS

Para os estudos de dosagem do concreto para blocos, fixar tipos exatos de agregados e enquadrá-los em curvas granulométricas é complicado devido à diversidade de tipos de materiais com diferentes características e propriedades. Isto porque cada região possui uma característica particular de sua matéria-prima, que podem variar na forma, superfície dos grãos, graduação, homogeneidade nas suas características ao longo do tempo, disponibilidade dos agregados, dentre outras.

Os materiais que foram utilizados nesse estudo possuem características bem peculiares. Isto é um aspecto bastante relevante na área experimental, por exemplo, algumas referências para concretos de consistência seca somente foram utilizadas como parâmetro inicial, devido às especificidades do material adotado.

Nesse sentido, um dos principais enfoques do concreto para a formação de blocos, é o limite de água. Para se achar o teor ideal foi necessário produzir uma

mistura adequada em proporção de agregados e na relação cimento:madeira:água de acordo com o método de dosagem proposto.

Esse proporcionamento se fez também através do conhecimento do material utilizado. Por exemplo, o seixo comumente utilizado na região de Belém possui elevada friabilidade, o que quer dizer que em sua composição até 30% é de areia. Já em relação às areias disponíveis no Pará, caracterizam-se pela uniformidade e elevada finura (ARANHA, 2004).

Portanto, misturas com materiais mais finos têm necessidade maior de água quando comparado a misturas que utilizam materiais com menor proporção de finos. Sabe-se, no entanto que o teor de finos para os blocos favorece a coesão necessária para a desforma imediata (ALVES, 2004), mas este ponto foi trabalhado de maneira particular para cada traço, para que esse teor não interferisse na quantidade de água da mistura, desequilibrando a consistência de moldagem.

Nesse contexto, a mistura experimental foi importante para avaliar o teor de umidade do pó de serra, de modo que este também não influenciasse na relação água:cimento da dosagem. O pó de serra sendo mais um constituinte fino acrescentado à mistura, se seco iria “puxar” a água de amassamento prejudicando o processo de hidratação do aglomerante, isto em virtude da madeira ter uma capacidade de absorção e conseqüentemente de inchamento considerável.

Assim, encontrar o teor de umidade para o pó de serra também foi necessário de modo a não prejudicar a mistura por falta ou excesso de água, podendo influenciar diretamente na qualidade dos blocos produzidos.

Com isso, para a quantidade de água da mistura, levaram-se em consideração as características dos agregados e o teor de finos que é elevado. Vê-se que, além do cimento ser CPV-ARI (mais fino quando comparado a outros tipos de aglomerante), a areia quando comparada a de outras regiões também é mais fina, com módulo de finura 1,86. Além disso, o seixo tem em sua composição um percentual considerável de areia. Portanto, naturalmente essa mistura do concreto iria necessitar de mais água em sua composição, e isso acabaria por interferir diretamente em sua consistência e conseqüentemente na compactação, resistência e durabilidade dos blocos.

Assim, o principal enfoque da dosagem foi adequar uma proporcionalidade de agregados levando em consideração a finura destes, e adequá-los a um teor de água considerado ideal.

4. PRODUÇÃO DOS BLOCOS DE REFERÊNCIA

a) Características do Concreto

Como já citado, o estudo de dosagem foi imprescindível para se chegar a um concreto que obtivesse o melhor desempenho no que se refere à consistência e coesão do estado fresco.

O concreto “seco” possui no ensaio do cone de “Abrams”, ou *Slump Test*, abatimento zero, e é assim chamado porque sua mistura deve possuir um teor de umidade (relação água/cimento) até o limite em que os blocos começam a perder coesão e a aderir nas paredes dos moldes. Para tal adotou-se inicialmente como referência a porcentagem de água variando entre 4% e 7% da massa dos materiais secos (KOKUBO et al. apud RIBEIRO, 2005).

Como a consistência é de terra úmida (TANGO, 1994), a presença do ar aprisionado é significativa, o que o difere do concreto de consistência plástica, neste último a pasta ocupa os vazios deixados pelos agregados.

Assim, para a massa seca a compacidade da mistura é feita por compressão, ou seja, o concreto sem abatimento apresenta a trabalhabilidade interligada a vibro-compressão, de forma a atingir a compactação máxima, o que permite a desforma imediata. Portanto a qualidade da máquina e do processo é fundamental para se alcançar resistência e qualidade.

Com isso, o concreto “seco” não segue rigorosamente a Lei de “Abrams”, pois ela foi estabelecida para concretos de consistência plástica. Portanto, não vale a recomendação de reduzir a quantidade de água na mistura para melhorar a resistência mecânica. Existe uma umidade ótima na qual as misturas conseguem obter uma melhor compacidade, bem semelhante ao que ocorre na compactação de solos. Entretanto, essa quantidade limite acima da qual as peças não conseguem ser produzidas, devem facilitar a moldagem dos blocos, o que se traduz em uma compacidade e empacotamento adequado dos materiais. Todas essas características foram avaliadas pela consistência da mistura e pela definição do limite de água.

Na mistura experimental, baseada no estudo de dosagem e no proporcionamento dos materiais, avaliou-se o concreto no estado fresco, até que se obtivesse o melhor resultado de coesão e consistência, pelo ensaio de abatimento e pela consistência de terra úmida. Posteriormente, avaliou-se o processo de

moldagem, em função dos melhores resultados de compacidade (textura, exsudação e fissuração durante a formação do bloco) e conseqüentemente de resistência à compressão dos blocos.

Também se sabe que a resistência, para qualquer relação água/cimento, depende das propriedades físicas e químicas e do grau de hidratação do cimento, da temperatura do ambiente durante a hidratação, do teor de ar no concreto, das variações da relação água/cimento efetiva, da fissuração devido à exsudação. Influenciam, também, o consumo de cimento na mistura e as condições da interface agregado-pasta de cimento. (NEVILLE, 1997).

Assim, a necessidade de se buscar uma mistura coesa e consistente, ou seja, com menor número de vazios, deve estar associada à quantidade de água ideal. Bem como na forma como esta mistura irá interagir com o equipamento durante o processo de compactação, evitando segregação e exsudação no concreto, fissurações nas paredes dos blocos e irregularidades em sua superfície que prejudicam a textura aparente.

O bloco deve permanecer firme e uniforme logo após a desmoldagem, cura e transporte. Ou seja, durante a compactação e retirada dos blocos do *pallet* da máquina, o transporte dos blocos da máquina até o local de armazenamento e durante todo o processo de cura, assim como no transporte do local de fabricação até onde foram realizados os ensaios de resistência à compressão e absorção.

b) Dosagem e moldagem

Para se alcançar um resultado favorável se fez necessário conhecer a fundo o equipamento e todo o processo de produção dos blocos, inclusive tempo de vibração e compactação, já que todos estes fatores interferem diretamente na resistência dos blocos. Grande parte dos fabricantes de pré-moldados da região metropolitana de Belém confecciona-os de maneira empírica. O estudo para adequar a proporção de agregados e a relação água:cimento, faz com que a produção seja mais racionalizada e confere maior qualidade no processo de produção dos blocos.

De acordo com o método adotado neste trabalho, ABCP (FERREIRA JÚNIOR, 1995), o objetivo principal é encontrar a melhor proporção seca entre o agregado miúdo e o agregado graúdo através da maior compacidade possível.

Assim, foram objetos de estudo a definição da proporção dos agregados secos, bem como a proporção aglomerante:agregado e o teor ótimo de umidade em função da relação água:cimento.

Definiram-se faixas de proporção entre os agregados, e avaliou-se a compacidade pela massa unitária obtida com a mistura e seu adensamento feito através de soquete metálico.

Os agregados foram previamente misturados e colocado no recipiente metálico, de volume conhecido e com a borda adaptada com um quadro de madeira para arrasamento de material. As etapas descritas são ilustradas na figura 09, 10 e 11 a seguir:



Figura 09 – Adensamento do Material.



Figura 10 – Sarrafeamento da Mistura Seca.



Figura 11 –Pesagem da Mistura - Massa unitária.

A mistura dos agregados secos (areia e seixo) foi feita nas seguintes proporções: 20/80; 25/75; 30/70; 35/65; 50/50 e 60/40. Após a compactação da mistura, obtiveram-se os valores de massa, onde se encontrou uma curva ótima de compactidade, como é demonstrado no gráfico 02 a seguir:

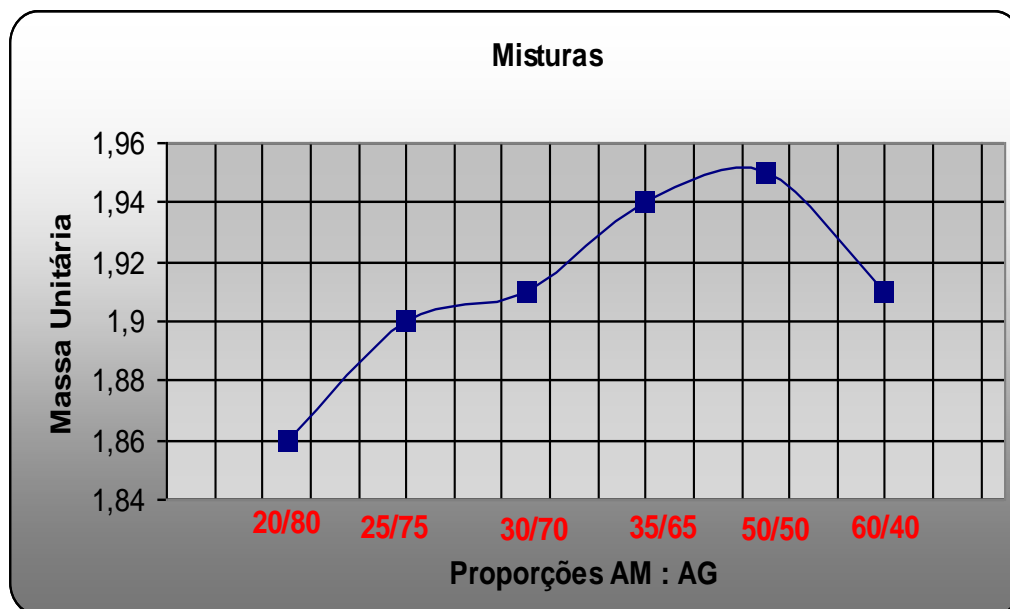


Gráfico 02 – Proporção da Misturas dos Agregados em Função da Compactidade
Fonte: Sobrinho, 2007.

Através do gráfico definiu-se o traço que teve melhor desempenho em relação à massa unitária da proporção entre agregados, ou seja, a maior massa obtida foi para a proporção 50/50. Partiu-se assim para o estudo da proporção aglomerante:agregados e teor de umidade.

O método afirma que é possível se fabricar blocos com diversos consumos de cimento, desde traços mais pobres como 1:10 até traços mais ricos como 1:6, e que o fator determinante para tal é a resistência que se deseja obter para definir a quantidade de aglomerante. Portanto, quanto maior a resistência que se deseja alcançar, maior seria o consumo de cimento. Assim, se definiu a elaboração de quatro traços no total, sendo estes inteiros para facilitar os cálculos, dos quais dois seriam mais ricos em aglomerante e os outros dois mais pobres.

Definiu-se 1:5, 1:7, 1:8 e 1:10, conforme tabela 14 abaixo. Para uma amostra de moldagem de 10 blocos, nas dimensões de 9cm x 19cm x 39 cm (largura x altura x comprimento) de acordo com a NBR 7173 (ABNT, 1982), dimensionou-se 120kg de material seco (agregados e cimento) para a formação destes:

Tabela 14 - Definição de Traço para Moldagem				
MISTURAS	1:5	1:7	1:8	1:10
Traço Unitário	1: 2,5 : 2,5	1: 3,5 : 3,5	1: 4 : 4	1: 5 : 5
Água/cimento	0,40	0,50	0,60	0,70
Massa Seca (Kg)	120	120	120	120
Consumo de Cimento (Kg)	20	15	13,33	10,91
Quantidade de Água (L)	8,0	7,5	8,0	7,64
Teor de Umidade (%)	6,67	6,25	6,67	6,37

Fonte: Sobrinho e Moreira, 2007.

Como parâmetro inicial a consistência da mistura foi analisada, através da formação de pelotas, ou seja, a mistura possui uma aparência seca, menos coesa, porém não segregada. O ponto de pelota ou consistência de terra úmida é ilustrado nas figuras 12, 13 e 14:



Figura 12 - Ponto de Pelota



Figura 13 - Ponto de Pelota



Figura 14 - Ponto de Pelota.

Porém, verificou-se que para os traços 1:5 e 1:7, houve segregação de material no momento da moldagem e compactação na máquina, além da não formação de pelotas, ou seja, a consistência não estava adequada, e isso está diretamente relacionado à quantidade de água adotada nesses traços. Verifica-se a seguir na figura 15 a não formação de pelotas e na figura 16 a segregação do material que não se manteve firme após compactação:



Figura 15 – Não formação de Pelotas



Figura 16 – Segregação da Mistura.

Já na figura 17 abaixo podemos identificar a irregularidade na parede dos blocos, ou seja, a não uniformidade que compromete a textura superficial aparente:



Figura 17 – Textura Irregular

Na seqüência, figura 18, nota-se a fragilidade dos blocos logo após a compactação o que demonstra que os mesmos estavam com deficiência na quantidade de água, pois na parte superior ocorriam as irregularidades e fissuras, ocorrendo posteriormente à fratura já que os blocos não conseguiam se manter firmes, como se pode observar a seguir:



Figura 18 – Quebra Após Compactação.

