



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA-UFPB
CENTRO DE TECNOLOGIA-CT
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
URBANA E AMBIENTAL-PPGEUA-MESTRADO

INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS PARA O MELHOR APROVEITAMENTO DO GESSO NAS CONSTRUÇÕES

por

CIBELLE GUIMARÃES SILVA

*Dissertação de mestrado apresentada à Universidade Federal da
Paraíba para obtenção do grau de Mestre.*

**João Pessoa – Paraíba
2010**

CIBELLE GUIMARÃES SILVA

**INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS PARA O MELHOR
APROVEITAMENTO DO GESSO NAS CONSTRUÇÕES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental da Universidade Federal da Paraíba/Centro de Tecnologia, em cumprimento às exigências para obter o Grau de Mestre.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Normando Perazzo Barbosa

**João Pessoa – Paraíba
2010**

S586i Silva, Cibelle Guimarães.

Inovações tecnológicas para o melhor aproveitamento do gesso nas construções / Cibelle Guimarães Silva. - - João Pessoa : [s.n.], 2010.

130 f.

Orientador: Normando Perazzo Barbosa.

Dissertação (Mestrado) – UFPB/CT.

1.Engenharia Urbana. 2.Gesso- Construção Civil. 3.Gesso. 4.Bambu.
4.Gesso/Bambu- Aderência.

UFPB/BC

CDU: 62:711(043)

**"INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS PARA O MELHOR APROVEITAMENTO DO GESSO
NAS CONSTRUÇÕES"**

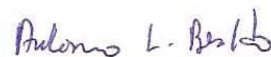
CIBELLE GUIMARÃES SILVA

Dissertação aprovada em 04 de junho de 2010

Período Letivo: 2010.1


Prof. Dr. NORMANDO PERAZZO BARBOSA – UFPB
Orientador


Prof. Dr. ALUÍSIO BRAZ DE MELO - UFPB
Examinador Interno


Prof. Dr. ANTONIO LUDOVICO BERALDO – UNICAMP
Examinador Externo

Bom mesmo é ir à luta com determinação, abraçar a vida com paixão, perder com classe e vencer com ousadia, porque o mundo pertence a quem se atreve e a vida é “muito” para ser insignificante”.

(Charles Chaplin)

Dedico este trabalho aos meus pais, Aderson e Edna, por todos os castigos, e “nãos” dados que me fizeram aprender o valor da vitória, e por me ensinarem a lutar mesmo que o vento bata contra a embarcação.

AGRADECIMENTOS

A DEUS por toda a proteção, companhia nos momentos de solidão, sabedoria nas horas das escolhas e calma nos momentos difíceis.

Ao Prof. Dr. Normando Perazzo Barbosa, grande e principal colaborador deste trabalho, pelos ensinamentos transmitidos, por toda orientação e pelo grande exemplo profissional e humano.

Aos funcionários do LABEME (Laboratório de Materiais e Estruturas) Delby, Sebastião, Ricardo e Zito, que foram imprescindíveis para a concretização da pesquisa.

Aos amigos que nasceram no Labeme Marcilene, Marília, Elisângela, Christiane, Ivana e Elisabete pelos momentos de descontração e auxílio.

As minhas amigas Kaline, Sabrina e Irineide, que acompanharam todos os passos desta caminhada e sempre me fizeram sorrir quando tudo parecia não dá certo.

A minhas primas Pollianne, Marianne e Cristianne, que ajudaram na convivência longe da família.

A minha família e ao meu namorado Allysson que sempre foram meu porto seguro e a luz que ilumina meus dias.

Ao CNPQ pelo apoio financeiro na forma de bolsa e financiamento da pesquisa.

Ao programa CAPES-COFECUB, cujo tema de projeto envolvendo a UFPB, sobre aproveitamento de materiais vegetais na construção também motivou este trabalho.

RESUMO

O gesso é um dos materiais de construção mais antigos que se tem conhecimento. Em virtude de ser um ligante menos agressivo ao ambiente que o cimento Portland, seu uso deve ser incentivado e suas novas aplicações estudadas. Este trabalho tem como objetivo a inovação tecnológica para a maior aplicação do gesso na construção civil, inclusive com o desenvolvimento de um elemento estrutural horizontal de gesso reforçado por bambu. A primeira fase do trabalho aborda as propriedades dos materiais utilizados. Em seguida, foram descritas as limitações existentes na utilização do gesso na construção, tais como a resistência e a durabilidade. A resistência foi melhorada com a redução na quantidade de água de amassamento. Foram desenvolvidos tratamentos para diminuir a susceptibilidade do gesso em relação à água. Em seguida, foi realizada uma análise nas características do bambu, desenvolvendo-se tratamentos para redução de absorção de água e aumento de sua aderência à pasta de gesso. Após o estudo do gesso e do bambu como elementos isolados foi avaliado o comportamento do compósito gesso/bambu. Por fim, o elemento desenvolvido foi testado em laboratório e utilizado em um protótipo construído no campus universitário. Os resultados deste trabalho indicaram que a resistência do gesso pode ser elevada com tecnologias simples, tais como a redução de água de amassamento e o adensamento por vibração. Quanto à durabilidade, a minimização na absorção de água, e tratamentos superficiais como a imersão em creosoto e pintura com resina de mamona desenvolvidos mostraram-se eficazes. A aderência gesso/bambu pôde ser melhorada por meio de tratamentos paralelos buscando a redução de absorção de água e o aumento da rugosidade da sua superfície das varas de bambu. Os elementos desenvolvidos estão se comportando adequadamente no protótipo onde foram aplicados.

Palavras Chaves: gesso, bambu, elemento estrutural, resistência, durabilidade.

ABSTRACT

Gypsum is one of the oldest building materials which are known. By virtue of being a ligand less environment aggressive than Portland cement, its use should be encouraged and its new applications studied. This work aims at technological innovation for the greater application of gypsum in construction industry, including development of a structural horizontal gypsum reinforced by bamboo. The first phase of the work deals with the properties of materials used. Then, we described the existing limitations on the use of gypsum in construction, such as strength and durability. The resistance was improved by reducing the amount of mixing water. Treatments were developed to reduce susceptibility of gypsum in relation to water. Then, an analysis was performed on the characteristics of bamboo, developing treatments to reduce water absorption and increase their adherence to the folder of plaster. After the study of plaster and bamboo as isolated elements it was evaluated the behavior of the composite gypsum / bamboo. Finally, the element has been tested in the laboratory and used in a prototype built on campus. These results indicate that resistance of the gypsum can be increased with simple technologies, such as the reduction of mixing water and densification by vibration. As for durability, minimizing the absorption of water, and surface treatments such as immersion in creosote and painting with castor beans developed resin proved effective. The plaster/bamboo adherence could be improved through parallel treatments aiming the reduction of water absorption and the increase of the roughness of bamboo sticks surface. The developed elements are behaving properly in the prototype were applied.

Keywords: plaster/gypsum, bamboo, structural element, resistance and durability.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Fluxograma Metodológico.....	23
FIGURA 2- Mineral Gipsita.....	26
FIGURA 3 – Países produtores mundiais de gipsita.....	27
FIGURA 4 – Frente de lavra da Mineradora São Jorge no Pólo Gesseiro de Pernambuco.....	29
FIGURA 5 – Curva típica de calor de hidratação de pastas de gesso.....	31
FIGURA 6 – Microscopia eletrônica de varredura dos cristais do hemidrato (SINGH e MIDDENDORF, 2007).....	32
FIGURA 7 – Seção transversal do colmo de bambu (SANCHEZ CRUZ, 2002).....	38
FIGURA 8 – Bambu e microestrutura do bambu.....	39
FIGURA 9 - Variação dimensional do bambu em contato com o concreto.....	42
FIGURA 10- Planta da espécie Agave Sisalana.....	45
FIGURA 11 – Encaixe em perspectiva.....	47
FIGURA 12 – Tipologia dos blocos principais (RODRIGUES2008).....	48
FIGURA13 – Blocos M40, M10 e MC inseridos em malha reticular M (RODRIGUES, 2008).....	49
FIGURA 14 – Sub-blocos M40x30 originados do M40.....	50
FIGURA 15 – Tipologias dos sub-blocos.(RODRIGUES,2008).....	51
FIGURA 16 – Locação dos blocos MC.....	52
FIGURA 17 – Sequência de assentamento dos blocos da primeira fiada.....	53
FIGURA 18 – Corte esquemático da cinta no topo da parede.....	54
FIGURA 19 – Fechamento em madeira.....	55
FIGURA 20 – Fissuras abaixo da linha de cobertura do telhado.....	55
FIGURA 21 – Protótipo construído no Campus Universitário da Universidade Federal da Paraíba.....	56
FIGURA 22 - Curva granulométrica do gesso.....	59
FIGURA 23– Difratoograma do gesso.....	60
FIGURA 24 – Difratoograma da cal.....	61

FIGURA 25 – Resíduo cerâmico: (a) Blocos cerâmicos fragmentados e (b) Resíduo cerâmico moído.....	62
FIGURA 26 – Difratoograma do resíduo cerâmico.....	64
FIGURA 27 – Fibra de sisal.....	65
FIGURA 28-Fôrma para corpos de prova cúbicos.....	66
FIGURA 29 - Fôrma para corpos de prova prismáticos.....	66
FIGURA 30 - Ensaio de compressão em corpos de prova cúbicos.....	70
FIGURA 31 - Ensaio de flexão em três pontos.....	70
FIGURA 32 - Aparelho de Vicat.....	72
FIGURA 33 - Esquema para a medição da temperatura de evolução.....	72
FIGURA 34 – Esquema para medição de temperatura.....	73
FIGURA 35 – Ensaio de absorção.....	74
FIGURA 36- Variação de resistência à compressão com a relação água/gesso.....	75
FIGURA 37 - Resultado do ensaio de compressão.....	77
FIGURA 38 - Ensaio de compressão.....	77
FIGURA 39 - Ensaio de tração na Flexão.....	78
FIGURA 40 - Evolução da temperatura A/G= 0,3.....	81
FIGURA 41 - Gráfico da relação fator A/G x absorção de água.....	82
FIGURA 42 – Variação da absorção de água com a incorporação de areia.....	83
FIGURA 43 - Gráfico do número de camada de resina x Absorção.....	84
FIGURA 44 - Absorção da em bloco sem pintura e com quantidades diferentes de camadas da resina de poliuretano.....	85
FIGURA 45 – Escala para medição de pH da fenolftaleína.....	86
FIGURA 46 – Verificação do ph com fenolftaleína imediatamente após o banho.....	86
FIGURA 47 – Verificação do ph com fenolftaleína 24 horas após o banho.....	87
FIGURA 48 – Comparação da absorção de água em blocos sob o tratamento superficial em banho de cal e em blocos sem tratamento.....	88

FIGURA 49 - Comparativo da resistência mecânica em blocos submetidos a banho de cal com blocos sem o tratamento com a cal.....	89
FIGURA 50 – Partes de colmos de bambu cortados para tratamento de instabilidade dimensional.....	94
FIGURA 51 - Absorção das amostras submetida a imersão em resina antifungos.....	96
FIGURA 52 – Comparativo dos tratamentos superficiais para redução da absorção de água.....	97
FIGURA 53– Comparativo da retração total nas amostras de bambu submetida a diferentes tratamentos superficiais.....	99
FIGURA 54 – Fissuras na camada superficial do bambu tratado com epóxi após saturação.....	100
FIGURA 55 - Fissuras na camada superficial do bambu tratado com massa plástica após saturação.....	100
FIGURA 56- Ataque do carucho ao 64º dia após a exposição das taliscas ao ambiente.....	101
FIGURA 57 - Taliscas de bambu com tratamento superficial utilizadas para reforço de barras prismáticas.....	103
FIGURA 58 – Armadura de bambu utilizada nas vigas.....	104
FIGURA 59 – Fôrma confeccionada para moldagem das vigas em mesa vibratória.....	105
FIGURA 60 – Mistura dos materiais da pasta de gesso.....	105
FIGURA 61 – Colocação da primeira camada de pasta de gesso.....	106
FIGURA 62 – Viga preenchida completamente com a pasta de gesso.....	106
FIGURA 63 – Talisca de bambu com ranhura e sem ranhura.....	107

FIGURA 64 – Adaptação da fôrma para moldagem dos corpos-de- prova para o ensaio de arrancamento de talisca por compressão.....	108
FIGURA 65 - Corpo-de-prova para o ensaio de arrancamento por compressão.....	109
FIGURA 66 – Talisca de bambu submetidas ao ensaio de arrancamento.....	110
FIGURA 67- Comparativo da resistência de tração na flexão para os corpos-de-prova prismáticos com diferentes tipos de tratamento e na ausência das taliscas de bambu.....	111
FIGURA 68 - Propagação das fissuras nos corpos-de-prova reforçados com bambu submetidos a diferentes tipos de tratamentos.....	112
FIGURA 69 – Tensão de aderência medida por arrancamento por compressão.....	114
FIGURA 70 - Comparação entre a aderência da cola epóxi e da massa plástica no compósito.....	115
FIGURA 71– Ruptura nos corpos-de-prova com taliscas tratadas com cola epóxi e areia.....	115
FIGURA 72 – Viga de gesso reforçado com bambu carregada com blocos M40.....	116
FIGURA 73 – Carregamento da verga.....	117
FIGURA 74 – Carregamento de serviço nas vigas com seus respectivos momentos fletores.....	118
FIGURA 75 – Ensaio de flexão estática aplicado à viga de gesso reforçado com bambu.....	118
FIGURA 76 – Carregamento Equivalente.....	119