Esses fatos estão relacionados às características dos materiais que foram adotados nesse estudo, que apresentam percentual de finos elevados na mistura. Portanto, a necessidade de água foi um pouco maior, fazendo com que o intervalo proposto por Kokubo, tivesse um aumento em cerca de 0,5% em relação ao teor de água.

Assim, o material comumente utilizado na região metropolitana de Belém para fabricação de concretos secos deve manter o teor de umidade no intervalo de 6,25 a 7,50%, para os traços adotados. Na tabela 15 se apresenta as alterações feitas nos traços:

Tabela 15 - Definição de traço para moldagem				
MISTURAS	1:5	1:7	1:8	1:10
Traço Unitário	1: 2,5 : 2,5	1: 3,5 : 3,5	1: 4 : 4	1: 5 : 5
Água/cimento	0,45	0,55	0,60	0,70
Massa Seca (Kg)	120	120	120	120
Consumo de Cimento (Kg)	20	15	13,33	10,91
Quantidade de Água (L)	9,0	8,25	8,0	7,64
Teor de Umidade (%)	7,5	6,88	6,67	6,37
Fonte: Sobrinho e Moreira, 2007.				

Assim, obteve-se um concreto com maior uniformidade, mais coeso, de melhor consistência devido à formação de pelotas e da maior homogeneidade na mistura dos materiais, isto mantendo o abatimento zero, como se pode verificar na figura 19 e 20 expostas logo a seguir:



Figura 19 – Homogeneidade e Formação de pelotas



Figura 20 – Consistência Seca

Foi avaliado principalmente além do tempo de mistura do material na betoneira, o tempo máximo de vibro-compressão, afim de não prejudicar na desforma do concreto, evitando fissuras nas paredes dos blocos e a segregação do material no momento de compressão.

Esse tempo geralmente depende do tipo de equipamento utilizado na moldagem e sincronia da equipe que produz o bloco (mistura e moldagem). Para este estudo delimitou-se um tempo máximo de 3 minutos para a mistura e 2 minutos para vibro compactação. Isso porque se constatou que durante a mistura de 3 minutos a pasta seca envolvia totalmente os agregados e, ou seja, estes estavam totalmente incorporados a pasta, e que o tempo superior a 2 minutos para compactação segregava o material e conseqüentemente o bloco se rompia.

A cada moldagem foi produzido um conjunto de 3 blocos, onde eram levados ao local de armazenamento para cura inicial. Os blocos eram transportados sobre os “*pallets*” de sustentação para local coberto e ausente de insolação direta, para só após 2hs da moldagem receberem a cura propriamente dita. Esta cura foi feita durante o expediente da fábrica, onde os blocos foram cobertos com manta úmida e receberam aspensão de água a cada 2hs, durante três dias consecutivos.

Somente após o 3º dia de idade, o lote era transportado para o laboratório de materiais onde foi capeado para regularização de suas superfícies segundo a NBR 7184 (ABNT,1992), conforme figura 21 a seguir:



Figura 21 - Capeamento dos Blocos

Os protótipos forma submetidos à ruptura a compressão em uma prensa universal de fabricação ASMLER com capacidade de carga de 1000kN, com pratos metálicos atendendo a NBR 7184 (ABNT-1991) conforme demonstrado na figura 22:



Figura 22 – Ruptura dos Blocos

c) Análise dos Resultados

Analisando-se a média dos resultados no ensaio de resistência a compressão, escolheu-se o traço de melhor desempenho para a formação dos blocos com os teores de substituição de areia pelo resíduo de pó de serra. O gráfico 03 e 04, demonstram os resultados do ensaio nos blocos de referência:

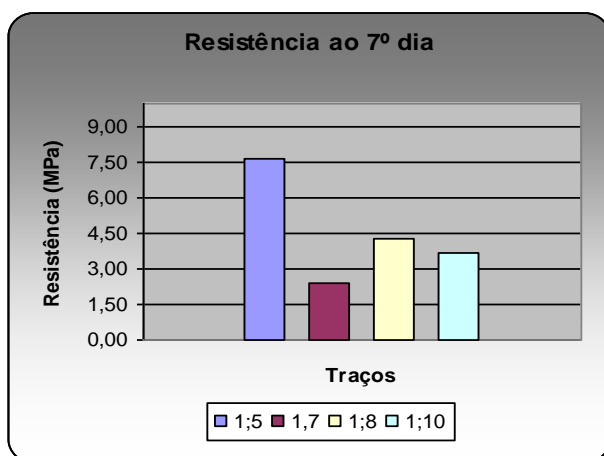


Gráfico 03 – Resistência ao 7º Dia
Fonte: Sobrinho e Moreira, 2007.

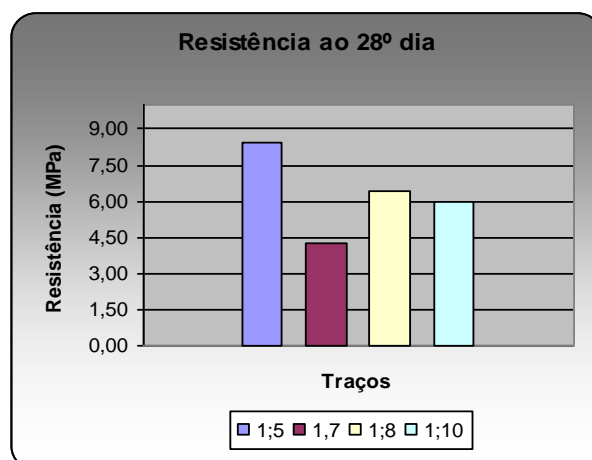


Gráfico 04 – Resistência ao 28º Dia

De acordo com os resultados apresentados, as famílias 1:5 e 1:8 alcançaram os melhores resultados de resistências, com os maiores valores. Escolheu-se então o traço 1:8, que em média alcançou 6,45 Mpa aos 28 dias. Essa escolha se deu em virtude do mesmo ser mais econômico em relação à quantidade de cimento.

5. PRODUÇÃO DOS BLOCOS COM PÓ DE SERRA

a) Dosagem e Moldagem

Vale ressaltar que no momento da mistura do resíduo ao concreto, o mesmo apresentava-se ainda úmido, com cerca de 30% de teor de água em sua composição. Esta umidade não interferiu no processo de moldagem do bloco, pois sendo o resíduo um material muito fino e com capacidade de absorção, o fato de ser introduzido na mistura ainda úmido fez com que o mesmo não necessitasse da água de amassamento.

De acordo com os resultados do ensaio de resistência à compressão nos blocos de referência escolheu-se o traço 1:8, já que este apresentou melhor desempenho. O traço para a formação dos blocos com resíduos foi de substituição da areia pelo pó de serra nas seguintes proporções: 5%, 10% e 15%, como são demonstrados na tabela 16:

Tabela 16 - Definição do Traço de Substituição	
MISTURA	1:8
Traço Unitário T5 – 5%	1: 3,95: 0,05: 4
Traço Unitário T10 – 10%	1: 3,90: 0,10: 4
Traço Unitário T15 – 15%	1: 3,85: 0,15: 4
Água/cimento	0,60
Umidade do resíduo	30%

A seqüência do processo de moldagem foi à mesma para todos os traços, e foi iniciada com a mistura prévia dos agregados secos para posteriormente ser introduzido à mistura o aglomerante e metade da água, depois de cerca de 30 segundos, adicionou-se o resíduo e o restante da água. O tempo de mistura não foi superior a 3 minutos.

Utilizando a vibro-prensa, os blocos foram moldados da seguinte forma: lançamento do concreto, adensamento por vibração e compressão mecânica, onde foi determinado o tempo máximo de 2 minutos de vibro-compactação afim de não prejudicar na desforma do concreto. Esse tempo foi dimensionado durante o processo de moldagem, de forma a evitar fissuras nas paredes dos blocos, bem como a segregação do material e até mesmo irregularidades em suas arestas, pois durante as moldagens constatou-se que alguns blocos se perderam devido à quebra, em virtude das fissuras, e segregações do material.

Durante as duas primeiras horas foi dada a cura inicial, a sombra e em local coberto, para posteriormente ser feita a cura dos blocos propriamente dita. Os blocos permaneceram em local coberto, livre de insolação direta, e foram cobertos com manta úmida. Durante o dia foi feita aspersão de água sobre estes a cada 2hs. Esse processo se repetiu, completando três dias consecutivos de cura.

Nas figuras 23 e 24, pode-se verificar o bloco composto com 5 % de resíduo de pó de serra, de aparência uniforme, coeso, não exsudação e sem rugosidades em sua parede:



Figura 23 – Bloco com 5% de Pó de Serra



Figura 24 – Bloco com 5% de Pó de Serra

Após três dias da moldagem, estes blocos foram transportados para o laboratório de materiais, para capeamento e aos sete dias serem realizados os ensaios de resistência à compressão.

Conforme a NBR 7173 (ABNT-1982) o número de blocos mínimos para amostragem em fase de qualificação são de 10 blocos, quando os ensaios forem de resistência e absorção, dos quais pelo menos a metade deve ser destinada ao ensaio de resistência e o restante para a absorção.

Conforme tabela 17 verifica-se a distribuição dos blocos para os ensaios. Nota-se que sobra 01 bloco, que servia para segurança, no caso de uma eventual perda durante o transporte ao laboratório:

Tabela 17 - Número de Blocos por traço para cada Ensaio		
ENSAIOS	BLOCOS	IDADE
Resistência à compressão	3	7 dias
	3	28 dias
Absorção	3	28 dias
TOTAL		9 Blocos

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

a) Resistência à Compressão

Os ensaios foram realizados no laboratório de materiais da Universidade Federal do Pará, e o equipamento utilizado foi o mesmo adotado na avaliação dos blocos de referência para à ruptura a compressão.

Assim, aos sete e vinte e oito dias de idade obtivemos os seguintes resultados para os blocos com resíduo tratados com solução alcalina, de acordo com a tabela 18 e conforme o gráfico 05:

Tabela 18 - Resistência Mecânica à Compressão			
BLOCOS T5 (5% de Serragem)			
RESISTÊNCIA AOS 7 DIAS (Mpa)		RESISTÊNCIA AOS 28 DIAS (Mpa)	
Bloco 01	0.30	Bloco 04	1.35
Bloco 02	0.30	Bloco 05	1.40
Bloco 03	0.35	Bloco 06	1.42
Média	0.32	Média	1.39

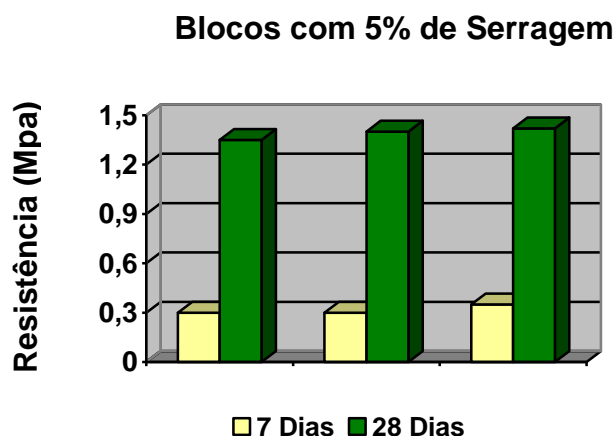


Gráfico 05 – Análise Individual de Resistência à Compressão.

Existem algumas possíveis razões que explicam a perda de resistência à compressão nos blocos formados com pó de serra em relação aos blocos de referência. Estes atingiram resistência média de 4,30 Mpa aos sete dias e 6,45 Mpa aos vinte e oito dias, enquanto que os confeccionados com resíduo não chegaram a atingir 2,0 Mpa, que seria o mínimo exigido pela NBR7173 (ABNT, 1982) como resultado individual de cada bloco.

Uma dessas hipóteses está ligada à absorção de água pelas fibras, fazendo com que o aglomerante não tenha a reação de hidratação satisfatória, já que a fibra absorve a água de amassamento. No caso deste estudo, como o resíduo foi introduzido a mistura úmido, entende-se que se existiu essa absorção, foi pequena.

Outra hipótese seria a quantidade de extrativos liberados na mistura de concreto. Isto é percebido pela forma como se comportou o aumento de resistência nos primeiros dias, que foi mínimo, demonstrando de forma clara o retardamento da pega do cimento, mesmo sendo este um cimento do tipo CPV_ARI, que normalmente até os sete dias atinge cerca de 70% de sua capacidade total de resistência (SOUZA, 2003).

No intervalo entre sétimo e o vigésimo oitavo dia, percebeu-se um aumento de cerca 4,35 vezes em relação aos sete dias iniciais, o que reforça a hipótese de que a reação de hidratação teve retardamento nas idades iniciais devido aos extrativos liberados pelas fibras, e que o tratamento aplicado não obteve significativa influência na redução desses extrativos.

Portanto, o tratamento com cal não se mostrou eficiente em relação à redução desses extrativos para a espécie adotada, Angelim Vermelho, optando-se em alterar o tratamento para a imersão em sulfato de alumínio.