LISTA DE TABELAS

TABELA 1-Relação entre resistência à tração e peso específico.....	58
TABELA 2 – Características química e física do gesso.....	61
Tabela 3 – Características química e física da cal.....	63
TABELA 4 - Características química e física do resíduo de bloco cerâmico moído.....	64
TABELA 5-Retração total longitudinal e transversal dos corpos-de-prova.....	98
TABELA 6-Retração parcial longitudinal e transversal dos corpos-de-prova.....	98
TABELA 7- Comparativo da carga de serviço com a carga experimental.....	119

SUMÁRIO

1.0 CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	19
1.1 Apresentação do tema.....	19
1.2 Objetivos.....	21
1.2.1 Objetivo Geral.....	21
1.2.2 Objetivos Específicos.....	21
1.3 Metodologia.....	22
1.4 Estrutura do trabalho.....	24
2.0 CAPÍTULO 2 – REVISÃO LITERÁRIA.....	25
2.1 Gesso.....	25
2.1.1 Aspectos Históricos.....	25
2.1.2 Gipsita.....	26
2.1.3 Mecanismo de Hidratação do gesso.....	29
2.1.4 Microestrutura do gesso.....	31
2.1.5 Retardadores de Pega.....	33
2.1.6 Propriedades Mecânicas.....	33
2.1.7 Influência da cal na pasta de gesso.....	35
2.2 Bambu.....	36
2.2.1 Tratamentos.....	40
2.2.2 Bambu como elemento estrutural.....	40

2.3 Resíduo Cerâmico.....	43
2.4 Fibra de Sisal.....	44
2.5 Sistema Construtivo com blocos de gesso.....	47
3.0 CAPÍTULO 3 – GESSO.....	57
3.1 Caracterização dos materiais.....	57
3.1.1 Gesso.....	57
3.1.2 Cal.....	60
3.1.3 Resíduo Cerâmico.....	62
3.1.4 Água.....	64
3.1.5 Sisal.....	64
3.1.6 Areia.....	65
3.1.7 Ácido Cítrico.....	65
3.1.8 Resina.....	65
3.1.9 Superplastificante.....	65
3.2 Metodologia (Gesso).....	66
3.2.1 Moldagem.....	66
3.2.1.1 Incorporação de materiais a matriz do gesso.....	67
3.2.2 Tratamentos para aumentar a durabilidade.....	68
3.2.2.1 Imersão em resina de silicone.....	68

3.2.2.2 Pintura com resina poliuretana vegetal (resina de mamona).....	68
3.2.2.3 Banho de cal.....	69
3.2.3 Ensaio de Compressão.....	70
3.2.4 Ensaio de Tração na Flexão.....	70
3.2.5 Determinação de início de pega NBR 12128.....	71
3.2.6 Medida de Evolução de Temperatura.....	72
3.2.7 Absorção de água.....	74
3.3 Resultados e Análises.....	75
3.3.1 Relação Água/Gesso x Resistência.....	75
3.3.2 Incorporações de outros materiais na pasta de gesso.....	76
3.3.3 Escolha dos aditivos.....	78
3.3.4 Durabilidade.....	82
3.3.4.1 Imersão em resina de silicone.....	83
3.3.4.2 Resina poliuretana vegetal (Resina de mamona).....	83
3.3.4.3 Banho de cal.....	85
3.4 Considerações sobre o capítulo.....	89
4.0 CAPÍTULO 4 – BAMBU.....	90
4.1 Materiais	90
4.1.1 Bambu.....	90

4.1.2 Extrato Vegetal B Carbono (Creosoto).....	90
4.1.3 Cola Époxi.....	91
4.1.4 Massa Plástica.....	91
4.1.5 Emulsão à base de Piche.....	91
4.1.6 Resina à base de silicone.....	91
4.1.7 Resina de Poliester.....	91
4.2 Métodos utilizados (Bambu).....	92
4.2.1 Tratamentos para redução de absorção de água.....	92
4.2.1.1 Imersão em resina à base de silicone.....	92
4.2.1.2 Imersão em resina de Poliester.....	92
4.2.1.3 Impregnação em extrato vegetal.....	93
4.2.2 Tratamentos superficiais para melhoramento da aderência.....	93
4.2.3 Ensaio de absorção de água.....	93
4.2.4 Análise da variação dimensional.....	93
4.3 Resultados e Análises.....	95
4.3.1 Eficácia dos tratamentos superficiais a absorção de água.....	95
4.3.1.2 Imersão em resina antifungos.....	95
4.3.1.2 Imersão em Resina de Poliester.....	96
4.3.1.3 Impregnação em extrato vegetal B Carbon 500.....	96

4.3.2 Análise da Variação dimensional.....	97
4.3.3 Imersão em extrato Vegetal B Carbon X Ataque do carucho.....	100
4.4 Considerações sobre o capítulo 4.....	101
5.0 CAPÍTULO 5 – GESSO REFORÇADO COM BAMBU.....	102
5.1 Metodologia.....	102
5.1.1 Moldagem das peças Gesso/Bambu.....	102
5.1.1.1 Barras prismáticas reforçadas de bambu.....	102
5.1.1.2 Vigas em tamanho real.....	103
5.1.1.3 Corpos de prova para teste de aderência.....	106
5.1.2 Teste de Flexão em barras Prismáticas.....	108
5.1.3 Teste de Aderência por compressão.....	109
5.2 Resultados e Análises.....	109
5.2.1 Teste de flexão em corpos de prova prismáticas.....	109
5.2.2 Teste de arrancamento por compressão.....	111
5.2.3 Teste de flexão em vigas tamanho real.....	115
5.3 Considerações sobre o capítulo 5.....	119
6.0 CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES.....	120
SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS.....	122
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	124

CAPITULO 1

Introdução

1.1 Apresentação do tema

O mundo passa por uma crise energética, ambiental e social sem precedentes. No campo da engenharia, a necessidade de infra-estrutura e de habitação é brutal: cerca de um terço da humanidade tem necessidade de casa, o que significa que por volta de 600 milhões de moradias precisam serem construídas para abrigar decentemente a todos no Planeta. Ocorre que os principais materiais de construção, como cimento e concreto, aço, alumínio, materiais sintéticos, tintas, blocos e revestimentos cerâmicos, exigem vultosos investimentos para sua produção, o que resta na mão de poucos. Cimento e aço são oligopólios em nível mundial; seus preços não estão relacionados principalmente aos custos, mas à manipulação de mercado. Desta forma, os materiais de construção industrializados são caros e ficam à margem de parcela significativa da população mundial.

Uma possibilidade de minimização do problema é o emprego não obrigatório de produtos à base de cimento Portland, nem de aço, nem de blocos cerâmicos ou de concreto, mas também de materiais locais com os quais se possa também construir dignamente. Estes últimos não recebem destaque nas escolas de Engenharia e de Arquitetura porque às grandes indústrias não interessam que outras opções sejam propostas para a construção. Assim, materiais como a terra crua, o bambu e tantos outros materiais de origem natural, com os quais se poderia construir casas, são esquecidos. Porém a realidade atual está levando a alguns engenheiros e arquitetos a pensar diferentemente.

Este trabalho vai tratar de um ligante antigüíssimo, o gesso, que tem sido usado em elementos construtivos de menor importância, como revestimento e decoração. Pretende-se mostrar outros usos para esse material, os quais podem gerar sistemas construtivos fabricados em pequenos empreendimentos, gerando emprego e renda nas regiões produtoras.

O gesso é o sulfato natural mais comum na crosta terrestre. Encontra-se muito

disseminado, quer seja em depósitos sedimentares estratiformes por todo o mundo quer seja associado a calcários, xistos, arenitos e argilas.

Quando o gesso de construção é misturado com água, forma uma pasta homogênea consistente e trabalhável, que após poucos minutos apresenta uma perda de consistência, ganhando viscosidade, endurecendo e ganhando resistência (HINCAPIÉ e CINCOTO, 1997).

O gesso é usado na construção civil principalmente para revestir paredes interiores e tetos e para construir paredes divisórias internas, além de elementos decorativos. Na agricultura, o gesso é utilizado na neutralização de solos alcalinos e salinos, no aumento da permeabilidade de solos argilosos e como fornecedor de enxofre e suporte catalítico para fertilizantes com aplicação no cultivo de leguminosas. No cimento Portland, o gesso é usado para ajustar seu tempo de pega.

O Brasil possui as maiores reservas de gipsita do mundo segundo o Sumário Mineral de 2008 da U.S Geological Survey. Porém, a produção e o consumo são pequenos se comparados a muitos outros países. O Estados Unidos é o maior produtor mundial; em seguida vem a Espanha em terceiro lugar o Irã. O consumo per capita do gesso no Brasil é de apenas 14 quilos por habitante ao ano, contra 29 quilos na Argentina, 42 no Chile, 83 na Europa ocidental e 107 quilos nos Estados Unidos. Esses dados mostram que existe um potencial latente do uso do gesso a ser explorado no Brasil (RODRIGUES, 2008)

O gesso é considerado um ligante de grande eficiência energética, o que é de grande interesse para a sustentabilidade da humanidade: no seu processo de fabricação, enquanto o cimento Portland exige temperaturas da ordem de 1450 °C, emitindo CO₂ na atmosfera, o gesso pode ser obtido com menos de 170 °C, liberando vapor d'água na sua produção.

O pólo gesseiro do Araripe é uma ilha de desenvolvimento no sertão de Pernambuco. Está localizado numa região árida, onde faltam água, luz e estradas em boas condições de acesso. Tudo isso não foi suficiente para inibir o crescimento da produção de gesso e a extração da gipsita.

O pólo do Araripe é a maior área produtora de gesso do Brasil com 1,8 milhões de toneladas por ano. De acordo com o Sumário Mineral de 2008 do Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM, o polo Gesseiro do Araripe, localizado no sertão do Estado de Pernambuco, é onde se concentra 85% da produção nacional de gesso. Porém a utilização do gesso na construção civil está restrito a acabamentos internos de paredes internas, divisórias internas, forros e elementos decorativos por se tratar de um elemento susceptível à ação da

água, e com baixa resistência mecânica.

A resistência mecânica do gesso no seu estado endurecido varia com o inverso da relação água/gesso. A pasta de gesso utilizado na construção civil é feita com relação água/gesso variando de 0,9 em caldas utilizadas em pinturas até 0,6 em divisórias.

Na região do pólo gesseiro têm sido observadas várias edificações com blocos de gesso, porém a falta de tecnologia tornam-nas de baixa durabilidade. Uma zona frágil é a dos vãos de portas e de janelas. Patologia como fissuras e segregação nas alvenarias de gesso podem surgir se o projeto não for bem pensado.

Nesta pesquisa defende-se a proposta de elementos estruturais horizontais de gesso reforçados com bambu, que possam ser utilizados em edificações de gesso. Um mínimo de tecnologia deve ser utilizada, mas nada tão sofisticado que impeça pequenos produtores de fabricá-los.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo final deste trabalho é ampliar os conhecimentos sobre o gesso como material de construção para com ele se desenvolverem elementos construtivos reforçados com bambu, incorporando ou não resíduos agro-industriais, que apresentem as resistência e durabilidade adequadas.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Obter resistência em função da relação água-gesso para os tipos de moldagem sem e com vibração;
- Definir como aumentar tempo de pega do gesso através de aditivos;
- Definir processos de melhora do desempenho do gesso no que diz respeito à ação da água;
- Determinar tratamentos para redução da absorção de água do bambu para reforço em matrizes de gesso;
- Estudar tratamentos que melhorem a aderência entre o gesso e o bambu;

- Fabricar vergas e contra-vergas de gesso reforçado com bambu e verificar seu comportamento estrutural;
- Analisar o comportamento das vergas e contra-vergas em protótipo construído nas vizinhanças do LABEME;

1.3 Metodologia

A metodologia desenvolvida usada nessa pesquisa seguiu o fluxograma apresentado na figura 1.

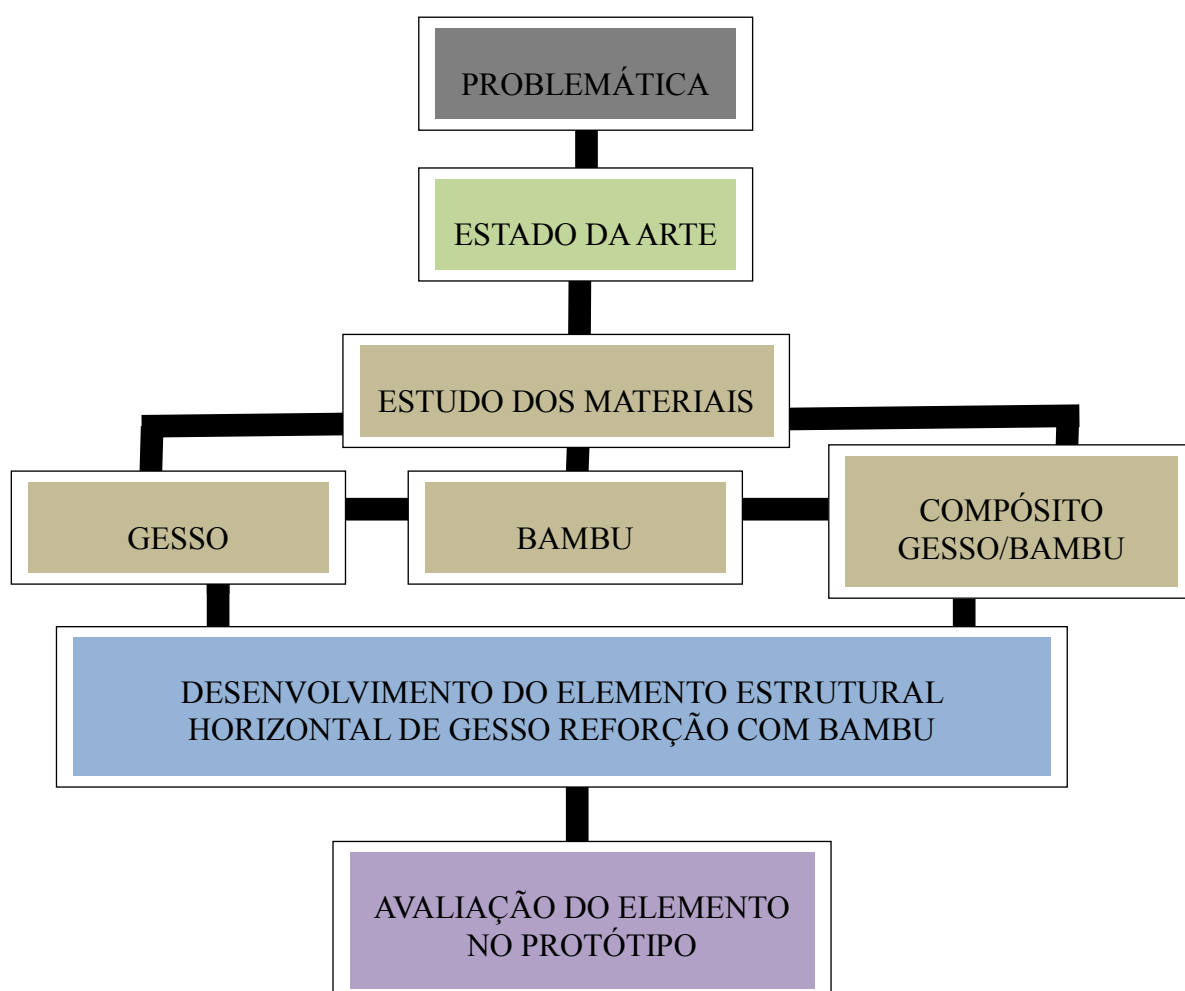


FIGURA 1 – Fluxograma metodológico da pesquisa.

A pesquisa foi iniciada com a delimitação da problemática existente. Uma vez identificada, foi realizado um estudo da arte do tema.

O procedimento adotado após os conhecimentos científicos relacionados ao tema, foi o levantamento das necessidades existentes em trabalhos anteriormente realizados no

desenvolvimento de um sistema construtivo a base de gesso.

Foi feito uma análise nas limitações das propriedades dos principais materiais utilizados na pesquisa (gesso e bambu) e na utilização destes em conjunto (compósito gesso/bambu). Após analisar as propriedades deste, foi desenvolvido um elemento estrutural à base de gesso reforçado com bambu e para finalização da pesquisa foi implementado o elemento estrutural em protótipo e realizado a sua avaliação.

1.4 Estrutura do trabalho

Este trabalho é composto por 6 capítulos:

O Capítulo 1 faz uma apresentação do tema abordando, a problemática da pesquisa e a justificativa do tema escolhido. Em seguida, apresenta o objetivo, a metodologia empregada e a estrutura do trabalho.

O Capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica sobre os materiais em estudo, o gesso e o bambu, sendo fornecidas várias informações sobre eles, visto que uma das intenções desse trabalho é difundi-los no meio acadêmico. Cumpre lembrar que no campo da pesquisa sobre blocos estruturais de gesso, praticamente não se acham artigos na literatura, tão pouco sobre os melhoramentos que se pode fazer nesse material com relação seu desempenho em relação à água. Neste capítulo também se trata do bambu, outro material de grande potencial para emprego na Engenharia, e que aqui vai aparecer associado ao gesso. Ainda no capítulo 2 se faz uma explanação sobre um sistema construtivo com blocos de gesso desenvolvido no Labeme (Laboratório de materiais e estruturas) o qual foi o incentivador desta pesquisa.

O Capítulo 3 apresenta estudos sobre o gesso, apresentando-se suas limitações e mostrando propostas de melhoramento das suas propriedades.

O Capítulo 4 indica métodos, tratamentos e análises realizados no bambu, para sua melhor utilização como reforço dos elementos a base de gesso.

O Capítulo 5 descreve os métodos utilizados para a fabricação dos elementos de gesso reforçados com bambu, a análise do comportamento do compósito gesso/bambu, e a implementação deste elemento em um protótipo construído no campus universitário.

O Capítulo 6 refere-se às conclusões e considerações finais.

CAPITULO 2

Revisão Literária

2.1 Gesso

2.1.1 Aspectos Históricos

Desde a mais remota antiguidade, o gesso tem estado presente na evolução da humanidade, tanto na construção como na decoração, ou ainda em campos como a medicina e a alimentação.

O gesso, inicialmente utilizado em obras de arte e decorações, é um dos mais antigos materiais de construção utilizados pelo homem, conforme atestam algumas descobertas arqueológicas importantes (PERES *et al.*, 2001).

Nelas ficou evidente que o emprego do gesso remonta ao 8º milênio a.C. Tem sido encontrados amostras de gesso em ruínas na Síria e na Turquia. As argamassas em gesso e cal serviram de suporte em afrescos decorativos, na realização de pisos e mesmo na fabricação de recipientes. Também, nas ruínas da cidade de Jericó, no 6º milênio a.C., traços do emprego de gesso em moldagens e modelagens foram detectados..

O gesso é bastante conhecido, na grande pirâmide erguida por Quéps, rei do Egito, da 4ª dinastia, no ano de 2.800 a.C, que consiste numa das mais antigas contradições do emprego do gesso na construção, pois, sua execução seguiu uma técnica até hoje não esclarecida, nas juntas de assentamento estanques, de precisão, entre imensos blocos de cerca de 16 toneladas que constituem o monumento.(PERES *et al.*, 2001).

Entretanto, o filósofo Theofraste, que viveu entre o III e IV séculos a.C, e que foi discípulo de Platão e Aristóteles, tornou-se conhecido por seu “Tratado de Pedra”, que é mais antigo e o mais documentado dos autores que se interessaram pelo gesso. Theofraste citou a existência de gesseiras em Chipre, na Fenícia e na Síria, e indicava que o gesso era utilizado, como argamassa, para a ornamentação e na confecção de estátuas.

Na Europa, o uso do gesso na construção civil popularizou-se a partir do século XVIII, quando também passou a ser utilizado como corretivo de solos (BALTAR *et al.*, 2005).

No período românico, o gesso foi empregado na elaboração de frescos para decoração de igrejas e capelas. No séc. XIX, o gesso foi gradualmente se incorporando à arquitetura civil como material de reboco e como elemento decorativo em palácios e vivendas

No século XIX, os trabalhos de diversos autores, particularmente, os de Vant'Hoff e, sobretudo, o de Lê Chatelier, permitiram abordar uma explicação científica para a desidratação da gipsita.

A partir do século XX, em função da evolução industrial, os equipamentos para a fabricação do gesso deixaram de ter um conceito rudimentar e passaram a agregar maior tecnologia, assim como a melhoria tecnológica dos produtos passou a facilitar suas formas de emprego pelo homem.

2.1.2 Gipsita

O mineral gipsita (Figura 2), matéria-prima do gesso, é uma rocha sedimentar que tem sua origem na precipitação de sulfatos de cálcio contidos em águas marinhas submetidas à evaporação.(JORGENSEN, 1994). Ele é encontrado em depósitos evaporíticos originados de antigos oceanos.

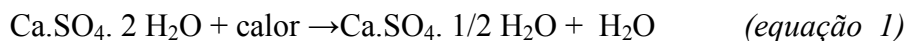


Autor: Eurico Zimbre

FIGURA 2: Mineral Gipsita

Fonte: www.dicionario.pro.br

A gipsita é composta por sulfato de cálcio di-hidratado, $\text{Ca} \cdot \text{SO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$, mais impurezas. Ao ser calcinada a diferentes temperaturas ela vai liberando parte da água (*Equação 1*), gerando diferentes tipos de gesso. No presente trabalho o interesse foi pelo gesso hemi-hidratado, obtido por:



Essa equação ocorre à temperaturas relativamente altas da ordem de 50°C á 170°C .

Enquanto a anidrita desperta pouco interesse econômico (KEBEL, 1994), a gipsita apresenta uma grande diversidade de opções de aproveitamento industrial, podendo ser utilizada na forma natural ou calcinada. A forma natural da gipsita é amplamente utilizada na fabricação de cimento Portland e na agricultura. Na indústria cimenteira, a gipsita é adicionada ao *clínquer* durante a moagem, na proporção de 2% a 5%, para retardar o tempo de pega do cimento. Na agricultura, a gipsita pode atuar como: (1) agente corretivo de solos ácidos, como fonte de cálcio; (2) como fertilizante em culturas específicas como amendoim, batatas, legumes e algodão e (3) como condicionador de solos, aumentando a permeabilidade, a aeração, a drenagem, a penetração e retenção da água (VELHO, *et. al.*, 1998).

O maior produtor e consumidor mundial de gipsita são os Estados Unidos, cuja produção em 2007 foi da ordem de 22,0 milhões de toneladas. Outros países grandes produtores são o Irã e a Espanha que alcançaram a produção de 13,0 milhões e 13,2 milhões de toneladas respectivamente. Dados do ano de 2007 apresentam os maiores produtores mundiais de gipsita com as participações relativas indicadas (Figura 3):(DNPM – 2008)

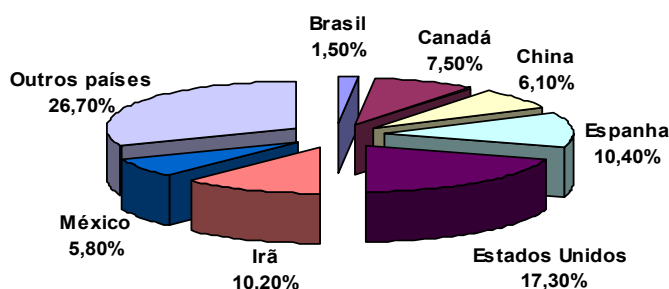


FIGURA 3 – Países produtores mundiais de gipsita

Fonte: DNPM – 2008

O Brasil possui a maior reserva mundial de gipsita, mas representa apenas 1,50% da produção mundial. A maior produção no país, provém dos Estados de Pernambuco (1 711 671 t, 89,00% da produção nacional), Maranhão (106 161 t, 5,50%), Ceará (68 233 t, 3,50%), Amazonas (30 000 t, 1,60%) e Tocantins (7 054 t, 0,40%) (SOBRINHO *et al.*, DNPM, 2008).

Cerca de 96% das reservas de gipsita no Brasil estão concentradas nos Estados da Bahia (43,0%), Pará (35,0%) e Pernambuco (18,0%), ficando o restante distribuído entre Maranhão (2,7%), Tocantins (0,6%), Ceará (0,3%), Piauí (0,2%) e Amazonas (0,1%) (SOBRINHO *et al.*).

O estado de Pernambuco possui 18% das reservas, mas é responsável por 89% da produção nacional de gipsita (DNPM,2003). Isto se deve às condições de aproveitamento econômico mais favoráveis das jazidas localizadas na região do Araripe; que está localizada no epicentro do semi-árido brasileiro, no extremo oeste do estado, a cerca de 680 km da capital Recife. Os principais fatores que contribuem para o interesse no aproveitamento do minério do Araripe são: (1) condições favoráveis de mineração (relação estéril/minério e geomorfologia da jazida); (2) elevada pureza do minério (considerado o de melhor qualidade do mundo com teor médio de pureza em torno de 95%) e (3) melhor localização, se comparado ao minério do estado do Pará.

O pólo gesseiro fica situado na fronteira dos estados de Pernambuco, Ceará e Piauí, ou seja, a um raio de cerca de 700 km encontram-se 8 capitais de estado (Salvador, Aracajú, Maceió, Recife, João Pessoa, Natal, Fortaleza e Teresina) e 8 importantes portos (Salvador, Aratú, Recife, Suape, Mucuripe, Pecém, Taquí e Ponta da Madeira).

O método para extração do minério empregado na região é a lavra a céu aberto (*open pit*), através de bancadas simples com altura média em torno de 15 metros (Figura 4). Utilizam-se equipamentos como: rompedores hidráulicos, marteleiros hidráulicos, *vagon drill*, tratores de esteira e pás mecânicas (PERES *et al.*, 2001). As atividades na lavra envolvem as seguintes operações principais: decapeamento, perfuração, carregamento de explosivos, desmonte, fragmentação de blocos e carregamento/transporte (LUZ *et al.*, 2001).

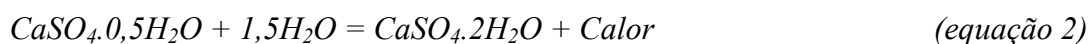


FIGURA 4 – Frente de lavra da Mineradora São Jorge no Pólo Gesseiro de Pernambuco.

O pólo gesseiro de Pernambuco é formado por 47 minas, 80 unidades industriais de calcinação e 234 indústrias de pré-moldado, constituindo-se no principal centro produtor de gesso e gipsita bruta do país. A região do Araripe dispõe de uma razoável rede de rodovias (a maioria pavimentada) e um elevado índice de eletrificação rural.