Notou-se ainda que durante o processo de moldagem alguns blocos após a compactação em sua borda superior já saiam da máquina com algumas fissuras e irregularidades. As irregularidades foram niveladas pelo capeamento feito com argamassa de cimento, no entanto, uma vez fissurado o bloco permanecia assim e ao receber a carga no momento do ensaio de resistência, era nessa área que ocorria a fratura, ou seja, as fissuras, mesmo que pequenas, fizeram com que o bloco se tornasse mais suscetível à quebra. Notou-se que o rompimento sempre ocorria na parte superior tendendo a se partir na região mais frágil, ou seja, onde estavam localizadas as fissuras.

Dessa forma, além dos extrativos que interferiram no ganho de resistência, as fissuras decorrentes do processo de moldagem e compactação, também comprometeram o ensaio de resistência a compressão conforme demonstrado nas figuras 25, 26 e 27:



Figura 25: Irregularidades na Borda Superior



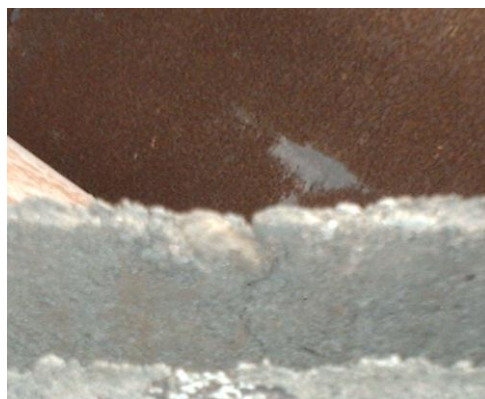
Detalhe 01: Ampliação da Figura 25



Figura 26: Irregularidades na borda superior.



Figura 27: Fissuras



Detalhe 02: Ampliação da Figura 27.

É importante ressaltar que não houve nenhuma alteração no traço do concreto, e nem quanto ao teor de umidade da mistura ou do resíduo, mas somente no tratamento do resíduo.

Assim, partiu-se para novas moldagens com os blocos que tiveram o resíduo tratado em solução de sulfato de alumínio. Podemos observar a melhoria em relação à resistência de acordo com a tabela 19, assim como também pelo gráfico 06 a seguir:

Tabela 19 - Resistência Mecânica à Compressão			
BLOCOS T5 (5% de Serragem)			
RESISTÊNCIA AOS 7 DIAS (Mpa)		RESISTÊNCIA AOS 28 DIAS (Mpa)	
Bloco 01	1.30	Bloco 04	3.35
Bloco 02	1.35	Bloco 05	4.30
Bloco 03	1.42	Bloco 06	4.30
Média	1.36	Média	3.98

Blocos com 5% de Serragem

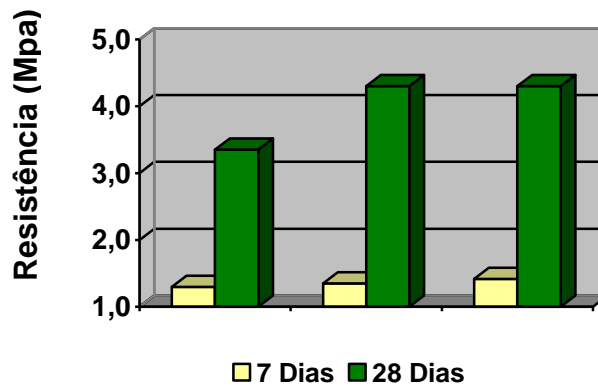


Gráfico 06 – Análise Individual de Resistência à Compressão.

Em análise comparativa observou-se que o tratamento com sulfato de alumínio obteve um aumento significativo nos resultados dos ensaios de resistência a compressão nos teores de 5% de substituição em relação ao tratamento a base de cal, conforme gráfico 07 a seguir, que expõe a média dos resultados no 28º dia de ensaio:

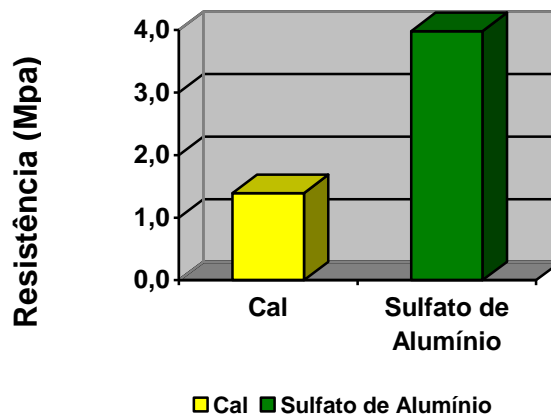


Gráfico 07 – Média das Resistências ao 28º Dia.

A imersão do resíduo em sulfato de alumínio aumentou em média até 2,93 vezes a resistência quando comparado a imersão alcalina.

Para as moldagens T10 e T15 se pode observar os resultados nas tabelas 20 e 21 respectivamente expostas a seguir, assim como nos gráficos 08 e 09:

Tabela 20 - Resistência Mecânica à Compressão			
BLOCOS T10 (10% de Serragem)			
RESISTÊNCIA AOS 7 DIAS (Mpa)		RESISTÊNCIA AOS 28 DIAS (Mpa)	
Bloco 01	0.74	Bloco 04	2.20
Bloco 02	0.79	Bloco 05	2.20
Bloco 03	0.79	Bloco 06	2.32
Média	0.77	Média	2.24

Blocos com 10% de Serragem

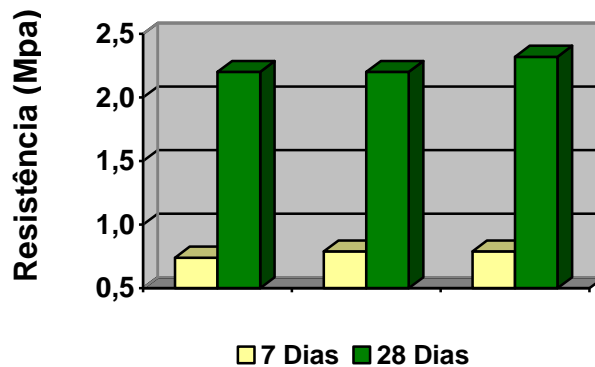


Gráfico 08 – Análise Individual de Resistência à Compressão.

Tabela 21 - Resistência Mecânica à Compressão			
BLOCOS T15 (15% de Serragem)			
RESISTÊNCIA AOS 7 DIAS (Mpa)		RESISTÊNCIA AOS 28 DIAS (Mpa)	
Bloco 01	0.40	Bloco 04	1.67
Bloco 02	0.43	Bloco 05	1.70
Bloco 03	0.43	Bloco 06	1.79
Média	0.42	Média	1.72

Blocos com 15% de Serragem

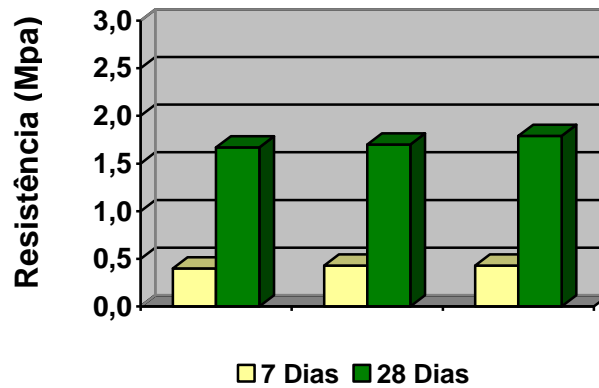


Gráfico 09 – Análise Individual de Resistência à Compressão

Nota-se que quanto maior a proporção de resíduo na composição da mistura menor é a resistência alcançada, isto é evidente ao analisarmos o gráfico 10 a seguir que demonstra comparativamente a média de resistência dos blocos ao 28º dia de ensaio:

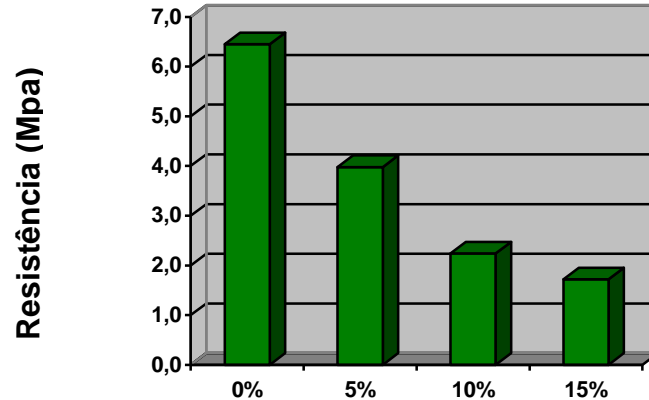


Gráfico 10 – Análise da Média da Resistência ao 28º Dia.

b) Absorção e Teor de Umidade

Os ensaios de absorção e teor de umidade foram baseados em norma, onde os blocos não deveriam apresentar umidade superior a 40% da quantidade de água fixada como absorção máxima. A absorção deveria apresentar como valor máximo de 10% a média e 15% individual, NBR 7173 (ABNT, 1982).

Assim, a absorção de água foi calculada pela seguinte fórmula de acordo com a NBR13118 (ABNT, 1991):

$$a\% = \left[\frac{(m_2 - m_1)}{(m_1)} \times 100 \right]$$

Onde:

m_1 = massa seca

m_2 = massa saturada

Já em relação à porcentagem de umidade de cada bloco, no momento da entrega ao laboratório, expressa como porcentagem da absorção total, foi calculada pela fórmula a seguir conforme NBR13118 (ABNT, 1991):

$$u\% = [(m_3 - m_1) \times 100] / (m_2 - m_1)$$

Onde:

m_1 = massa seca

m_2 = massa saturada

m_3 = massa do bloco ao ser entregue no laboratório.

De acordo com os ensaios realizados no laboratório, primeiramente demonstra-se os resultados referentes aos blocos de referência, ou seja, aqueles sem teores de resíduos, conforme tabela 22 e 23:

Tabela 22 - Teor de Umidade dos Blocos de Referência Traço 1:8	
BLOCOS DE REFERÊNCIA – T0	TEOR DE UMIDADE AOS 28 DIAS (%)
Bloco 01	33,05
Bloco 02	27,71
Bloco 03	27,75
Média	29,50

Tabela 23 – Absorção dos Blocos de Referência Traço 1:8	
BLOCOS DE REFERÊNCIA – T0	ABSORÇÃO AOS 28 DIAS (%)
Bloco 01	7,07
Bloco 02	8,32
Bloco 03	8,27
Média	7,89

A seguir, nas tabelas 24 e 25, demonstram-se os valores obtidos para o traço T5 cujo resíduo foi submetido ao tratamento à base de sulfato de alumínio:

Tabela 24 - Teor de Umidade dos Blocos com 5% de Serragem	
BLOCOS T5	TEOR DE UMIDADE AOS 28 DIAS (%)
Bloco 01	15,30
Bloco 02	15,30
Bloco 03	15,30
Média	15,30

Tabela 25 - Absorção dos Blocos com 5% de Serragem	
BLOCOS T5	ABSORÇÃO AOS 28 DIAS (%)
Bloco 01	9,51
Bloco 02	9,57
Bloco 03	9,47
Média	9,52

Observa-se que de acordo com os comparativos obtivemos blocos dentro do limite de absorção especificada em norma, NBR 7173 (ABNT, 1982), sendo que os blocos com teor de 5 % de serragem têm uma tendência de absorver mais água, conforme gráfico 11 a seguir:

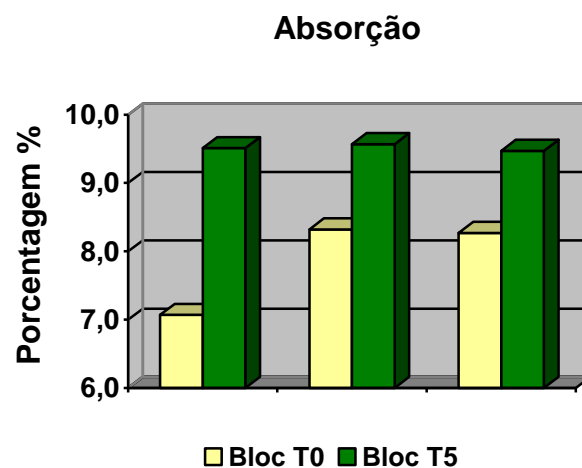


Gráfico 11 – Análise Individual da Absorção.

Pode-se observar que durante o ensaio os blocos de referência mantêm uma constância no que se refere à absorção após 24Hs de imersão em água, ou seja, os valores de massa não alteram nos intervalos de pesagem.

Já quanto ao desempenho dos blocos com teor de serragem, mantêm uma pequena variação na pesagem, embora não significativa, demonstrando uma ligeira absorção ainda depois do primeiro dia de ensaio e durante os intervalos de pesagem, o que se deve a características da serragem de absorção. Como a substituição foi de apenas 5%, para este caso, não teve grande relevância. Visualiza-se isto no gráfico 12 que demonstra a média dos resultados dos ensaios para os blocos T0 e T5:

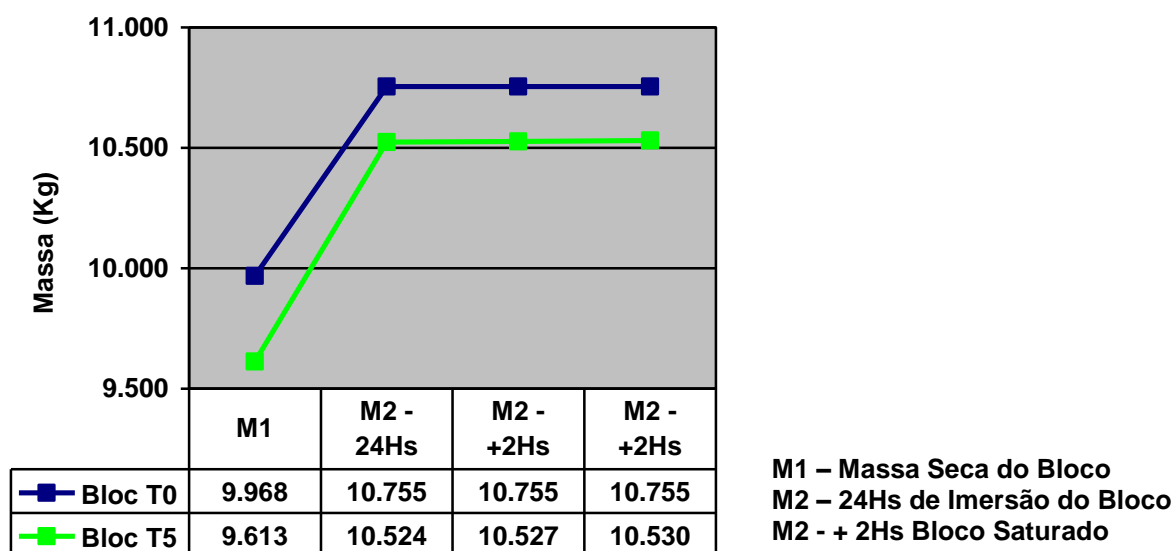


Gráfico 12 – Média dos Resultados da Absorção – Bloco T0 e T5.

No gráfico 13 a seguir se pode visualizar a análise do teor de umidade nos blocos T0 e T5:

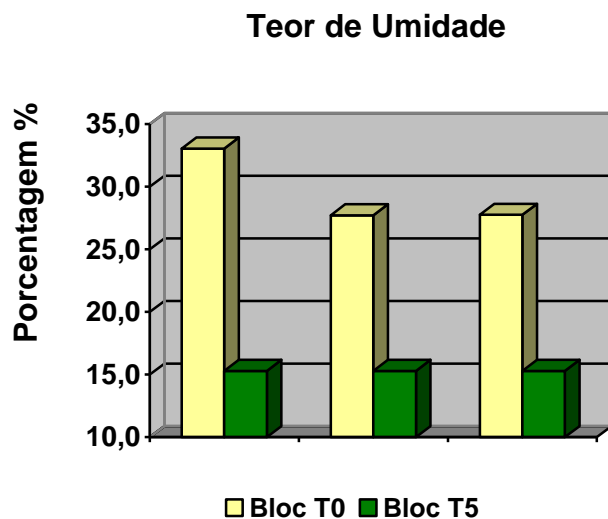


Gráfico 13 – Análise Individual do Teor de Umidade.

Nas imagens expostas a seguir, visualiza-se o procedimento adotado para a realização do ensaio de absorção feito no laboratório de engenharia civil da Universidade Federal do Pará.

Inicialmente foi feita a pesagem do bloco ao ser recebido no laboratório obtendo o valor denominado de M3, na seqüência, a pesagem após as 24 horas de estufa atraindo o valor de M1, massa seca, e finalizando com a pesagem após saturação, denominado de M2, conforme as figuras de 28 à 33:



Figura 28– Pesagem do Bloco – M3



Figura 29 – Bloco na Estufa – 24Hs



Figura 30 – Pesagem do Bloco Após 24Hs
Massa Seca (M1)



Figura 31 –Imersão em Água – 24Hs
Massa Saturada (M2)



Figura 32 – Retirada do Excesso de Água



Figura 33 – Massa Saturada (M2)

Esse mesmo procedimento foi adotado tanto para o traço de referência como também para os traços com teores de pó de serra no que se refere às etapas de ensaio. Para os teores com 10% de substituição, demonstram-se seus resultados a seguir nas tabelas de 26 e 27 assim como na seqüência de gráficos 14 e 15:

Tabela 26 - Teor de Umidade dos Blocos com 10% de Serragem	
BLOCOS T10	TEOR DE UMIDADE AOS 28 DIAS (%)
Bloco 01	16,58
Bloco 02	15,63
Bloco 03	17,10
Média	16,44

Tabela 27 - Absorção dos Blocos com 10% de Serragem	
BLOCOS T10	ABSORÇÃO AOS 28 DIAS (%)
Bloco 01	13,02
Bloco 02	13,66
Bloco 03	12,63
Média	13,10

Absorção

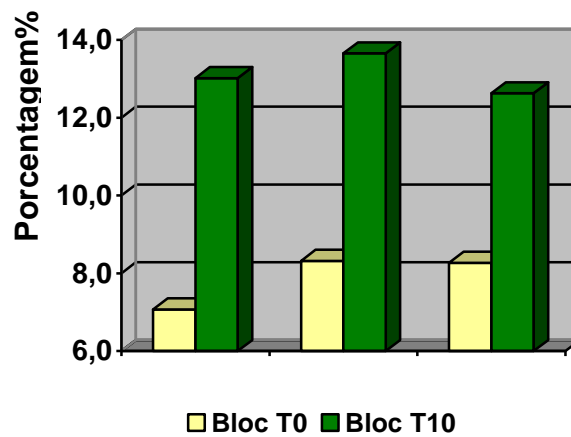


Gráfico 14 – Análise Individual da Absorção.

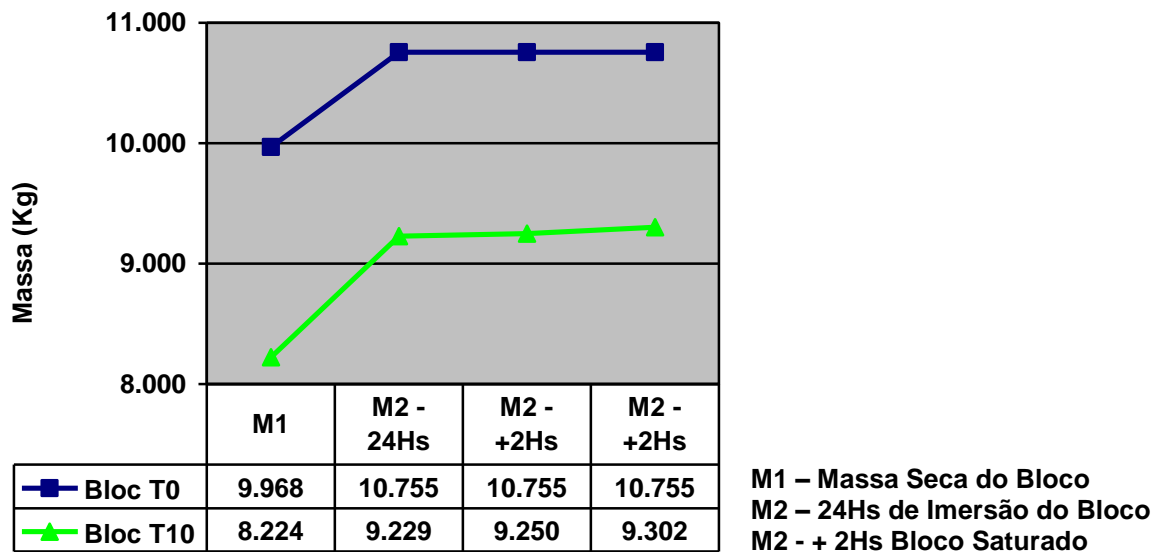


Gráfico 15 – Média dos Resultados da Absorção – Bloco T0 e T10

No gráfico 16 a seguir se demonstram os valores do teor de umidade para os blocos T0 e T10:

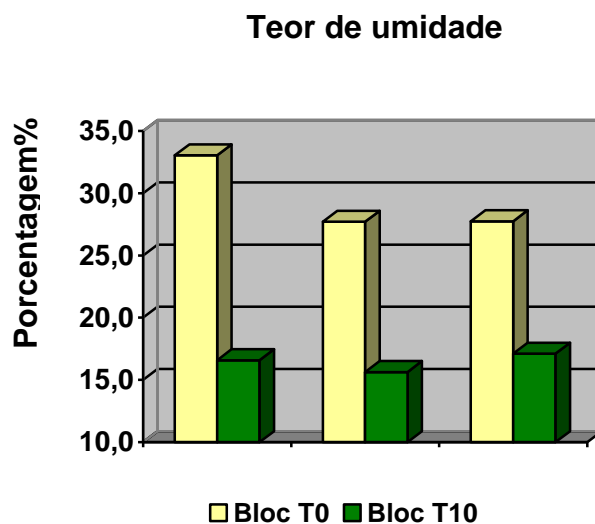


Gráfico 16 – Análise Individual do Teor de Umidade.

Para os teores de substituição de 15% o valor referente à absorção e teor de umidade pode ser analisado na tabela 28 e 29, além dos gráficos 17 e 18 a seguir:

Tabela 28 - Teor de Umidade dos Blocos com 15% de Serragem	
BLOCOS T15	TEOR DE UMIDADE AOS 28 DIAS (%)
Bloco 01	8,94
Bloco 02	11,55
Bloco 03	11,66
Média	10,72

Tabela 29 - Absorção dos Blocos com 15% de Serragem	
BLOCOS T15	ABSORÇÃO AOS 28 DIAS (%)
Bloco 01	24,98
Bloco 02	20,12
Bloco 03	20,16
Média	21,75

Absorção

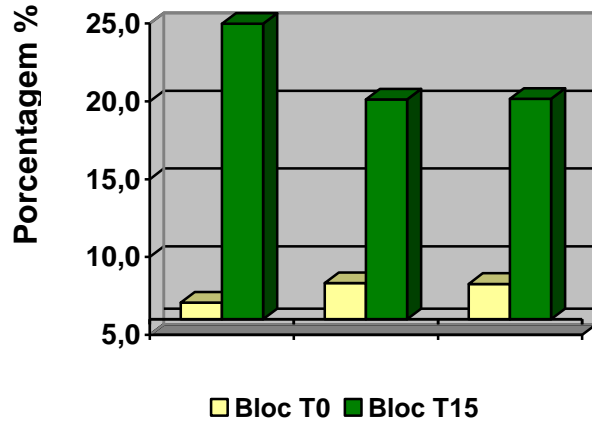
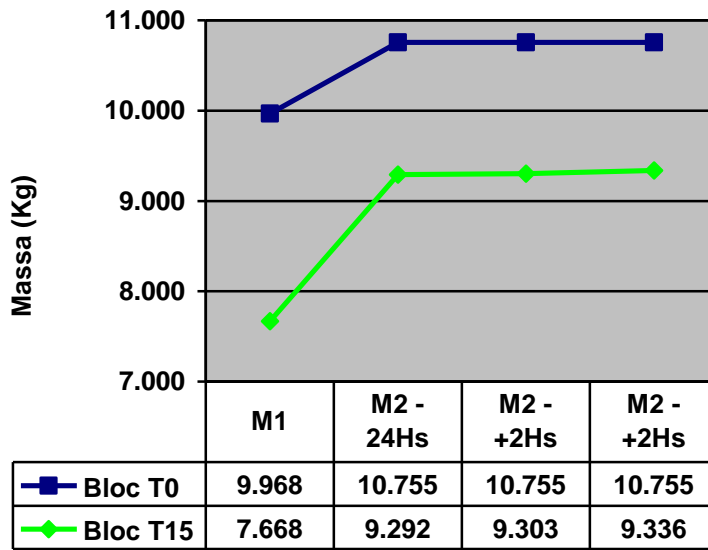


Gráfico 17 – Análise Individual da Absorção.



M1 – Massa Seca do Bloco
M2 – 24Hs de Imersão do Bloco
M2 - + 2Hs Bloco Saturado

Gráfico 18 – Média dos Resultados da Absorção – Bloco T15

No gráfico 19 a seguir podem-se visualizar os resultados para o teor de umidade para os teores com 15% de substituição, ou seja, os blocos T15 comparando-os com os blocos T0:

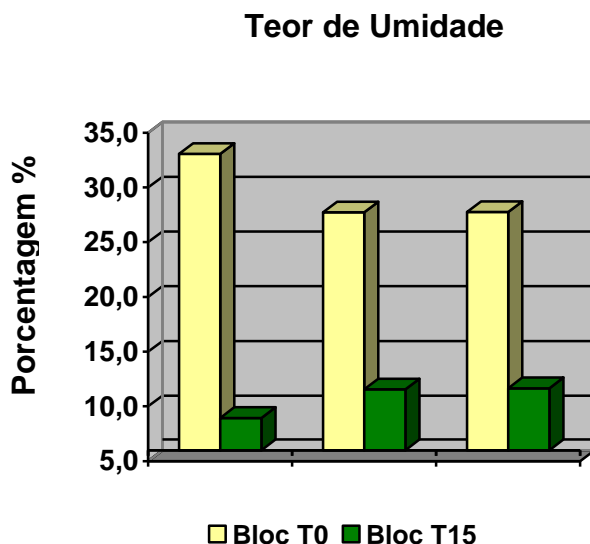


Gráfico 19 – Análise Individual do Teor de Umidade.