2.1.3 Mecanismo de hidratação do gesso

O sulfato de cálcio hemidratado quando em contato com a água reage quimicamente regenerando o sulfato de cálcio dihidratado e liberando calor (*Equação 2*).



O estudo do mecanismo de hidratação do gesso tem sido objeto de algumas pesquisas começando por LAVOSIER em 1798, seguido por Le CHATELIER em 1887. Até hoje esse mecanismo é explicado pela teoria da cristalização, sendo esta um mecanismo de dissolução do hemidrato e precipitação do dihidrato, dividida em três etapas:

(i) Fenômeno químico da dissolução. O hemidrato misturado à água de amassamento dissolve-se dando origem a uma solução supersaturada de íons SO_4^{2-} e Ca^{2+} , formando hidratos que constituem os núcleos dos dihidratos;

(ii) Fenômeno físico de cristalização. Os íons se depositam sobre os núcleos de

dihidrato em formas de agulhas;

(iii) Fenômeno mecânico do endurecimento. O aumento da concentração de cristais que se precipitam, a partir da solução saturada provoca o endurecimento.

Até a década de 1960 alguns pesquisadores defendiam a teoria coloidal como mecanismo regente da hidratação do gesso. O avanço e desenvolvimento de técnicas como a calorimetria, difração de raio X (DRX), termogravimetria, microscopia eletrônica de varredura (MEV), resistividade elétrica, entre outras, possibilitaram o acompanhamento detalhado da hidratação das pastas de gesso e a comprovação da teoria da cristalização (CLIFTON, 1973)

CLIFTON (1973), por exemplo, demonstra que o mecanismo de hidratação do gesso é de dissolução-precipitação (teoria da cristalização), isto é, dissolução do hemidrato e precipitação do dihidrato. Em seu trabalho o autor estudou as etapas da reação de hidratação do gesso e analisou a influência de diversos aditivos controladores de pega na reação. Através da análise térmica e da microscopia o autor registrou as diferentes fases da reação de hidratação. Ele explicou também o fenômeno da pega das pastas de gesso a partir das curvas do calor de hidratação obtidas através da calorimetria adiabática (Figura 5).

As etapas descritas pelo autor para o mecanismo são:

- 1- Ocorre uma pequena hidratação, seguida do período de indução. Esta etapa é finalizada pelo início da pega que é o instante em que a taxa de elevação da temperatura ultrapassa 0,1 °C/min ;
- 2- Há uma elevação rápida da temperatura, ou seja, uma evolução rápida da reação de hidratação;
- 3 - A reação atinge o ponto máximo de incremento de temperatura que, segundo o autor, corresponde à conclusão da hidratação, isto é, ao final da pega.

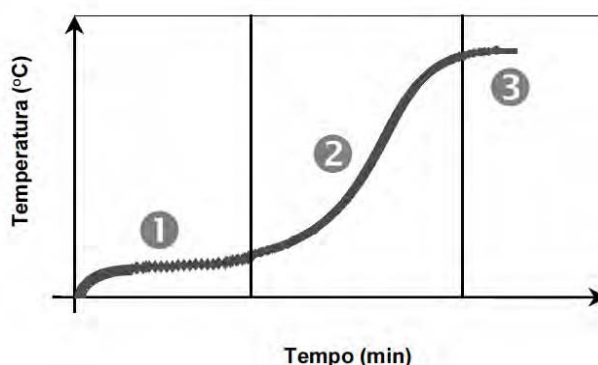


FIGURA 5 – Curva típica de calor de hidratação de pastas de gesso

Etapas semelhantes de desenvolvimento da hidratação do gesso foram propostas por pesquisadores como LUDWING; SINGH (1978) e LEWRY; WILLIAMSON (1994a). A diferença básica entre os trabalhos destes pesquisadores é o número de divisões adotadas para a hidratação, o que gera etapas intermediárias que se sobrepõem aquelas propostas por CLIFTON (1973), sem, contudo, contrariar as conclusões apresentadas por este autor.

A *pega* também pode ser descrita segundo um fenômeno físico. O início da reação corresponde à formação de núcleos de cristais de gipsita que crescem durante o período de indução. Após esse período, os cristais de dihidrato começam a precipitar ocasionando um aumento na consistência da pasta conhecido como *início de pega*. Com o aumento da taxa da reação de hidratação a pasta vai adquirindo cada vez mais resistência mecânica até o seu completo endurecimento, diz-se então que se deu o fim de pega. (ANTUNES, 99)

A relação água/gesso é o parâmetro de maior influência na cinética da reação de hidratação e, conseqüentemente, na pega do gesso. Quanto maior a quantidade de água de amassamento, maior o intervalo de tempo necessário para saturar a solução. Isto causa a ampliação do período e indução retardando o início da precipitação dos cristais de dihidrato e, por conseguinte, aumenta o tempo de pega. Assim sendo, quanto maior a relação água/gesso, menor a taxa da reação e maior o tempo de pega (NOLHIER, 1986).

2.1.4 Microestrutura do gesso

O conhecimento da microestrutura do gesso é de fundamental importância para a compreensão de suas características mecânicas.

Os cristais de dihidrato crescem a partir de germes de cristalização ou núcleos. A

quantidade de núcleos presentes na solução vai influenciar na taxa de crescimento da microestrutura e no tamanho dos cristais que durante a hidratação do hemidrato tomam forma de agulhas com alto grau de entrelaçamento (Figura 6). Quando os núcleos são numerosos o crescimento é rápido e há formação de uma grande quantidade de pequenos cristais por unidade de volume da solução. Quando ocorre a formação de poucos núcleos o crescimento é lento o que favorece a formação de grandes cristais. Estes três fatores estão inter relacionados e interferem nas propriedades mecânicas da pasta endurecida. Microestruturas formadas por cristais grandes são menos resistentes (*mais porosas*) que as formadas por cristais pequenos (*mais densas*) (MURAT *et al*, 1979). As dimensões típicas dos cristais de dihidrato puro variam entre 10 e 20 mm de comprimento entre 1 e 1,6 mm de diâmetro (RÖSSLER e ODLER, 1989)

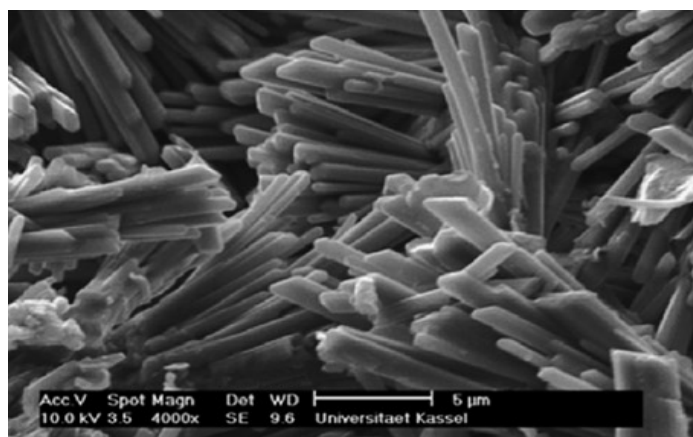


FIGURA 6 – Microscopia eletrônica de varredura dos cristais do hemidrato (SINGH e MIDDENDORF, 2007)

A relação água/gesso influencia de maneira discreta no tamanho dos cristais de dihidrato sem contudo influenciar na sua forma. O aumento da relação água/gesso altera a distribuição dos poros, ou seja, a adição de água faz com que a pasta passe a ter mais poros relativamente maiores ($r > 103 \text{ nm}$) em detrimento dos poros menores (RÖSSLER e ODLER, 1989).

2.1.5 Retardadores de Pega

Aditivos controladores de pega modificam a morfologia dos cristais de gesso resultando em microestruturas que envolvem mudanças na porosidade e nas propriedades mecânicas. Os aditivos modificam o processo de nucleação por mudança na solução/supersaturação e na topografia dos cristais em crescimento (SINGH e MIDDENDORF, 2007).

Em estudos realizados por HINCAPIÉ e CINCOTTO (1997), observou-se que a adição de retardadores de pega como bórax, provocou mudança na forma e tamanho dos cristais, enquanto que a utilização de gelatina como retardador afetou de maneira significativa o tamanho e a forma cristalina, produzindo cristais arredondados e grossos, bem diferentes das agulhas que caracterizam o gesso endurecido.

Os aditivos controladores de pega interferem na velocidade da reação de hidratação (acelerando-a ou retardando-a) e, conseqüentemente, no tempo de pega. Os aceleradores aumentam a solubilidade do hemidrato acelerando a hidratação (HINCAPIÉ e CINCOTTO, 1997).

2.1.6 Propriedades Físico-mecânicas

As propriedades mecânicas das pastas decrescem com o crescimento da relação água/gesso que, aumenta a porosidade das pastas. Assim, a influência da relação água/gesso nas propriedades mecânicas é função, principalmente, da sua relação com a porosidade das pastas (MURAT, 1979; RÖSSLER; ODLER, 1989).

RÖSSLER; ODLER (1989) encontraram que a relação entre a resistência à compressão e a porosidade real é praticamente linear, para a faixa de 30 a 70 % de porosidade total. Propriedades mecânicas como resistência à compressão, flexão, módulo de elasticidade e dureza das pastas mostraram-se relacionadas à porosidade total da pasta. Mudanças na distribuição dos poros e no tamanho dos cristais tiveram efeito bem inferior ao da porosidade total. Diante disto, eles concluíram que nem o tamanho dos cristais nem a distribuição dos poros tem efeito apreciável sobre a resistência, atribuindo à *porosidade total* da pasta a maior influência sobre a resistência.

No início da pega (final do período de indução) os cristais podem crescer livremente em virtude da pequena quantidade de cristais presentes e do elevado teor de água presente. Com o aumento do número de cristais formados a estrutura da pasta começa a tornar-se

rígida. O crescimento dos novos cristais se opõe à rigidez da estrutura causando a *expansão* da pasta. Assim, a expansão pode ser atribuída às forças atuantes durante a evolução da microestrutura (NOLHIER, 1986).

A magnitude da expansão varia de acordo com a relação água/gesso, a adição de retardadores ou aceleradores de pega e inertes. Em função destes fatores a expansão varia de 1,5 %, para gesso puros, até 0,1 % para gessos com retardador (NOLHIER, 1986).

Como já foi mencionado anteriormente, o gesso, ao ser misturado com a água, inicia a uma reação exotérmica, a qual, provoca o endurecimento da pasta de gesso. O período de intervalo de tempo dado entre o momento da mistura e o início da mudança de consistência é chamado de início de pega.

O tempo que antecede o início da pega do gesso é definido como tempo útil para a trabalhabilidade do mesmo, pois, a mistura continua pastosa tornando possível a trabalhabilidade.

O gesso se trata de uma material com baixa condutividade térmica. Seu coeficiente de condutividade térmica varia com a umidade e com a densidade do material hidratado e seco, seu valor é da ordem de 0,25 a 0,50 w/m.°C. Em comparação a outros materiais de construção pode ser considerado um bom isolante térmico.

Essa propriedade de bom isolante térmico do gesso é destacada no interior de habitações, pois o mesmo impede a formação dos indesejáveis vapores de água que surgem na superfície das alvenarias, comparando-se com uma “parede fria”(CANUT,2006).

Os revestimentos de gesso funcionem como inibidor de propagação de chamas, liberando moléculas de água quando em contato com o fogo.

Segundo Peres *et.al.* (2001), quando aquecidos a partir de 106 °C, os elementos ou revestimentos de gesso iniciam um processo de desidratação sendo uma reação endotérmica semelhante àquela que acontece na calcinação do minério, consumindo calor e ao mesmo tempo estabilizando sua temperatura até que toda a água de cristalização seja liberada, o que representa cerca de 20% em massa da quantidade de gesso presente. Durante todo o tempo em que o gesso está liberando água, a sua temperatura não ultrapassa 140 °C, o que o torna também um elemento “corta fogo”.

2.1.7 Influência da cal na pasta de gesso

A utilização da mistura cal-gesso é tão antiga quanto a do gesso (COWAN, 1985), a medida que o conhecimento a cerca do gesso se desenvolveu a adição da cal também passou a ser estudada. O gesso era adicionado à cal para proporcionar-lhe resistência inicial, já que a carbonatação é um fenômeno lento. Em contrapartida, a cal também era usada em associação ao gesso, na aplicação da camada final do revestimento, que, geralmente, possuía como camada de regularização das argamassas de gesso:cal:areia.

A cal hidratada altera a cinética da reação de hidratação do gesso. O efeito das espécies químicas OH^- e Ca^{2+} provenientes da dissolução do hidróxido de cálcio, no entanto, é complexo. O aumento da concentração de íons 2^+ tende a aumentar a velocidade da reação e, conseqüentemente, provocar a diminuição do tempo de indução, enquanto o aumento na concentração de íons OH^- ocasiona a queda na solubilidade do hemidrato (8,8 g/L a 20°C) e do dihidrato (2,2 g/L a 20°C) e, por isso, diminui a velocidade da reação, ampliando o tempo de indução. Como a solubilidade do hidróxido de cálcio (0,156g/l a 20°C) é pequena, o efeito máximo sobre a velocidade da reação é obtido com a adição de pequenos teores (< 5%). (RIDGE; KING, 1977).

Autores como CLIFTON(1973) e NOLHIER (1986) também atestaram o efeito acelerador da cal para teores menores que 5% da massa do gesso. CLIFTON(1973) utilizou teores de 0,39 a 0,99% dissolvida na água de amassamento que diminuíram o tempo do início de pega em cerca de 10% e o tempo de fim da pega em 14%. Segundo NOLHIER (1986), pode-se considerar genericamente que em baixos teores (< 5% cal/gesso, em massa) a cal atua como acelerador, enquanto que em teores mais elevados ela atua como retardador da pega do gesso.