No gráfico 20 e 21 a seguir verificam-se os valores médios para todos os traços tanto para a absorção quanto para o teor de umidade:

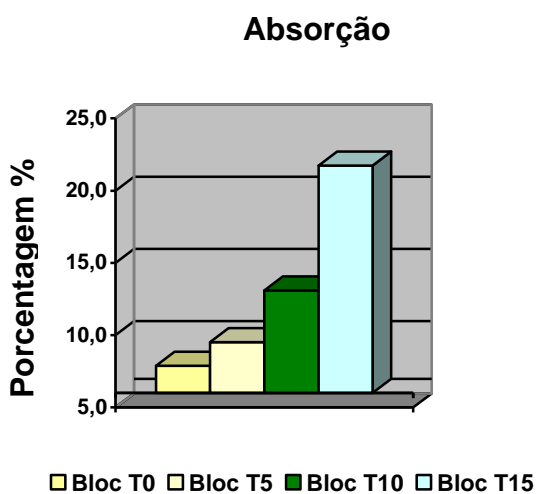


Gráfico 20 – Análise da Média de Absorção.

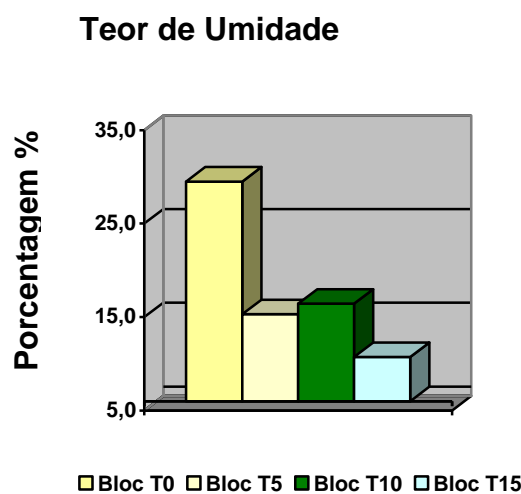


Gráfico 21 – Análise da Média do Teor de Umidade.

c) Peso próprio

Em relação ao peso próprio dos blocos fez-se um comparativo baseado no valor obtido na pesagem do bloco ao ser recebido no laboratório, denominado de M3, de acordo com a NBR13118 (ABNT, 1991). Esses valores são expostos a seguir na tabela 30:

Tabela 30 – Peso Próprio dos Blocos (M ₃)				
Blocos	T0(kg)	T5 (Kg)	T10 (Kg)	T15 (Kg)
Bloco 01	10.198	9.760	8.468	7.779
Bloco 02	10.200	9.700	8.367	7.878
Bloco 03	10.199	9.800	8.369	7.878
Média	10.199	9.753	8.401	7.845

De acordo com os resultados da análise individual obtiveram-se blocos mais leves em todos os traços de substituição quando comparados ao traço de referência. Pode-se visualizar tal constatação pelo gráfico 22 a seguir:

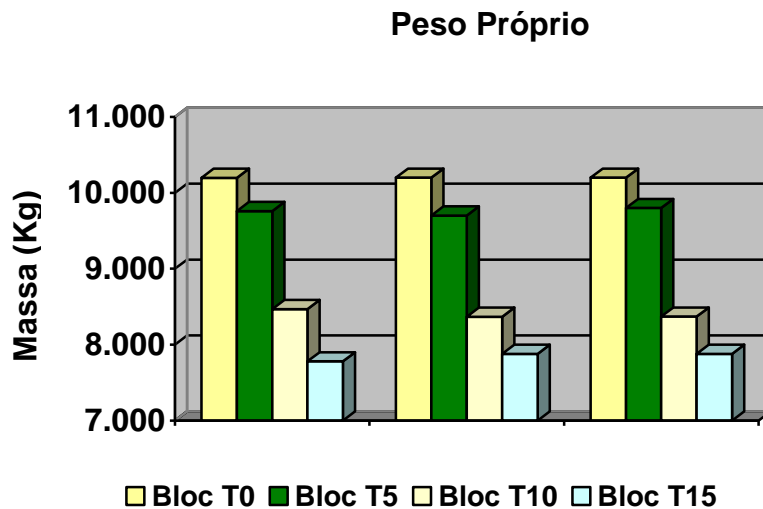


Gráfico 22 – Análise Individual do Peso Próprio dos Blocos.

Fazendo um comparativo em relação à média de resultados constata-se que para o traço com 5 % de serragem obteve-se blocos mais leves em média de 4,37 % de massa. Em relação aos blocos de traço T10, obtiveram-se também blocos mais leves com a substituição da areia pelo resíduo de pó de serra, em média de 17,63% de massa. E para os blocos com 15% de pó de serra se observa que ainda teve redução do peso em média de 23,08% de massa.

Assim, quanto maior o teor de resíduo, mais leve o bloco se torna conforme gráfico 23 a seguir:

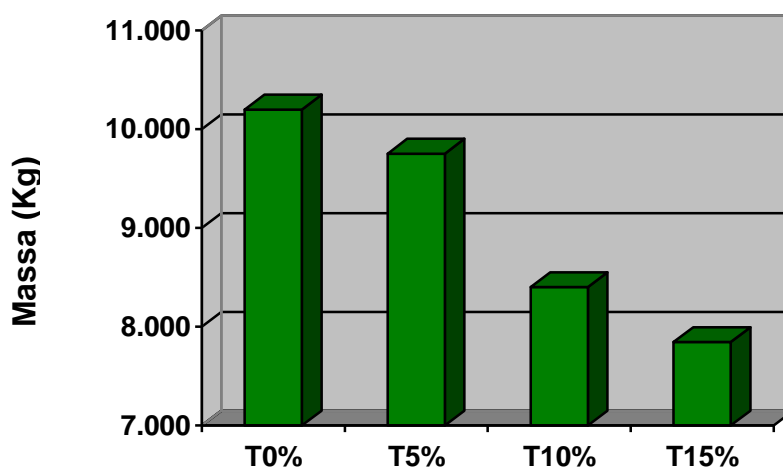


Gráfico 23 – Média de Resultados dos Pesos Próprios – M3.

7. CONCLUSÕES

7.1 TRATAMENTO ADOTADO

De acordo com o programa experimental adotado, constatou-se que o tratamento dado a serragem, solução alcalina, não é eficiente, já que não se obteve o mínimo exigido pela norma NBR7173 (ABNT, 1982), no que se refere à resistência à compressão.

Nota-se que as espécies de madeira do tipo pinus (*Pinus caribaea var. hondurensis*), eucalipto (*Eucalyptus citriodora*) e cerejeira (*Amburana sp.*), utilizadas na pesquisa de Dantas Filho (2004), que foram submetidas a este tratamento, obtiveram os melhores valores de resistência à compressão quando comparadas a serragem que não foram lavadas nesta solução.

No entanto, para a espécie *Dinizia Excelsa Ducke* (Angelim Vermelho), este tratamento não é eficaz no que tange a eliminação dos extrativos liberados pelas partículas vegetais. Isto ficou comprovado pelo retardamento da pega do cimento, principalmente pelos resultados obtidos nos sete dias de ensaio, que em média alcançou 0,32Mpa, valor este insignificante.

Isso reafirma a teoria de que à inclusão de materiais orgânicos na mistura de concreto interfere diretamente nos primeiros 7 dias de idade, retardando a reação de hidratação (METHA; MONTEIRO, 1994).

Uma hipótese aceitável para tais resultados é de que a água presente nas fibras vegetais úmidas possa ter sido liberada de volta à matriz. Tal hipótese, se confirmada, faria com que esta matriz ficasse envolvida por uma película de água (efeito parede), aumentando a porosidade da zona de transição, o que favorece o acúmulo de cálcio nesta mesma zona, tornando-a mais frágil e suscetível a fissuras (SAVASTANO et al, 1994). Para que esta seja confirmada há necessidade de avaliação microscópica da zona de transição.

Outra possibilidade para que a resistência tenha alcançado valores tão pequenos em relação ao traço de referência, é de que o material residual utilizado na forma de pó, ou seja, mais fino, possui uma superfície específica superior, liberando desta forma uma maior quantidade de extrativos, diminuindo a compatibilidade com o cimento. No entanto sabe-se que uma granulometria superior poderia interferir diretamente na textura dos blocos, portanto optou-se em manter

esse formato de pó, mas alterar o tratamento a fim de obter melhores resultados na redução desses extrativos.

Com a mudança do tratamento para a imersão em solução de sulfato de alumínio, confirmou-se a eficácia deste para a espécie adotada neste estudo, pois houve um aumento considerável nos valores de resistência, alcançando em média 1,36 Mpa aos sete dias, cerca de 4,25 vezes superior ao resultado de sete dias em solução alcalina.

Assim, o tratamento com sulfato de alumínio teve comportamento semelhante quando comparado a pesquisa realizada por Lima (2005) e Souza (2006) no que tange aos melhores resultados de resistência à compressão quando comparados a outros tratamentos.

7.2 RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO

Segundo a NBR7173 (ABNT, 1982) os valores mínimos necessários para que os blocos possam ser desenvolvidos em relação à resistência a compressão é de 2,0 Mpa individual e média de 2,5 Mpa.

Como citado anteriormente, para os blocos T5 cujos resíduos foram tratados em solução alcalina, os resultados foram inferiores ao mínimo exigido pela norma citada, alcançando em média 1,39 Mpa aos 28 dias de ensaio.

No entanto, de acordo com os resultados obtidos no ensaio com a alteração do tratamento, os blocos T5, alcançaram valores consideráveis, estando dentro dos padrões da norma, obtendo a média de 3,98 Mpa aos 28 dias de ensaio.

Para os teores de 10% de pó de serra, os blocos T10, os resultados ficaram em média de 2,24 Mpa. Ou seja, para este traço até se alcançou o mínimo exigido em norma quando se faz a análise individual, porém quanto se avalia a média, verifica-se que não está em conformidade com a norma.

Já para os teores de 15 %, não se obteve o mínimo exigido. Portanto, os blocos T15 estão fora dos padrões mínimos da norma no que se refere à resistência a compressão, já que os resultados foram muito baixos, em média de 1,72 Mpa.

Ressalta-se que na pesquisa elaborada por Dantas Filho (2004), onde também foi adotado o CPV-ARI, foram elaboradas três misturas onde se variou a quantidade de água e a proporção do pó de serra quando comparado ao bloco de referência, ou seja, foram moldados vários traços e a resistência alcançada em cada

mistura teve média diferenciada. Por exemplo, para a mistura A, traço A, a média foi de 0,9 Mpa. Para a mistura B, o traço de referência alcançou 2,5 Mpa, o traço B teve 0,8 Mpa e o traço C alcançou 1,5 Mpa. Já para a mistura C, o traço de referência obteve 5,3 Mpa, o traço B teve 5,2 Mpa, o traço C 4,0 Mpa, o traço D 2,8 Mpa e o traço E 1,4 Mpa.

Com isso se demonstrou que o teor de pó de serra interfere diretamente no resultado de resistência. Pois em ambos dos estudos, observa-se que quando comparados aos blocos de referência houve perda de resistência. Nota-se também que quanto mais se aumenta a proporção de pó de serra maior é a perda na resistência.

O melhor resultado alcançado foi à média de 3,98 Mpa, cujo teor de pó de serra é de 5%, já no trabalho de Dantas Filho (2004) o melhor resultado é em média de 5,2 Mpa, no traço B da mistura C, cujo teor é de 30% de resíduo. O traço D, da mistura C, também alcançou valores mínimos exigidos pela norma, e este traço tem cerca de 52,21% de resíduo. Isso quer dizer que as espécies adotadas no trabalho de Dantas Filho (2004) tiveram melhor compatibilidade na formação do compósito do que a espécie deste trabalho como se pode verificar pelos valores alcançados nos ensaios de resistência.

Na pesquisa de Souza (2006), onde se estudou seis espécies amazônicas e ainda a mistura destas em partes iguais, na proporção 3:1 (cimento:madeira), adotou-se também como cimento o CPV-ARI e ao se comparar seus resultados com os da espécie adotada nesta pesquisa, constatamos que se têm um comportamento semelhante para algumas espécies no que tange a resistência a compressão para as fibras tratadas com sulfato de alumínio. Por exemplo, para a espécie Quaruba o valor médio alcançado foi de 2,63 Mpa e para o Cedro a média foi de 2,78 Mpa, valores bem próximos do alcançado neste estudo. Já a mistura das espécies alcançou a média de 3,03, também valor próximo do que se alcançou com este estudo.

Confirmou-se também o retardamento da pega do aglomerante na formação do compósito cimento:madeira para as espécies dicotiledôneas. Isto porque aos sete dias de ensaio, nenhum dos blocos atinge os valores mínimos exigidos pela norma. Os valores só tendem a crescer no intervalo entre o sétimo e o vigésimo oitavo dia, observando que o crescimento é bastante acentuado nesse

intervalo chegando a aumentar até 2,93 vezes quando se trata dos blocos T5, 2,90 vezes para os blocos T10, e até 4,1 vezes em relação aos T15.

É importante ressaltar que todo o processo de moldagem, mistura vibração e compressão, é fundamental para se alcançar a resistência desejada. A mistura de concreto deve estar bem distribuída, os seja, os materiais mantendo uma mistura homogênea, evitando segregação, além de o equipamento estar em bom estado de funcionamento para evitar as falhas superficiais nos blocos, como fissuras e irregularidades na borda, esses são fatores imprescindíveis para se ter bons resultados em relação à resistência.