O efeito retardador da cal é mencionado por autores como COSTES (1966) e KARNI e KARNI (1995). Em manual de treinamento de operários, COSTES (1966) aconselhou a adição de, no máximo, 14% de cal hidratada para retardar a pega e citou que mesmo em pequenas quantidades (1%) o efeito é o mesmo. KARNI e KARNI (1995) não especificaram o teor de cal, mas mencionaram que o material deve ser adicionado em “grande quantidade” para que seu efeito retardador seja apreciável.

A ordem de colocação dos materiais também interfere no tempo de pega das pastas. O tempo de início de pega obtido ao adicionar-se gesso a uma solução de cal e água é inferior àquele obtido misturando-se primeiro os materiais secos e adicionando-os juntos à água de amassamento (RIDGE; KING, 1976).

A adição da cal ao gesso propicia um aumento do consumo de água das pastas e argamassas devido a sua finura e sua elevada superfície específica. Propriedades como coesão e finura também são influenciadas por estas características. (CINCOTTO *et al* 1988)

Conforme discutido anteriormente, um aumento no teor de cal da pasta provoca um incremento no consumo de água para a obtenção da mesma trabalhabilidade. Elevados teores de água resultam numa pasta mais porosa e, por conseguinte, menos resistente mecanicamente.

Assim, não é a adição direta da cal que provoca queda nas propriedades mecânicas, mas o incremento na relação água/gesso que ela se associa.

COSTES (1966) afirma que a adição de 14% de cal hidratada (em volume) às pastas de gesso melhora sua resistência à água. No entanto para NOLHIER (1986) é necessário o uso combinado de cal hidratada e materiais pozolânicos. Essa combinação reúne vantagem do rápido endurecimento do gesso à formação de compostos hidraulicamente estáveis, a partir de reações pozolânicas.

2.2 Bambu

O bambu é uma planta de crescente importância para a humanidade, sendo conhecida como a “madeira dos pobres” na Índia, “o amigo das pessoas”, na China, e como “o irmão” no Vietnã sendo bem menos conhecido no Ocidente. Trata-se de uma planta que cresce bem mais rapidamente que qualquer outra no planeta e, sua admirável vitalidade, leveza, grande versatilidade, resistência e facilidade de trabalho com ferramentas simples, são qualidades que tem feito o bambu ocupar os mais variados papéis no meio rural.

No Brasil o bambu não é plenamente utilizado como material estrutural ao contrário do que acontece em muitos países. Por exemplo, no Himalaia e entre a China e o Tibet, gigantescas pontes foram construídas com cabos de bambu trançados.

Baseados em conhecimentos adquiridos por várias gerações, o bambu vem sendo cultivado e empregado, por suas características de rusticidade, rapidez de crescimento, baixo custo e por ter se adaptado a diversas condições climáticas, o que tem propiciado sua grande disponibilidade ao longo do território brasileiro (FERREIRA, 2002).

Todos os continentes, com exceção da Europa, possuem espécies nativas de bambu (GHAVAMI e HOMBEECK, 1981). A distribuição natural dos bambus abrange grande parte da América. Encontram-se espalhadas espécies nativas desde a parte sul – oriental dos

Estados Unidos até o centro da Argentina e Chile (MARTINESI e GHAVAMI, 1985).

A maior concentração de gêneros e espécies de bambu ocorre no Continente Asiático, onde esse vegetal cresce nas mais variadas condições climáticas. Segundo BARBOSA (1997), pesquisas efetuadas no Brasil revelaram uma grande ocorrência natural de bambu no Acre, onde tais espécies nativas de bambu não são ainda bem conhecidas, pois vivem associadas com a floresta nativa.

A maioria dos bambus, desenvolvem-se em lugares onde a temperatura e a precipitação variam de 9 °C a 36 °C e de 1270 a 4050 mm anuais respectivamente, a umidade relativa seja maior do que 80 % e o solo possua conformação de silto-arenoso ou silto-argiloso, seja bem drenado, embora encontrem-se bambus em regiões pantanosas e úmidas. Não se tem dados de crescimento de bambu em solos salinos (MC CLURE, 1966 apud MARTINESI e GHAVAMI, 1985). Os solos devem ser preferencialmente ricos em matéria orgânica e possuírem um pH ligeiramente ácido, entre 5,5 e 6,0 (INBAR, 2005).

O bambu é uma planta da família das gramíneas (mesma família do trigo e do milho), com fuste reto e com nós, que cresce com facilidade nos países tropicais e subtropicais. Tem-se conhecimento de mais de 1000 espécies de bambu e mais de 90 gêneros, com altura variando de poucos decímetros a mais de 30 m (BARBOSA, 1997).

No Brasil existem muitas espécies nativas e não-nativas, dentre as mais conhecidas podem-se citar:

Bambusa vulgaris Schrad- Planta arborescente, que pode ultrapassar 20 m de altura, e seus colmos são verdes ou amarelos (STAROSTA e CROUZET, 1998). Esta espécie é muito comum no Brasil e em outros países latino-americanos.

Dendrocalamus giganteus- (bambu gigante) Planta arborescente, colmos de até 40 m de altura e 25 cm de diâmetro. É um dos maiores do mundo e é muito usado na construção (MARTINESI e GHAVAMI, 1985).

Graduau Angustifolia Kunth – Planta arborescente de até 18 m de altura, colmos de até 15 cm de diâmetro. Muito difundida na América do Sul e amplamente utilizada na construção (MARTINESI & GHAVAMI, 1985).

O bambu é constituído de quatro partes principais: rizomas, colmos, ramos e folhas. A planta pode também apresentar flores ou frutos e, por vezes, os dois simultaneamente, mas o florescimento do bambu é um fato muito raro, podendo variar de até muitas décadas o intervalo entre a produção de flores e sementes.

Os rizomas são caules subterrâneos que crescem, reproduzem-se e armazenam nutrientes que são distribuídos por toda a planta. A cada ano novos colmos (brotos), crescem

dos rizomas para formar as partes aéreas das plantas (INBAR, 2005).

Os colmos de bambu são constituídos por nós, entrenós e vazios no interior dos entrenós. A composição estrutural fornece aos colmos de bambu uma elevada resistência físico-mecânica, leveza e flexibilidade. De acordo com o diâmetro dos colmos e com a espécie considerada, variam as quantidades de nós, entrenós e vazios.

Os colmos são geralmente cilíndricos, esbeltos e normalmente ocos (Figura 7). O espaço vazio dentro do colmo é denominado cavidade, a qual é separada uma das outras por diafragmas que aparecem externamente como nós, de onde saem os galhos e as folhas. A região do colmo entre dois nós é chamada de internó, os quais possuem uma parede de espessura variável. Os colmos diferem, segundo a espécie, em comprimento, diâmetro, distância inter nodal e espessura da parede (SANCHEZ CRUZ, 2002).

Alguns colmos possuem poucos centímetros de altura e poucos milímetros de diâmetro; outros, no entanto, podem alcançar até 40 m de altura e diâmetros de até 30 cm (GHAVAMI e MARINHO, 2001 apud SANCHEZ CRUZ, 2002).

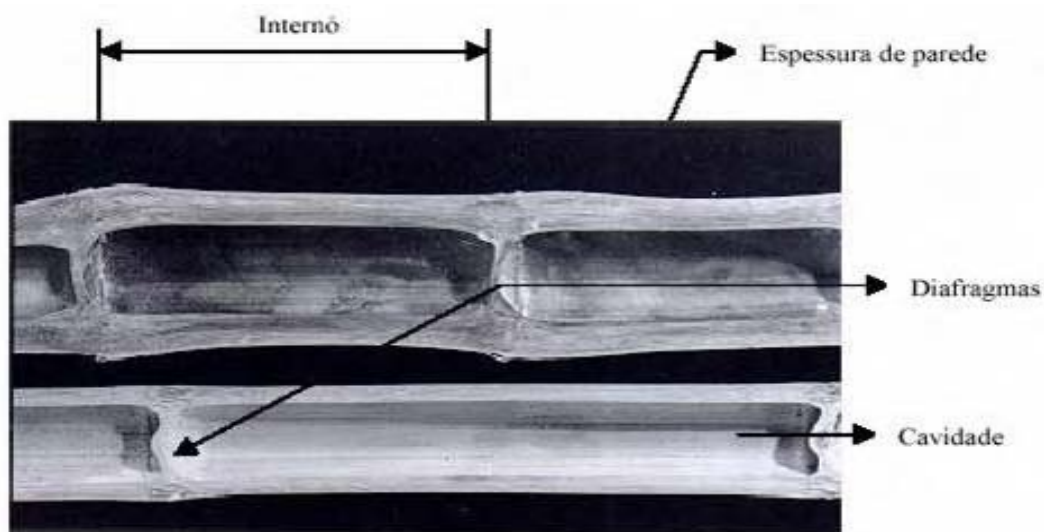


FIGURA 7 – Seção transversal do colmo de bambu (SANCHEZ CRUZ, 2002).

A estrutura do bambu em geral pode ser encarada como sendo a de um material compósito constituído, a grosso modo, de fibras de celulose longas (Figura 8) e alinhadas,



imersas em uma matriz de lignina (SANCHEZ CRUZ, 2002). A concentração de fibras é maior na parte periférica diminuindo em direção à zona interna onde é maior a concentração de células parenquimáticas ricas em amido.

FIGURA 8 – Bambu e microestrutura do bambu

Fonte: www.unicamp.br

Macroestruturalmente, os colmos de bambu, são peças ocas em forma de tronco de cone, com maior diâmetro na base que no topo (BARBOSA, 2004). O colmo do bambu é a parte mais importante da planta para fins de engenharia e arquitetura. Assim, é importante se conhecer as seguintes propriedades dos colmos: comprimento, diâmetro, espessura da parede e a distância entre os nós. Essas propriedades dependem de inúmeros fatores, dentre eles: a espécie, o tipo e a condição do solo, as condições ambientais e o manejo do bambu.

Os ramos do bambu desenvolvem-se a partir do colmo ou caule, sempre a partir dos nós, ramificando-se de forma a poderem sustentar as folhas. O número de ramos, inseridos em cada um dos nós, pode constituir uma importante indicação para determinação dos diversos gêneros. Os ramos apresentam o mesmo aspecto segmentado que caracteriza os colmos e os rizomas (STAROSTA e CROUZET, 1998).

As folhas dos bambus são geralmente verdes, terminando com uma ponta muito semelhante a uma lança, por isso são chamadas folhas lanceoladas.

As flores são muito raras nos bambus. Um mesmo exemplar pode permanecer décadas, por vezes mais de séculos, sem florir. Quando a floração finalmente se desencadeia

pode ser generalizada, ou seja, verificar-se em todos os bambus da mesma geração, independentemente do local do mundo onde se tenham desenvolvido (STAROSTA & CROUZET, 1998).

2.2.1 Tratamentos

A durabilidade do bambu está diretamente ligada à forma de tratamento que o colmo receberá e à destinação do uso. A presença de amido é comprovadamente o ponto fraco do bambu, por estar relacionada com o ataque do caruncho (*Dinoderus minutus*). Em condições naturais, a durabilidade do bambu se limita a 2 anos, tornando-se, portanto, fundamental o processo de tratamento (RIVERO, 2003).

Para o tratamento do bambu existem métodos tradicionais e químicos. Os tradicionais subdividem-se em: maturação no local da colheita, maturação por imersão, tratamento com fogo e tratamento com fumaça. Os químicos podem ser à base de diversos produtos: oleosos, óleos solúveis, hidrossolúveis, imersão em solução de sais hidrossolúveis e substituição de seiva por sais hidrossolúveis (AZZINI e BERALDO, 2001).

2.2.2 Bambu como elemento estrutural

Muitos pesquisadores estudaram as propriedades mecânicas do bambu. Na literatura encontra-se uma enorme divergência entre os valores encontrados; este fato se dá pela falta de normas para realização dos ensaios, ficando a cargo de cada pesquisador realizar o ensaio como achar mais apropriado e também por se tratar de um material natural tendo sua heterogeneidade.

Os primeiros relatos de que se tem notícia com o bambu reforçando o concreto datam de 1917 na China, Japão e Filipinas. Por volta de 1918; os chineses foram os primeiros a utilizar o bambu substituindo o aço no reforço de concreto em pontes ferroviárias e outras construções. Na Europa, alemães e italianos, por volta dos anos 30 também já realizaram suas pesquisas. A 2ª Guerra Mundial incentivou os estudos do bambu como substituto do aço caso a obtenção do mesmo fosse dificultada (FERREIRA, 2002)

Devido à alta resistência à tração do bambu, GAVAHMI (1995) recomendou o seu uso como um material alternativo, substituindo o aço como reforço em peças de concreto. Para o autor as melhores espécies para este fim são *B. Vulgaris* e *D.s giganteus* com 170 MPa e 135 MPa de resistência a tração.

GAVAHMI (1992) estudando a relação entre a resistência e o peso específico para

alguns materiais tabela (tabela 1), constatou que o bambu é o material que apresenta o maior valor para esta relação, o que torna vantajosa sua utilização como material de construção.

TABELA 1- Relação entre a resistência à tração e peso específico

Material	Res. Tração σ_t (N/mm²)	Peso específico γ (N/mm³.10⁻²)	$R = \sigma_t / \gamma \cdot 10^2$	$R/R_{aço=1,00}$
Aço (CA 50 A)	500	7,83	0,63	1,00
Bambu	140	0,80	1,75	2,77
Alumínio	304	2,70	1,13	1,79
Ferro fundido	281	7,20	0,39	0,62

FONTE: GHAVAMI (1992)

Conhecimentos sobre a deformação à flexão do bambu são necessários para sua utilização como reforço em vigas e lajes. A camada interna do bambu é mais fraca do que a externa, sendo a última até duas vezes mais resistente que a interna. Ensaio realizados indicaram valores médios de resistência à tração de 140 MPa para a camada externa e 52 MPa para a camada interna.

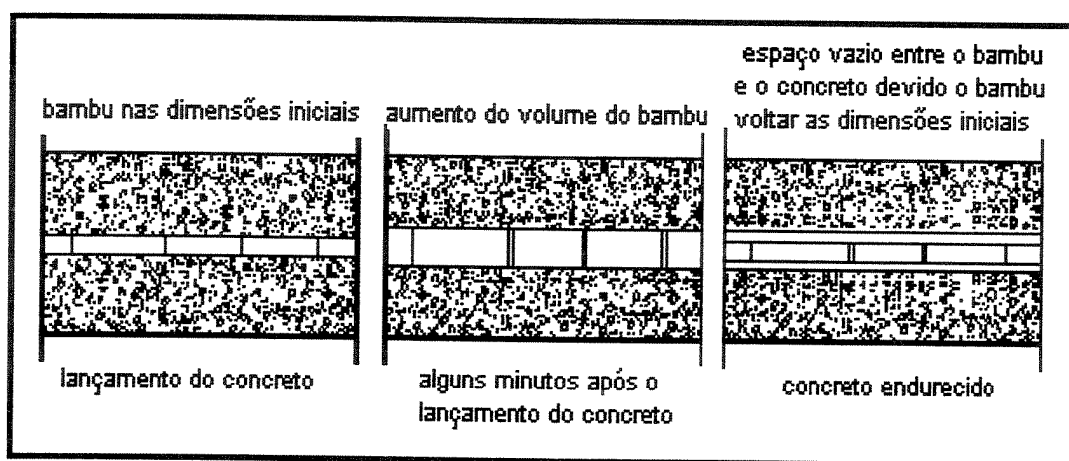
A resistência a compressão do bambu é mais alta quando medida paralelamente às fibras.

O uso do bambu como material de construção no Brasil não é mais difundido devido a alguns fatores limitantes, como a pequena vida útil do bambu em relação ao aço, a variação volumétrica quando submetido à umidade, o que acaba prejudicando a união bambu/concreto, a baixa relação entre os módulos de elasticidade do bambu e do concreto, a baixa aderência em virtude da superfície lisa. Em vista disso, alguns pesquisadores desenvolveram, e ainda continuam desenvolvendo, estudos para viabilizar o uso de bambu, como reforço do concreto, de modo a obter uma maior segurança.

O bambu é um material ortotrópico formado essencialmente por feixes de fibras longitudinais fortemente unidas por uma substância aglutinante, a lignina (MARTINESI e GHAVAMI, 1985). Sua umidade natural varia de 13% a 20%, em função da umidade e do clima do local. É um material higroscópico, pois se dilata com o aumento da umidade e se contrai com sua perda (SANCHEZ CRUZ, 2002). O peso específico é também uma

propriedade muito variável, que depende do grau de maturidade, da região e da zona do talo. Um dos maiores problemas do bambu é sua variação dimensional com a variação de umidade, isto porque a água entra nos poros da matriz e provoca o seu inchamento. A variação dimensional é grande nas primeiras horas, estando este material num compósito tendendo a provocar o surgimento de fissuras após ciclos de umedecimento e secagem.

As variações dimensionais podem ocorrer no bambu devido à rápida absorção e posterior liberação de água, ou seja, quando em contato com o meio aquoso o bambu tem suas dimensões alteradas. Esta propriedade faz com que o bambu quando entra em contato com o concreto fresco, absorva parte da água de amassamento e aumente suas dimensões. Após o endurecimento do concreto, o bambu vai gradativamente liberando a água, absorvida e retornando as dimensões iniciais. Comprometendo assim sua interação com concreto como pode-se observar na figura 9.



Fonte: LIMA Jr. et al. (1999)

FIGURA 9 - Variação dimensional do bambu em contato com o concreto.

2.3 Resíduo Cerâmico

Para as indústrias cerâmicas, as parcelas de resíduos produzidos são partes incômodas, mas se estes pudessem ser reutilizados, às indústrias passariam a ter uma visão do crescente interesse mercadológico nesta área de reciclagem.

Na indústria de revestimentos cerâmicos os resíduos podem ser gerados desde a manipulação das matérias-primas, estágio inicial da produção, ou até durante a classificação dos produtos finais a serem estocados. Os principais tipos de resíduos gerados, segundo ROSA (2002, p.11), são:

- Resíduos crus: Restos de matérias-primas, aditivos ou peças ainda cruas;
- Resíduos queimados: Produtos acabados que foram descartados por apresentarem algum defeito ou estarem fora de especificação;
- Resíduos de polimento: Originados durante o polimento de gres-porcelanatos;
- Resíduos de esmaltação: Também chamada de lama de esmaltação, são geradas durante a lavagem de moinhos de esmalte ou durante a própria esmaltação. Assim, geralmente apresentam uma composição semelhante aos esmaltes usados na própria indústria, mas com variações significativas conforme o quadro produtivo.

Segundo MARQUES (2000), resíduo é todo bem móvel material que em determinado tempo e espaço é abandonado por seu responsável. No entanto, uma definição mais atual pode ser obtida a partir do seguinte conceito: “lixo é matéria-prima fora de lugar.” (MINC, C. in GRIPPI, S., 2001, prefácio)

Conforme o grau crescente de insalubridade, a NBR 10004 classifica os resíduos em:

- Inertes e essencialmente insolúveis – classe III;
- Não perigosos e não inertes – classe II e,
- Perigosos – classe I.

No caso da indústria de revestimento cerâmico, o resíduo proveniente do substrato ou sem esmaltação é tido como inerte, o resíduo contendo fritas é considerado da classe II, e o resíduo de esmaltação, em virtude dos corantes frequentemente usados, é classificado como perigoso.

A destinação adequada de um resíduo leva em conta diversos fatores, como o estado físico, a presença de metais pesados, e restrições ambientais. De qualquer forma, a alternativa

de aproveitamento de qualquer tipo de resíduo, quando viável, é seguramente a solução mais racional a ser tomada.

O aproveitamento de um resíduo pode ser realizado como fonte energética, ou como matéria-prima. Neste último caso,, o resíduo pode ser criteriosamente introduzido no mesmo processo produtivo que o gerou, como ocorre na reciclagem, ou inserido em um outro processo produtivo.

Em termos de tecnologia cerâmica, NORTON (1973, p.115) define por massa plástica um sistema constituído por água e argila. Considerando-se que o quartzo, mineral não-argiloso, é capaz de apresentar plasticidade quando suficientemente moído.

As massas utilizadas na indústria cerâmica tradicional são de natureza heterogênea, e geralmente constituídas de materiais plásticos e não plásticos, com um vasto espectro de composições, motivo pelo qual permitem a presença de materiais residuais de vários tipos, mesmo em porcentagens significantes

Desta forma, a reciclagem e a reutilização de resíduos provenientes de diferentes processos industriais, como novas matérias-primas cerâmicas, têm sido objeto de pesquisas em diversas instituições, que buscam soluções que conciliem vários aspectos, como custo de disposição, tratamentos, tipo e quantidade de resíduo, tecnologia e processos de utilização e, finalmente, o impacto econômico e ambiental da reciclagem.

2.4 Fibra de Sisal

O sisal (*Agave sisalana*) (Figura 10) é cultivado em regiões semi-áridas. No Brasil, os principais produtores são os estados da Paraíba e da Bahia, neste último, especialmente na região sisaleira, onde está localizado o maior pólo produtor e industrial do sisal do mundo, que é a cidade de Valente no estado da Bahia.



FIGURA 10- Planta da espécie Agave Sisalana

O ciclo de transformação do sisal em fios naturais tem início aos 3 anos de vida da planta, ou quando suas folhas atingem até cerca de 140 cm de comprimento que podem resultar em fibras de 90 a 120 cm. As fibras representam apenas 4 a 5% da massa bruta da folha do sisal. As folhas são cortadas a cada 6 meses durante toda vida útil da planta que é de 6/7 anos. Ao final do período é gerada uma haste (inflorescência), a flecha, onde surgem as sementes de uma nova planta. Uma característica da família é que a planta morre após gerar as sementes. O sisal pode ser colhido durante todo o ano.

O sisal é uma importante fibra nacional utilizada principalmente em cordoaria e artesanato, mas que pode ter seu valor agregado multiplicado se utilizado como reforço de compósitos. O sisal é uma fibra ligno-celulósica leve e atóxica, que apresenta alto módulo e resistência específica (GASSAN, 99). Entre outras vantagens do sisal podemos apontar a facilidade de modificação superficial, característica das fibras vegetais, sua abundância no Brasil, facilidade de cultivo, o fato de ser um material biodegradável que provem de fonte renovável, além de apresentar boas propriedades como isolante térmico e acústico (AMICO, 2001). Estes fatores, aliados à alta tenacidade, resistência à abrasão e ao baixo custo, tornam o sisal uma das mais estudadas fibras naturais (KURUVILLA *et al*, 1999).

As propriedades de compósitos reforçados por fibras vegetais dependem de fatores como adesão fibra/matriz, fração volumétrica de fibra e orientação, entre as mais importantes (AZZIZI *et al*, 2004). Para um melhor desempenho fibra/matriz, são realizados diferentes tratamentos superficiais nas fibras antes de atuarem como reforço. Embora o tratamento químico seja conduzido para promover a separação de fibras individuais e a adesão com a matriz do compósito, efeitos indesejáveis como baixo desempenho mecânico, desestruturação através do forte inchamento ou degradação da superfície podem ocorrer (BALEY *et al*, 2005).

2.5 Sistema construtivo com blocos de gesso.

No laboratório de Ensaio de Materiais e Estruturas (LABEME), na UFPB, foi desenvolvido um sistema construtivo de paredes com componentes à base de gesso sob a ótica de coordenação modular, pesquisa esta realizada por Rodrigues (2008).

Um dos preceitos fundamentais desta pesquisa foi de buscar com a menor variação tipológica de blocos, buscando atender as necessidades construtivas do conjunto edificado. Porém, na proposta, tratou-se a improvisação como um mecanismo do sistema, proporcionado pelo corte de módulos principais “in loco”, produzindo sub-módulos.

A idéia principal do trabalho foi fabricar-se com menor variação tipológica possível e a partir deles serem extraídos os sub-blocos capazes de atender a maior gama de situações práticas que ocorrem durante a construção.

O tipo de encaixe adotado foi o macho e fêmea. Esse tipo de encaixe além de garantir o intertravamento entre os componentes, serve como “guia” durante o assentamento, como ilustrado na Figura 11. Esses encaixes auxiliam na colocação a prumo das fiadas sucessivas.

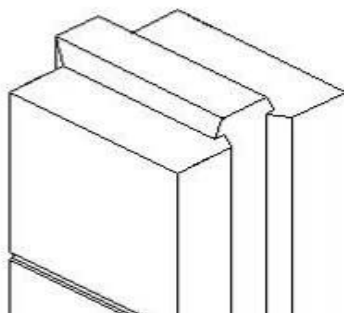


FIGURA 11 – Encaixe em perspectiva

Nos blocos desenvolvidos foram previstos encaixes contínuos nas quatro faces.

Os blocos projetados possuem formatos diferentes, com espessura de 10 cm. Outros blocos básicos são indicados na Figura 12.

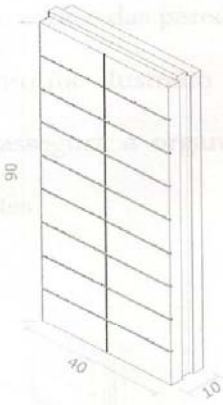
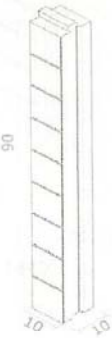
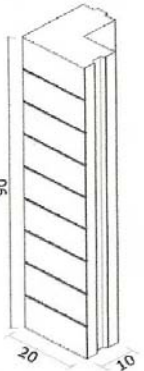
Designação	Bloco principal	Dimensão modular (cm)	Dimensão nominal (cm)	Unidade-base para modulação (cm)
M40		10x90x40	10x89,8x39,8	10
M10		10x90x10	10x89,8x9,8	10
MC		10x90x20	10x89,8x19,8	10

FIGURA 12 – Tipologia dos blocos principais (RODRIGUES2008).

O bloco principal que É usado em maior quantidade, tem modulação 4M, denominado de M40. O bloco de modulação 1M, designado M10, e utilizado para permitir vencer

dimensões de valores ímpares, 1M, 3M, 5M e assim por diante. Finalmente, para os cantos das paredes foi desenvolvido o bloco MC. Os blocos, conforme ilustrado na Figura 13, se inserem na malha espacial reticular M, que assegura a organização e o posicionamento dos blocos com os demais componentes.