Em várias misturas durante todo o processo de produção, devido à moldagem, que não foi realizada de maneira adequada, logo após a vibro-compactação eram visíveis as fissuras e irregularidades decorrentes da segregação do material ou da má compactação. Os blocos se tornavam mais frágeis na borda se quebrando facilmente, ou até mesmo durante o transporte, sendo necessárias novas moldagens devido à perda de material.

Assim, para se obter bons resultados nos blocos de vedação, em relação à resistência, todo o processo produtivo é tão importante quanto à seleção e caracterização de materiais. Confirma-se assim que a relação cimento:madeira (dosagem) associada a compactação adequada da máquina influencia diretamente nos resultados de resistência à compressão.

7.3 ABSORÇÃO E TEOR DE UMIDADE

Quanto à absorção, não se obteve êxito para todos os traços. Os blocos T5 tiveram um bom desempenho para absorção alcançando a média de 9,52%, ou seja, dentro dos padrões da norma. Já os blocos de traço T10, ao se fazer a análise individual verifica-se que este até se manteve dentro do limite, mas ao analisarmos a média, que ficou em torno de 13,10%, notou-se que foi superior ao limite de 10% determinado pela norma. Já os blocos T15, obtiveram absorção em média de 21,75%, muito acima do valor máximo determinado como padrão.

Na pesquisa de Dantas Filho (2004) verificou-se um comportamento bem variado. No entanto, somente o traço B da mistura C se mostrou adequado aos padrões da norma. Há de se ressaltar que a quantidade de serragem neste traço é cerca de 30%, valor bem superior aos adotados neste estudo.

Em relação ao teor de umidade todos os traços estão dentro dos padrões conforme NBR 7173 (ABNT, 1982), que determina até 40% da quantidade de água fixada como absorção máxima. Os blocos T5 mantiveram 15,30%, os T10 16,44% e os T15 com média de 10,72%. Comparando-se com a pesquisa de Dantas Filho (2004), verifica-se que o único traço fora dos padrões estabelecidos pela norma foi o traço B da mistura C, que alcançou a média de 46%. Isso quer dizer que em ambas as pesquisas quanto ao teor de umidade o resultado foi satisfatório.

7.4 PESO PRÓPRIO

Em relação ao peso dos blocos verificou-se que quanto mais se substitui o agregado miúdo pelo pó de serra mais leve os mesmos se tornam, ou seja, quando se aumenta a proporção de pó de serra, o peso próprio do bloco diminui, a relação é inversamente proporcional. Da mesma forma comportaram-se os blocos nos estudos de Dantas Filho (2004).

7.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Assim, os blocos adequados quanto à resistência, absorção e teor de umidade são os que possuem 5% de pó de serra em sua composição, os T5, cujos resíduos foram tratados com solução de sulfato de alumínio.

Acredita-se que melhorando o processo de moldagem, ou seja, evitando as fissuras e adequando a máquina a produção em série, os blocos T10, compostos com 10 % de pó de serra, também estariam adequados, até porque atingiram o mínimo exigido quando a análise é individual.

Já os blocos T15, com 15% de pó de serra em sua composição, estão inadequados de acordo com os padrões estabelecidos na norma.

7.6 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

Em última análise, sugere-se manter o tratamento com sulfato de alumínio no resíduo, denominado de mineralização, mas poderia ser associado a este o acréscimo de um aditivo próprio para a formação de blocos na mistura do concreto.

Existem plastificantes no mercado que quando diluídos na água de amassamento proporcionam melhor plasticidade da mistura além de reduzir a quantidade de água.

Esses produtos no estado fresco melhoram o desgaste das formas e moldes devido à melhor lubrificação da massa e conseqüentemente melhorando o acabamento e deslizamento na desforma, evitando irregularidades e rugosidades nas paredes externas e em suas arestas.

Já no estado endurecido, existe a melhora da textura e na resistência, além de reduzir a permeabilidade, fissuras e a quebra durante a fabricação. Essas características são garantias do fabricante devido à base química do aditivo, que é surfactante.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGOPYAN, Vahan. **Materiais reforçados com fibras para a construção civil nos países em desenvolvimento: o uso de fibras vegetais**. 1991. 90 f. Tese (Livre Docência) – Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991.

AGOPYAN, Vahan.; SAVASTANO JUNIOR, Holmer. Microestrutura x desempenho dos compósitos reforçados com fibras vegetais. In: WORKSHOP RECICLAGEM E REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS COMO MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL, 1996, **Anais do Workshop Reciclagem e reutilização de Resíduos como Materiais de Construção Civil**. São Paulo, 1996.

AGOPYAN, Vahan., SAVASTANO JUNIOR, Holmer. Fibras naturais para a produção de componentes construtivos. In III SIMPÓSIO IBERO-AMERICANO DE TELHADOS PARA HABITAÇÃO, 1998, **Anais do III Simpósio Ibero Americano de telhados para habitação**, 1998, p. 11-59.

AGOPYAN, Vahan; JOHN, Vanderley Moacyr. Reciclagem de resíduos da construção. In: Seminário Reciclagem de Resíduos sólidos domiciliares, 1999. **Anais do Seminário Reciclagem de Resíduos sólidos domiciliares**, 1999.

ALVES, José Dafico. **Blocos pré-moldados de concreto: práticas de dosagem e controle de qualidade**. Goiânia, GO: Universidade Federal de Goiás, 2004.

ANGELIM VERMELHO. Disponível em:
<http://www.aguademeninos.com.br/madeireira/madeiras/angelimvermelho.prop.html>.
> Acesso em: 16 nov. 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia básico de utilização do cimento portland**. 7.ed. São Paulo, ABCP, 2002. 28p. (Boletim técnico n.106).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Produção de blocos de concreto para alvenaria: prática recomendada**. 3.ed. São Paulo, ABCP, 1995. 16p. (Boletim técnico n.107).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5733 - Cimento Portland de Alta Resistência Inicial: especificação**. Rio de Janeiro, 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5734 - Peneiras para ensaio com telas de tecido metálico - Método de ensaio.** Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6465 - Agregados: determinação da Abrasão “Los Angeles”.** Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6467 - Agregado miúdo para concretos: determinação do inchamento - Método de ensaio.** Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7173 - Blocos vazados de concreto simples para alvenaria sem função estrutural.** Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7184 - Blocos vazados de concreto simples para alvenaria: determinação da resistência à compressão.** Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211 - Agregado para concreto: especificação.** Rio de Janeiro, 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7217 - Agregados: determinação da composição granulométrica.** Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7220 - Agregados: determinação de impurezas orgânicas húmicas em agregado miúdo-método de ensaio.** Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7251 - Agregados em estado solto: determinação da massa unitária - Método de ensaio.** Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9776 - Agregados: determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapmann.** Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11578 - Cimento Portland Composto: especificação.** Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13118 - Blocos vazados de concreto simples para alvenaria: determinação da absorção de água, do teor de umidade e da área líquida.** Rio de Janeiro, 1991.

BERALDO, Antonio Ludovico et al. Compósitos à base de resíduos vegetais e cimento Portland. In: VIII ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 2002, **Anais do VIII Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira.** Uberlândia, 2002 (1 CD-ROM).

CAMPOS, Cristiane Inácio de; BERALDO, Antonio Ludovico; HELLMEISTER, João César. Caracterização mecânica de compósito cimento-madeira de reflorestamento (*Cunninghamia lanceolata* Hook). In: VII ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 2000, **Anais do VII Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira,** 2000 (1 CD-ROM).

CARVALHO, José Vitório de. **Aproveitamento de resíduos particulados da madeira de Eucalipto Grandis na fabricação de compósitos à base de cimento portland.** 2000. 82 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 2000.

CONDURÚ, Marise Teles; PEREIRA, José Almir Rodrigues. **Elaboração de trabalhos acadêmicos:** normas, critérios e procedimentos. Belém: EDUFPA, 2006.

DANTAS FILHO, Flávio 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) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

EVANS, Philip D. **Wood-cement composites in the Asia – Pacific Region.** Proceeding of a workshop held in Canberra, Australia, 2002.

FIORITI, Cesar Fabiano. **Avaliação de compósitos de concreto com resíduos de borracha na produção de blocos para alvenaria.** 2002. 134 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2002.

FONSECA, Fábio de Oliveira; LIMA, Alexandre Martins de. Compósito cimento-madeira com resíduos provenientes da indústria madeireira da região amazônica. In: VIII ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 2002, **Anais do VIII Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira**. Uberlândia, 2002 (1 CD-ROM).

FONSECA, Fábio de Oliveira. **Contribuição para o desenvolvimento de compósito cimento-madeira com materiais da região amazônica**. 2005. 131 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro Tecnológico, Universidade Federal do Pará, Belém, 2005.

GRANDI, Luis Alfredo Cotini. **Placas pré-moldadas de argamassa de cimento e pó de serra**. 1995. 128 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1995.

JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na Construção Civil**: Contribuição para metodologia de pesquisa e desenvolvimento. São Paulo, 2000. 113 f. Tese (Livre Docência) - Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

LATORRACA, João Vicente de Figueiredo. ***Eucalyptus spp* na produção de painéis de cimento – madeira**. 2000. 191 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

LATORRACA, João Vicente de Figueiredo. Estudo comparativo entre dois métodos utilizados na avaliação da aptidão da madeira para uso em chapas de cimento-madeira. In: VIII ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 2002, **Anais do VIII Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira**, 2002 (1 CD-ROM).

LIMA, Alexandre Martins de et al. Compósito cimento-madeira com resíduos provenientes da indústria madeireira da Região Amazônica. In: VIII ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 2002, **Anais do VIII Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira**. Uberlândia, 2002 (1 CD-ROM).

LIMA, Alexandre Martins de. **Influência de três tipos de tratamentos físicos na resistência à compressão de compósitos cimento-madeira à base de resíduos de serraria**. 2005. 143 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro tecnológico, Universidade Federal do Pará, Belém, 2005.

MADEIRA. Disponível em < <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira.php> > acesso em: 15 fev. 2007.

METHA, P. K.; MONTEIRO, P .J .M. **Concreto**: estrutura, propriedades e materiais. São Paulo: PINI, 1994. 573p.

MORI, Fábio Akira et al. **Estudo da compatibilidade entre a madeira e as cascas de Eucalypto Grandis e cimento portland**. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 17, n. 3, p. 257-264, jul-set, 2007.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 2 ed. São Paulo, PINI, 1997. 828p.

PIMENTEL, Lia Lorena; BERALDO, Antonio Ludovico. Utilização de resíduos de *pinus caribaea* na produção de compósito Madeira-cimento. In: VII ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 2000, **Anais do VII Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira**, 2000 (1 CD-ROM).

RIBEIRO, Julliana Simas. **Avaliação do desempenho de blocos de concreto para alvenaria com e sem função estrutural produzidos com resíduos de concreto compactado com rolo**. 2005. 179 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2005.

SAVASTANO JUNIOR, H. **Zona de transição entre fibras e pasta de cimento Portland**: caracterização e inter-relação com as propriedades mecânicas do compósito. 1992. 189 f. Tese (Doutorado) - Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.

SAVASTANO JUNIOR, H., DANTAS, F. A. S.; AGOPYAN, Vahan. **Materiais reforçados com fibras**: correlação entre a zona de transição fibra matriz e propriedades mecânicas. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1994.

SAVASTANO JUNIOR, H. **Materiais à base de cimento reforçados com fibra vegetal**: reciclagem de rejeitos para a construção de baixo custo. 2000. 108 f. Tese (Livre Docência) - Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

SILVA, Sandra Regina da; MANTILLA, Judy Norka Rodo; CARRASCO, Edgar V. Mantilla. Utilização de resíduos de madeira para a confecção de tijolos de solo-cimento. In: X ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 2006, **Anais do X Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira**, 2006 (1 CD-ROM).

SOUSA, José Getúlio Gomes de. **Contribuição ao estudo da relação entre propriedades e proporcionamento de blocos de concreto – Aplicação ao uso de entulho como agregado reciclado**. 2001. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2001.

SOUZA, Alberto Alexandre Costa e. **Utilização de Resíduos da Indústria Madeireira para Fabricação de Chapas de cimento-madeira**. 2006. 143 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro Tecnológico, Universidade Federal do Pará, Belém, 2006.

TANGO, C. E. S. **Blocos de concreto: dosagem, produção e controle de qualidade**. v. 1. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT, 1984.

TANGO, C. E. S. **Fundamentos de dosagem de concreto para blocos estruturais**. In:INTERNATIONAL SEMINAR ON STRUCTURAL MASONRY FORDEVELOPING COUNTRIES, 5., Florianópolis, 1994. **Proceedings...** Florianópolis,1994, p. 21-31.

ANEXOS

Anexo 01 – Caracterização do Material

Massa Unitária da Areia			Massa Unitária do Seixo		
Padiola	Peso	3,68 Kg	Padiola	Peso	4,46 Kg
	Volume	15 Dm ³		Volume	20 Dm ³
Areia + Padiola		27,00 Kg	Seixo + Padiola		36,38 Kg
Areia		1,56 Kg/dm³	Seixo		1,60 Kg/dm³

Massa Específica da Areia	
Areia	500g
Água	200ml
Massa Específica	2,64 g/ml

Massa Específica do Seixo	
Seixo	500g
Água	1644ml
Massa Específica	2,63 g/ml

Composição Granulométrica da Areia				
Peneira	Massa Retida	% Retida Individual	% Passante	% Retida Acum.
4.8	0	0,00	0,00	0,0
2.4	3	0,30	99,70	0,3
1.2	12	1,20	98,80	1,50
0.6	42	4,20	95,80	5,70
0.3	91	9,10	90,90	14,80
0.15	568	56,80	43,20	71,60
<0.15	204	20,40	79,60	92,00
Fundo	80	8,00	92,00	100,00
Total da Amostra 1000g				MF=1,86

Composição Granulométrica do Seixo				
Peneira	Massa Retida	% Retida Individual	% Passante	% Retida Acum.
12,5	102	2,04	97,96	2,04
9,5	785	15,70	84,30	17,74
4,8	2014	40,28	59,72	58,02
2,4	1306	26,12	73,88	84,14
1,2	346	6,92	93,08	91,06
<1,2	447	8,94	91,06	100,00
Total da Amostra 5000g				

Anexo 02 – Estudos das Famílias

Composição de Agregado 50/50					
Total 120 Kg					
1:5			1:7		
Massa	Areia	50Kg	Massa	Areia	52,5Kg
	Seixo	50Kg		Seixo	52,5Kg
Cimento		20Kg	Cimento		15Kg
a/c = 0,40 → 8,00 litros			a/c = 0,50 → 7,5 litros		
Teor de Umidade		6,67 %	Teor de Umidade		6,88 %
1:8			1:10		
Massa	Areia	53,33Kg	Massa	Areia	54,55Kg
	Seixo	53,33Kg		Seixo	54,55Kg
Cimento		13,33Kg	Cimento		10,91Kg
a/c = 0,60 → 8 litros			a/c = 0,70 → 7,64 litros		
Teor de Umidade		6,67%	Teor de Umidade		6,37 %

Composição de Agregado 50/50					
Total 120 Kg					
1:5			1:7		
Massa	Areia	50Kg	Massa	Areia	52,5Kg
	Seixo	50Kg		Seixo	52,5Kg
Cimento		20Kg	Cimento		15Kg
a/c = 0,45 → 9 litros			a/c = 0,55 → 8,25 litros		
Teor de Umidade		7,5 %	Teor de Umidade		6,88 %
1:8			1:10		
Massa	Areia	53,33Kg	Massa	Areia	54,55Kg
	Seixo	53,33Kg		Seixo	54,55Kg
Cimento		13,33Kg	Cimento		10,91Kg
a/c = 0,60 → 8,00 litros			a/c = 0,70 → 7,64 litros		
Teor de Umidade		6,67 %	Teor de Umidade		6,37 %

Anexo 03 – Resultados da Resistência a Compressão

Blocos de Referência

1:5			
7º dia		28º dia	
Carga	Mpa	Carga	Mpa
26500	7,55	29300	8,35
27200	7,75	29400	8,38
27300	7,78	29400	8,38
Média	7,69	29500	8,40
		29500	8,40
		29700	8,46
		Média	8,40

1:7			
7º dia		28º dia	
Carga	Mpa	Carga	Mpa
8300	2,36	14500	4,13
8500	2,42	14500	4,13
8500	2,42	14600	4,16
Média	2,40	14800	4,22
		14800	4,22
		17000	4,84
		Média	4,28

1:8			
7º dia		28º dia	
Carga	Mpa	Carga	Mpa
14900	4,25	21800	6,21
14900	4,25	22500	6,41
15300	4,36	22800	6,50
Média	4,29	22800	6,50
		22900	6,52
		22900	6,52
		Média	6,44

1:10			
7º dia		28º dia	
Carga	Mpa	Carga	Mpa
13000	3,70	20600	5,87
13100	3,73	20900	5,95
13100	3,73	20900	5,95
Média	3,72	21000	5,98
		21000	5,98
		21200	6,04
		Média	5,96

Anexo 04 – Resultados da Resistência a Compressão

Blocos com Pó de Serra

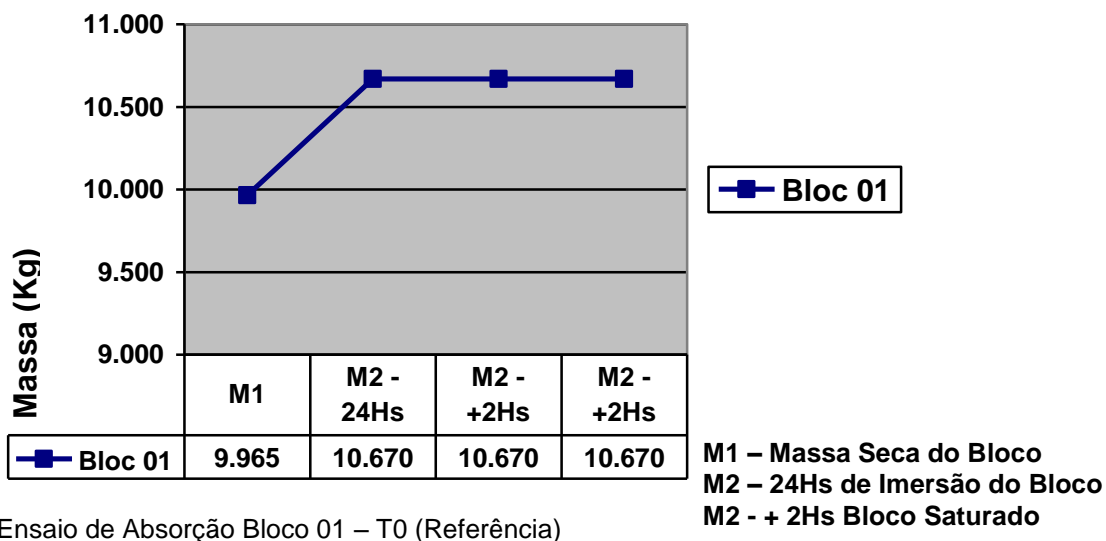
1:8 – 5% de Pó de Serra Alcalino			
7º dia		28º dia	
Carga	Mpa	Carga	Mpa
1053	0,30	4739	1,35
1053	0,30	4914	1,40
1229	0,35	4984	1,42
Média	0,32	Média	1,39

1:8 – 5% de Pó de Serra Sulfatado			
7º dia		28º dia	
Carga	Mpa	Carga	Mpa
4563	1,30	11759	3,35
4739	1,35	15093	4,30
4984	1,42	15093	4,30
Média	1,36	Média	3,98

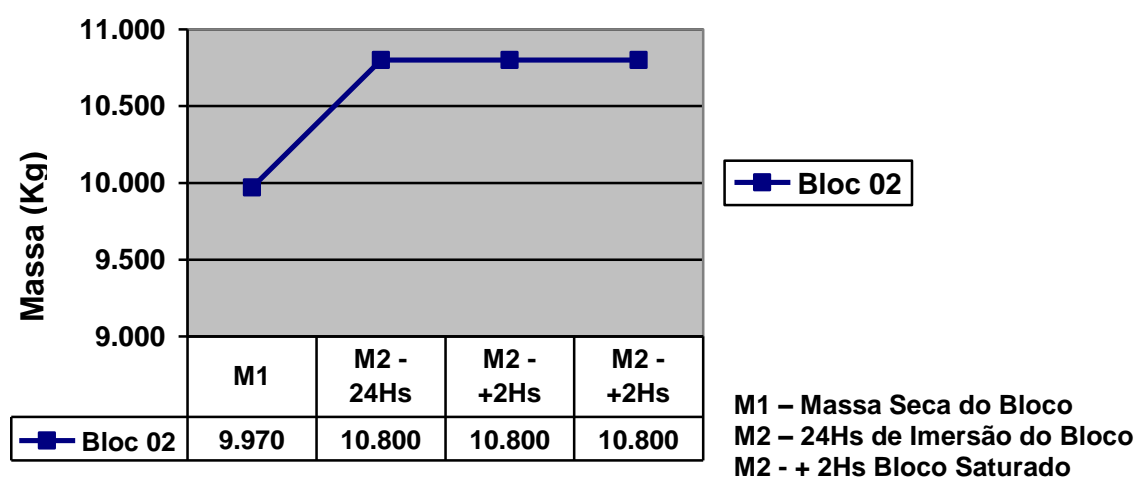
1:8 – 10% Pó de Serra			
7º dia		28º dia	
Carga	Mpa	Carga	Mpa
2597	0,74	7722	2,20
2773	0,79	7722	2,20
2773	0,79	8143	2,32
Média	0,77	Média	2,24

1:8 – 15% Pó de Serra			
7º dia		28º dia	
Carga	Mpa	Carga	Mpa
1404	0,40	5862	1,67
1509	0,43	5967	1,70
1509	0,43	6283	1,79
Média	0,42	Média	1,72

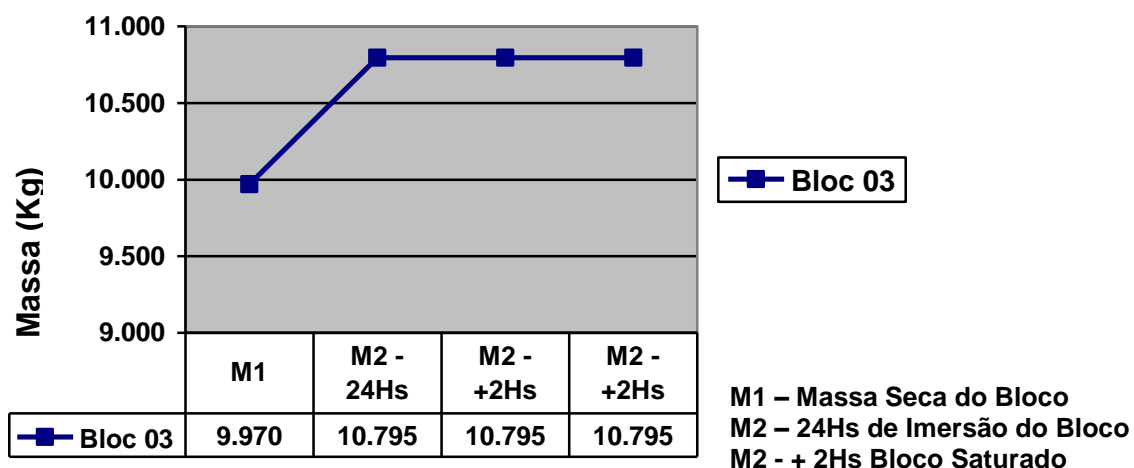
Anexo 05 – Resultados da Absorção



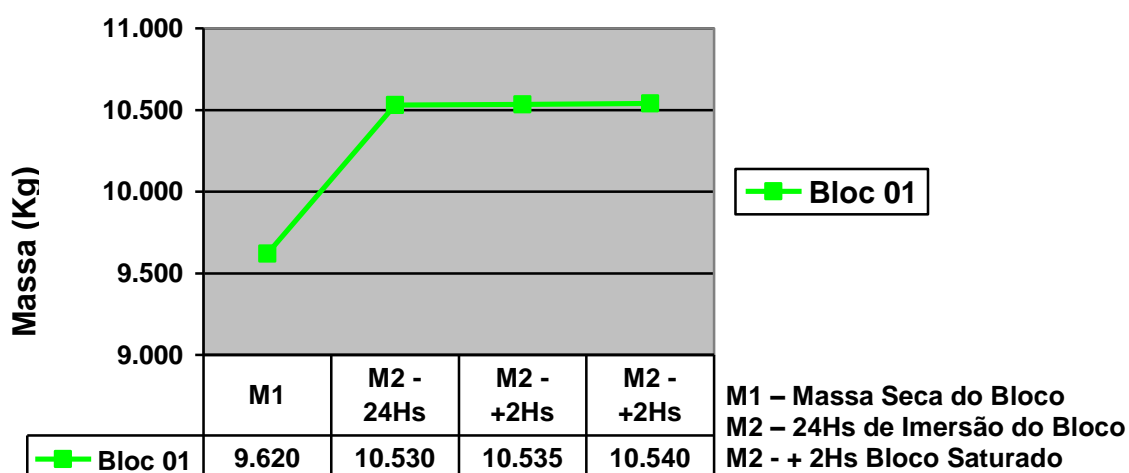
Ensaio de Absorção Bloco 01 – T0 (Referência)



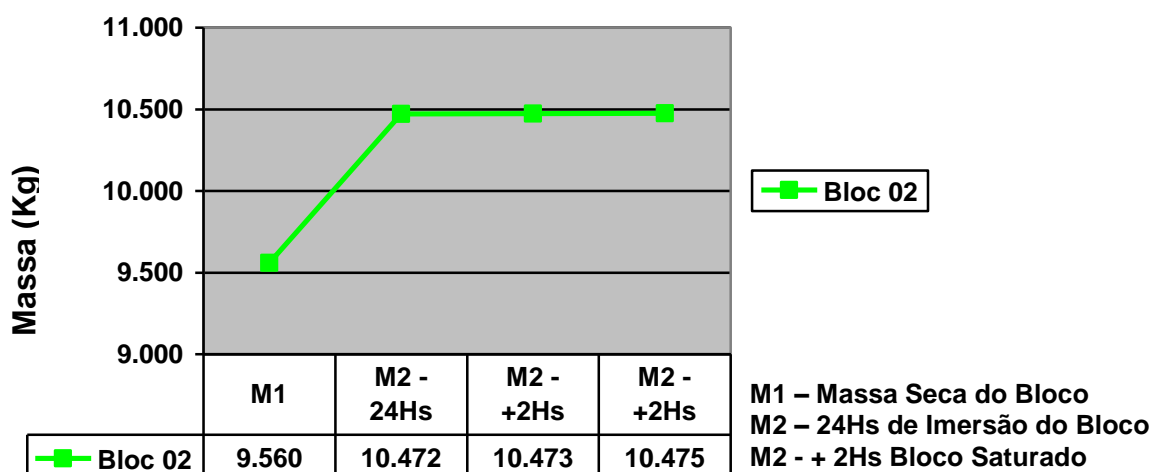
Ensaio de Absorção Bloco 02 – T0 (Referência)