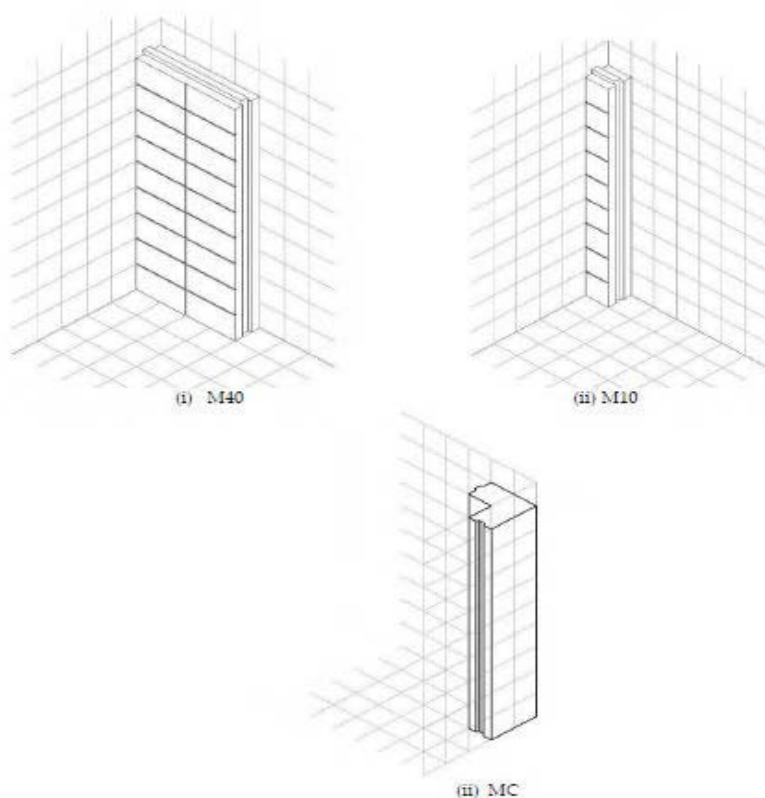


FIGURA13 – Blocos M40, M10 e MC inseridos em malha reticular M
(RODRIGUES, 2008).

Os sub-blocos são originados do corte dos blocos principais M40, M10 e MC (Figura 14). O corte deve ser previsto e quantificado no projeto modular para ser executado no canteiro de obras. O corte é feito com uma serra a diamantado manualmente, seguindo o alinhamento existente na superfície texturizada.



FIGURA 14 – Sub-blocos M40x30 originados do M40.

A Figura 15 apresenta os diversos sub-blocos.

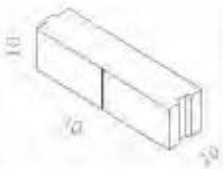

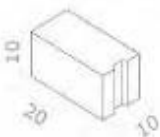
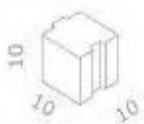
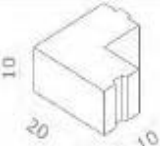
Designação	Sub-blocos de M40	Dimensão modular (cm)	Dimensão nominal (cm)	base para modulação (cm)
SM40xH* *H=10,20...80.		10x10x40	10x9,8x39,8	10
SM40/20x90		10x90x20	10x89,8x19,8	10
SM40/20xH* *H=10,20...80.		10x10x20	10x9,8x19,8	10
Designação	Sub-blocos de M10	Dimensão modular (cm)	Dimensão nominal (cm)	Unidade-base para modulação (cm)
SM10xH* *H=10,20...80.		10x10x10	10x9,8x9,8	10
Designação	Sub-blocos de M10	Dimensão modular (cm)	Dimensão nominal (cm)	Unidade-base para modulação (cm)
SMCxH* *H=10,20...80.		10x10x20	10x9,8x19,8	10

FIGURA 15 – Tipologias dos sub-blocos.

(RODRIGUES,2008)

O processo de fabricação desses blocos é semelhante ao empregado para a produção de blocos convencionais de gesso.

A utilização do sistema oferece ganho em produtividade e economia, mas para que as vantagens em relação às tradicionais construções possam surgir, é importante que as técnicas construtivas desse sistema sejam empregadas adequadamente.

As fundações devem ser locadas precisamente de acordo com a modulação e sem desvio em relação ao alinhamento das paredes, para as quais servirão de suporte. A fundação pode ser feita de alvenaria argamassa dando continuidade à alvenaria de embasamento para se chegar ao nível do piso. Em seguida faz-se uma cinta de concreto de 10cm x 10cm. Essa cinta serve de rodapé e proteção à base da parede de gesso. Sobre a cinta aplica-se uma pintura impermeabilizante para impedir que o gesso e o concreto entrem em contato.

O processo de execução das alvenarias inicia-se pela locação dos blocos de canto MC, pois são eles que definem o alinhamento da construção. No sistema modular de referência essa altura equivale a 1m (10M), que é a altura da cinta inferior (M) mais a primeira fiada de blocos (9M) (Figura 16).

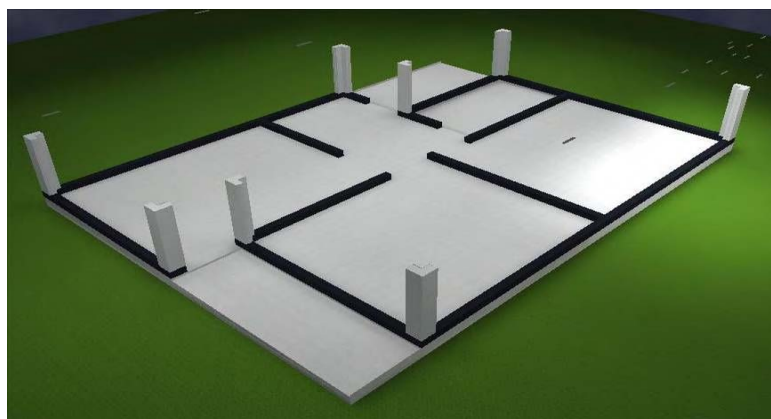


FIGURA 16 – Locação dos blocos MC.

Em seguida, a primeira fiada deve ser executada priorizando-se o emprego do bloco principal (M40) (Figura 17), seguido quando necessário do seu sub-bloco e/ou bloco principal

M10, conforme o projeto modular.

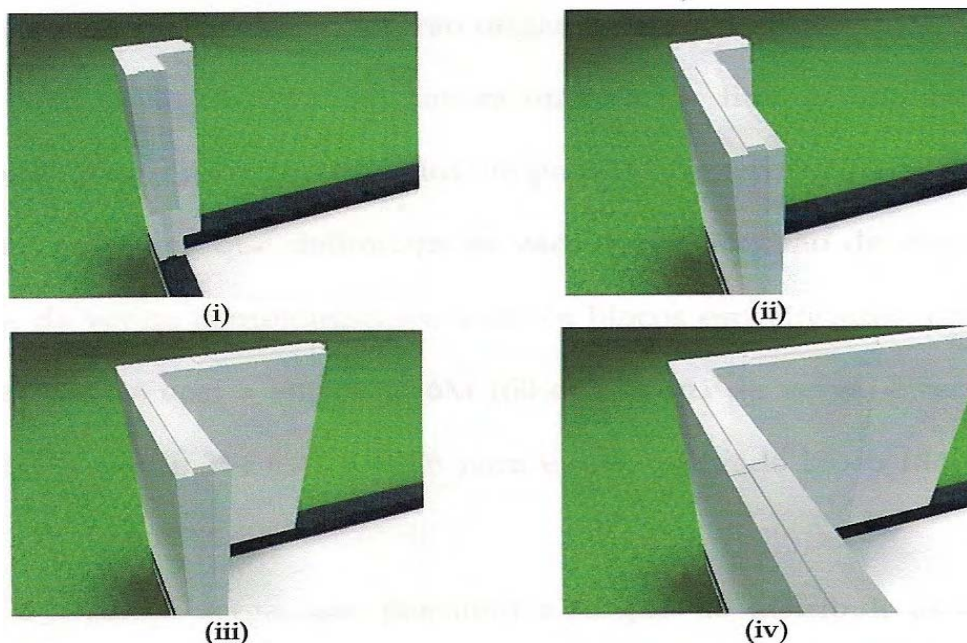


FIGURA 17 – Sequência de assentamento dos blocos da primeira fiada.

Na segunda e terceira fiadas, a colocação dos blocos segue a mesma regra anterior, mas o posicionamento deles deve ser defasado da fiada inferior, de forma a evitar sempre que possível que as juntas fiquem contínuas. Para isto, é necessário o uso do bloco M10 e sub-blocos.

A locação dos vãos de esquadrias deve estar representada, detalhadamente, na elevação das paredes do projeto modular.

As aberturas, no caso de janelas, terão origem na segunda fiada, com a colocação das contra-vergas, indicando que ali haverá uma janela. Em seguida, é feita a colocação dos demais blocos especificados no projeto. Na terceira fiada, assentam-se primeiramente os blocos que delimitam os vãos e que servirão de encaixe, para a verga. Acima da verga, complementam-se com blocos especificados, concluindo a terceira fiada. Para vencer a altura de 6M(60 cm) acima da verga, é recomendado usar dois sub-blocos de 3M (SM 40X30) para evitar que cada bloco M40 gere uma sobra de um sub-bloco (SM 40X30).

A verga e contra-verga, que possuem função estrutural de distribuir as cargas que

seriam suportadas pelos blocos que supostamente preencheriam os vãos, são dimensionadas de acordo com as medidas estabelecidas no projeto modular em função do tamanho da esquadria. Elas podem ser de madeira ou pré fabricadas de gesso com fibras e podem ser confeccionadas no canteiro de obras.

Sobre todas as paredes deve ser colocada uma cinta de amarração com a função de solidarizá-las entre si, pelo seu topo, de forma que os esforços horizontais e verticais provenientes do telhado e forro sejam bem distribuídos ao longo das paredes. Essa cinta, em concreto armado, com seção transversal de 10 cm x 10 cm, deve ser moldada no local. Para casa popular, uma vara de aço de 8 mm posicionada no centro da cinta, já serve como reforço. Como o gesso não deve entrar em contato direto com o concreto, é necessário que a mesma pintura isolante aplicada na cinta inferior seja também aplicada no topo da parede. Esta fica solidarizada mecanicamente com a cinta por conta da saliência do encaixe, como ilustrada na Figura 18.

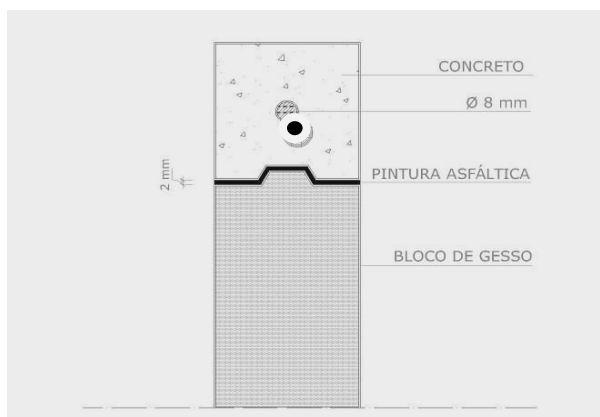


FIGURA 18 – Corte esquemático da cinta no topo da parede

O fechamento das paredes, acima da cinta de amarração até a altura da terça cumeeira, pode ser feito em madeira como apresentado na Figura 19.



FIGURA 19 – Fechamento em madeira.

As regiões das esquadrias e vãos necessitam de reforço estrutural que suporte os carregamentos indicados. Um problema comum ocorre pela falta de elemento estruturais, vergas e contra-vergas adequadas, que suportem devidamente as cargas perpendiculares nos vãos de portas e janelas. A deformabilidade da verga pode causar a fissura vertical que se vê na Figura 20.



FIGURA 20 – Fissuras abaixo da linha de cobertura do telhado

Os elementos estruturais de concreto provocam reações patológicas, visto que, o sulfato do gesso em contato com o cimento, em ambiente úmido, reage com os aluminatos,

sendo capaz de causar a expansão. Segundo METHA e MONTEIRO (1994), a deterioração da pasta de cimento Portland, endurecida pela formação de etringita passa por um processo que leva à redução de sua resistência mecânica; seguido de expansão e fissuração, e transformação final do material numa massa pastosa e não coesiva. Daí por que nem o rodapé nem a cinta de amarração devem entrar em contato direto com os blocos de gesso das alvenarias.

Na Figura 21 apresenta-se o protótipo construído com esse sistema no campus universitário.



FIGURA 21 – Protótipo construído no Campus Universitário da Universidade Federal da Paraíba.

CAPITULO 3

GESSO

Como já foi relatado anteriormente, o gesso é um material ainda pouco explorado pela comunidade científica. Por esta razão, são necessárias pesquisas que levem em conta suas limitações, e que sejam desenvolvidas tecnologias para explorar melhor suas propriedades.

Este trabalho propõe uma nova aplicação para o gesso e a elaboração de elementos estruturais horizontais. Para alcançar tais objetivos são necessárias inovações tecnológicas para a melhoria das propriedades do gesso, tais como resistência e durabilidade. Os estudos relacionados ao suprimento dessas necessidades requeridas e os tratamentos e ensaios realizados para determinação destas variáveis serão tratados neste capítulo.

3.1 Caracterização dos materiais

3.1.1 Gesso

O gesso utilizado é proveniente do Pólo gessífero do Araripe no estado de Pernambuco, disponível no comércio local. Na tabela 1 estão apresentados os dados de sua caracterização química, física e mecânica. De acordo com a análise química, os teores de óxido de cálcio (CaO) de 43,26% e anidrido sulfúrico (SO₃) de 54,96% atendem aos limites mínimos estabelecidos pela norma NBR 13207 (1994) que são de 38,00% e 53,00% respectivamente (OLIVEIRA, 2009).