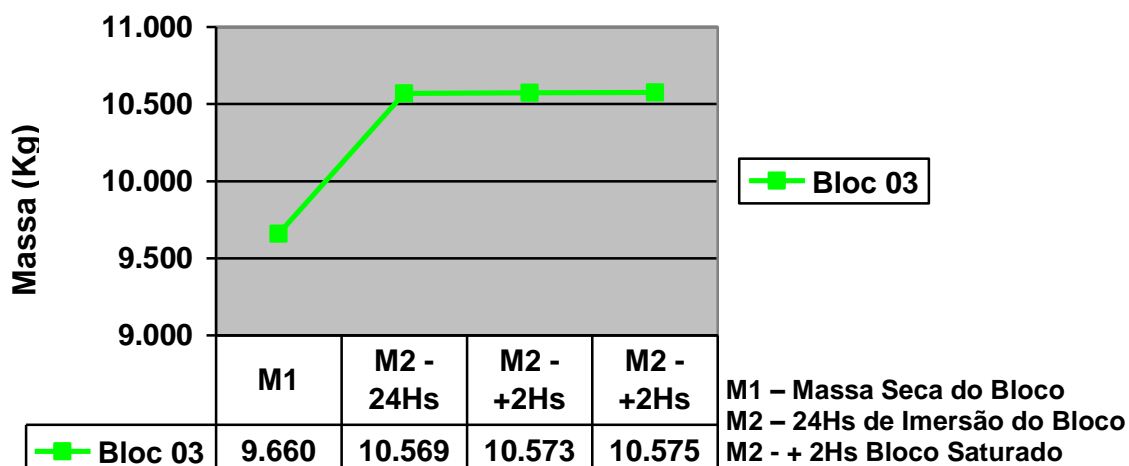
Ensaio de Absorção Bloco 03 – T0 (Referência).



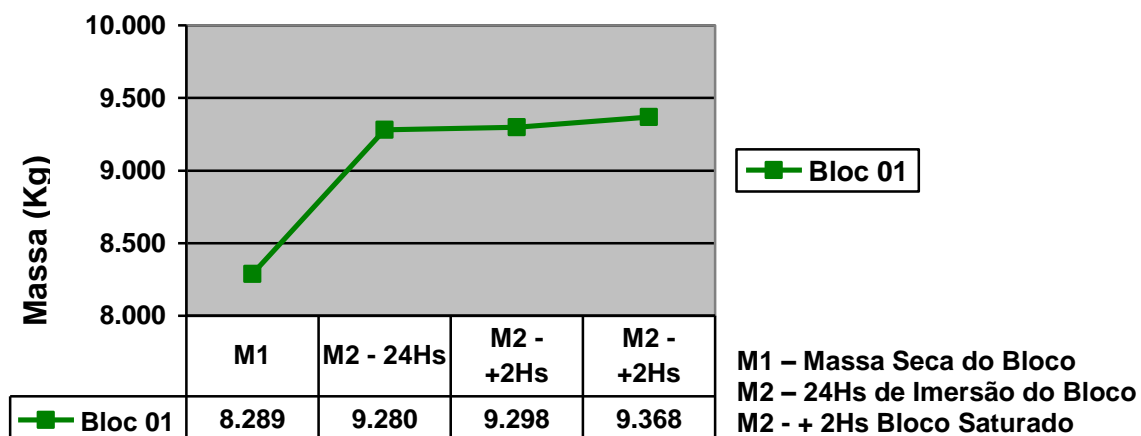
Ensaio de Absorção Bloco 01 - T5 (5% de Serragem).



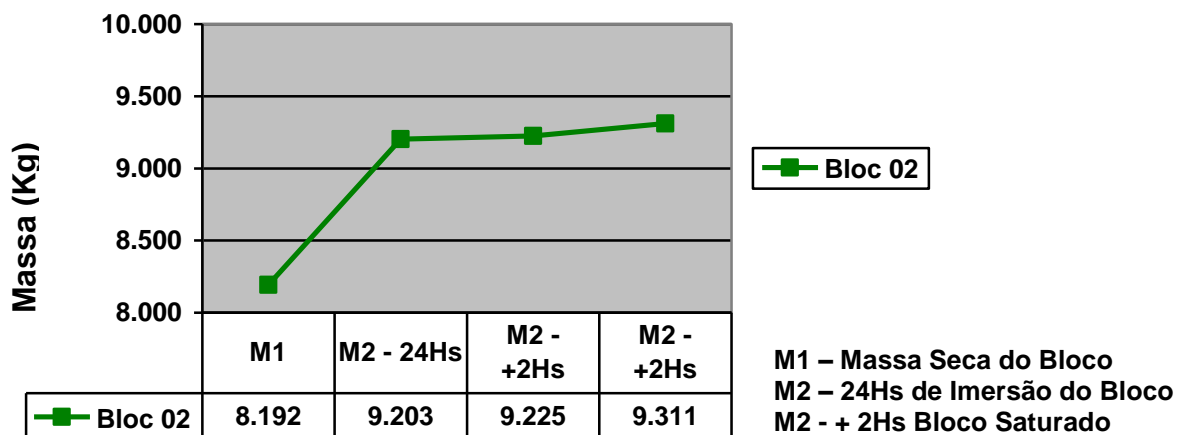
Ensaio de Absorção Bloco 02 - T5 (5% de Serragem).



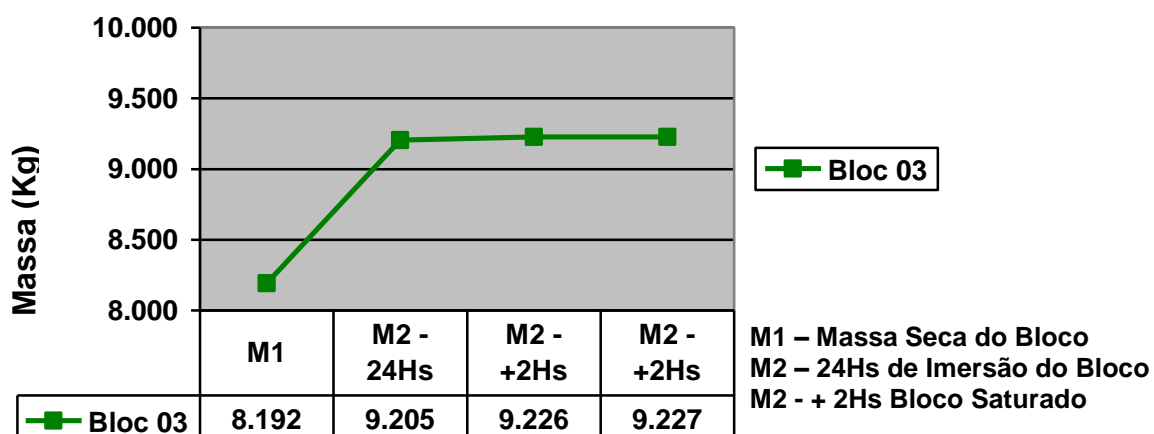
Ensaio de Absorção Bloco 03 – T5 (5% de Serragem).



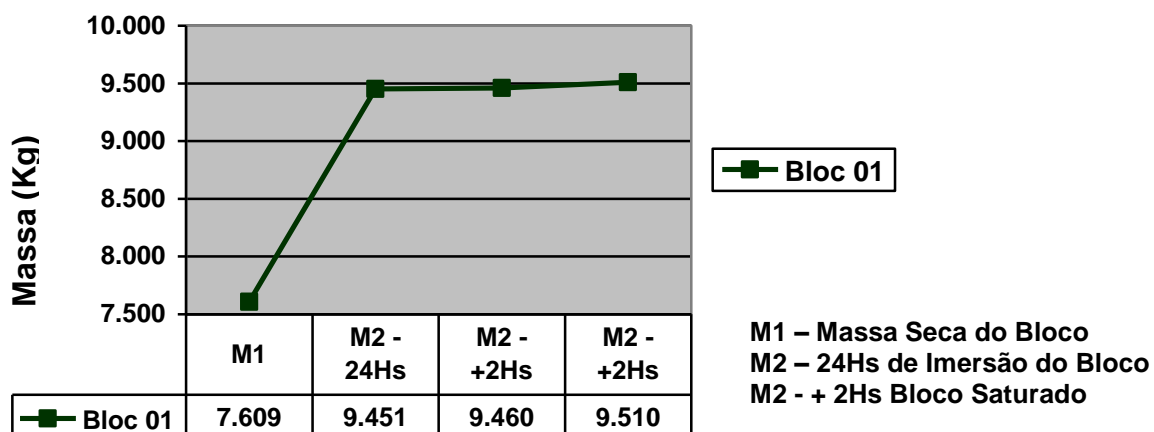
Ensaio de Absorção Bloco 01 – T10 (10% de Serragem).



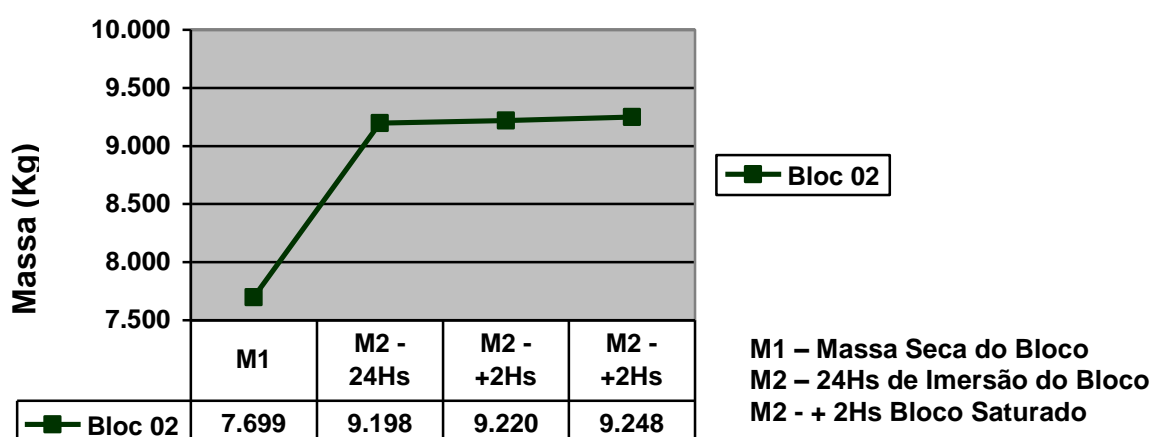
Ensaio de Absorção Bloco 02 – T10 (10% de Serragem).



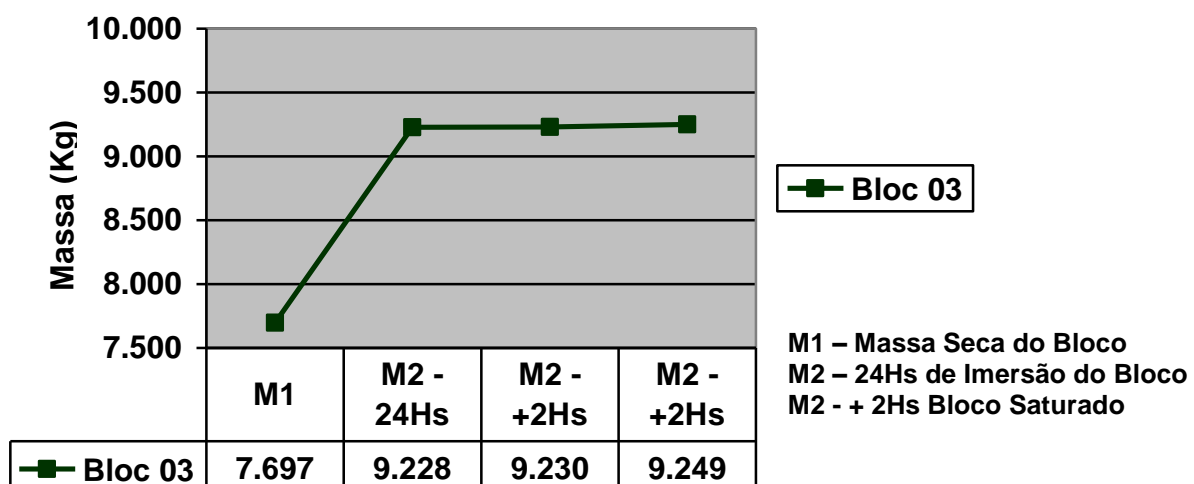
Ensaio de Absorção Bloco 03 – T10 (10% de Serragem).



Ensaio de Absorção Bloco 01 – T15 (15% de Serragem).



Ensaio de Absorção Bloco 02 – T15 (15% de Serragem).



Ensaio de Absorção Bloco 03 – T15 (15% de Serragem).