TABELA 2 – Características química e física do gesso.

Características		Valores	Método	Limite (NBR 13207)
Químicas				
Óxido de cálcio (CaO)	(%)	43,26	Fluorescência de raios X	> 38
Anidrido sulfúrico (SO ₃)	(%)	54,96		> 53
Óxido de magnésio (MgO)	(%)	0,09		
Físicas e mecânicas				
Módulo de finura		0,08		< 1,10
Massa unitária	(g/cm ³)	0,62	NBR 12127	< 0,70
Massa específica	(g/cm ³)	2,60	NBR NM 23	
Área específica	(cm ² /g)	7643	NBR NM 76	
Consistência normal	(a/g)	0,6		
Tempo de início de pega	(min)	18,95	NBR 12128	> 10
Tempo de fim de pega	(min)	34,3		> 45
Resistência à compressão	(MPa)	9,0		> 8,4
Resistência à tração na flexão (MPa)		3,9	NBR 12129	> 3,0

A distribuição granulométrica foi determinada por peneiramento, de acordo com a NBR 12127 (1991). Através da curva de distribuição granulométrica do material (Figura 22) observa-se que, 100% das partículas passaram nas peneiras 0,84 mm e 0,42 mm, enquanto que, 99,8% passaram na peneira de malha 0,21 mm e 95,4% na de malha 0,105 mm.

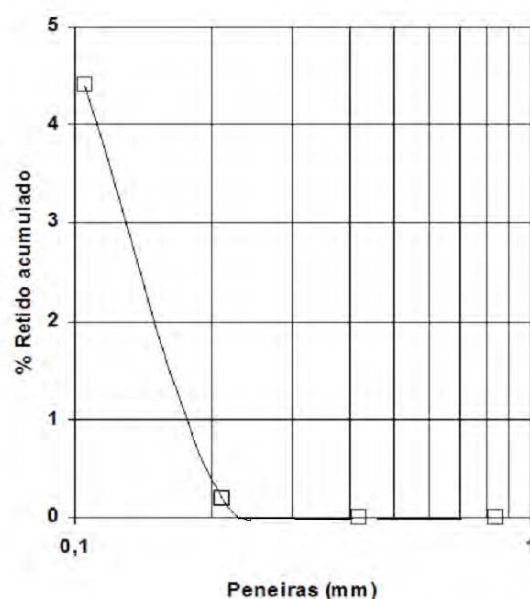


FIGURA 22 - Curva granulométrica do gesso

A análise mineralógica do material por difração de raios-X foi realizada em um equipamento do tipo XRay Diffractometer dE marca Siemens, modelo D 5000, operando com radiação K-alfa de cobre, 40 kV e 30 mA, com varredura de 5° a 65° de 2θ.

O difratograma do gesso, apresentado na Figura 23, demonstra que a amostra é basicamente composta por bassanita ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$), sendo também detectados picos de anidrita (CaSO_4). Nota-se também a ausência do dihidrato ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), demonstrando que a temperatura de calcinação foi suficiente para a desidratação parcial da gipsita.

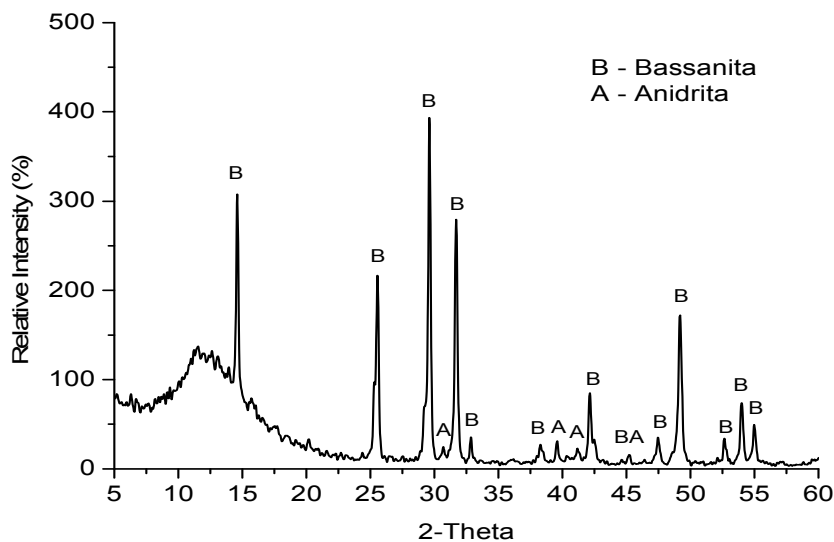


FIGURA 23– Difratoograma do gesso.

3.1.2 Cal

A cal utilizada foi a cal hidratada do tipo CHI, classificada de acordo com a norma NBR 7175 (1992). A tabela 2 apresenta a caracterização química e física da cal hidratada utilizada.

Por meio do difratograma na Figura 24 observa-se que a cal é constituída essencialmente de portlandita (CaOH_2) e alguns picos demonstram a presença de calcita, quartzo e brucita.

Tabela 3 – Características química e física da cal

Características		Valores	Método
Químicas			
CaO (Óxido de cálcio)	(%)	98,36	Fluorescência de raios X
SiO ₂ (Óxido de silício)	(%)	0,95	
Fe ₂ O ₃ (Óxido de ferro)	(%)	0,34	
Al ₂ O ₃ (Óxido de Alumínio)	(%)	0,11	
SO ₃ (Anidrido sulfúrico)	(%)	0,065	
Físicas			
Massa unitária (g/cm ³)		0,43	NBR 7251
Massa específica (g/cm ³)		2,27	NBR NM 23
Área específica (cm ² /g)		10074	NBR NM 76

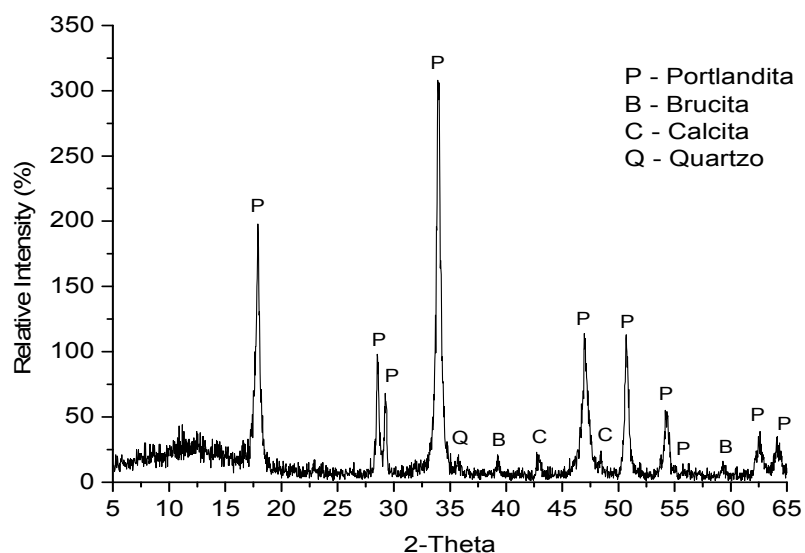


FIGURA 24 – Difratoograma da cal.

3.1.3 Resíduo Cerâmico

Foi utilizado resíduo proveniente de uma indústria cerâmica, localizada no município de Santa Rita - PB. Esse resíduo foi gerado na produção de blocos cerâmicos (Figura 25(a)). Para utilização como material pozolânico (Figura 25(b)), o resíduo passou por um processo de beneficiamento, no qual, o material foi primeiramente britado em um aparelho para ensaio de Abrasão de Los Angeles, e em seguida, moído em um moinho-de-bolas, modelo SONEX I-4205 de marca CONTENCO.

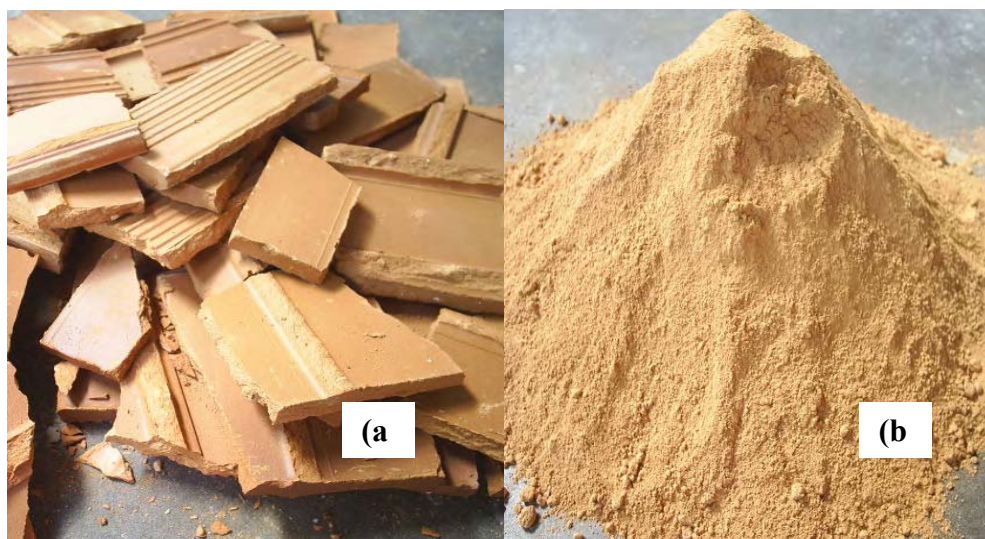


FIGURA 25 – Resíduo cerâmico: (a) Blocos cerâmicos fragmentados e (b) Resíduo cerâmico moído

As características química e física do resíduo cerâmico estão apresentadas na tabela 3. A soma dos compostos $\text{SiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$ foi de 84,68%. Este valor foi superior aos 70%, estabelecido pela norma NBR 12653 (1992) para o seu uso como material pozolânico.

TABELA 4 - Características química e física do resíduo de bloco cerâmico moído.

Características		Valores	Método
Químicas			
SiO ₂ (Dióxido de silício)	(%)	54,00	Fluorescência de raios X
Fe ₂ O ₃ (Óxido de ferro)	(%)	19,76	
Al ₂ O ₃ (Óxido de Alumínio)	(%)	10,92	
K ₂ O (Óxido de potássio)	(%)	6,56	
CaO (Óxido de cálcio)	(%)	3,74	
TiO ₂ (Óxido de Titânio)	(%)	2,68	
MgO (Óxido de Magnésio)	(%)	0,38	
Físicas			
Massa específica	(g/cm ³)	2,62	NBR NM 23
Área específica	(cm ² /g)	9953	NBR NM 76

A caracterização mineralógica do resíduo cerâmico moído foi feita conforme a caracterização mineralógica do gesso. De acordo com o difratograma (Figura 26), o resíduo cerâmico contém picos de quartzo, feldspato e microline como também traços de caulinita. Esta última certamente é originária da argila original que não aqueceu suficientemente durante o processo de fabricação da cerâmica.

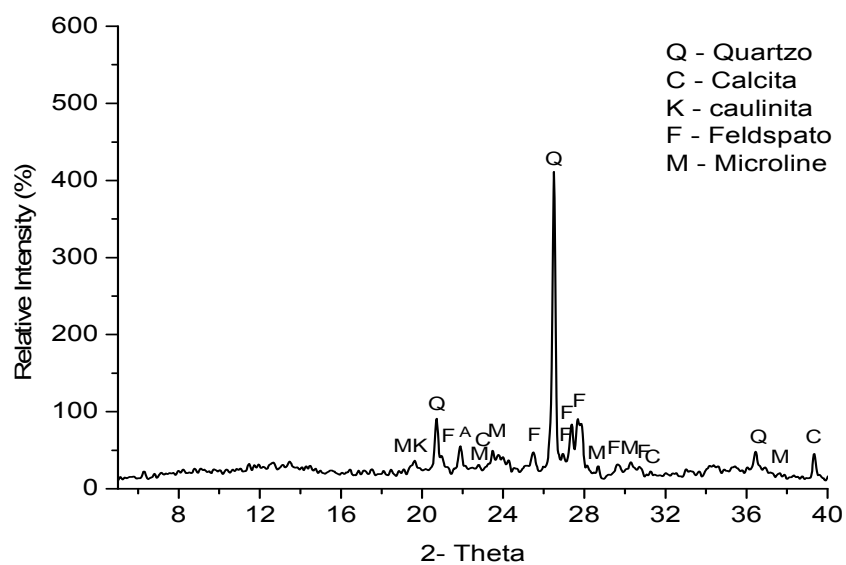


FIGURA 26 – Difratoograma do resíduo cerâmico.

3.1.4 Água

A água utilizada foi proveniente do sistema de abastecimento do município de João Pessoa-PB.

3.1.5 Sisal

O sisal utilizado é proveniente de resíduos de uma indústria de fabricação de carpete localizado no município de Baex-PB (figura 27)



FIGURA 27 – Fibra de sisal

3.1.6 Areia

A areia é proveniente da região de Caxitu situado no município do Conde-PB.

3.1.7 Ácido Cítrico

O ácido cítrico é um ácido orgânico tricarboxílico presente na maioria das frutas, sobretudo em cítricos como o limão e a laranja. Sua fórmula química é $C_6H_8O_7$. A origem do material utilizado neste trabalho foi de uma farmácia de manipulação existente no comércio local, com data de fabricação outubro de 2008

3.1.8 Resina

A resina líquida utilizada foi à de base de silano-siloxano da marca Vedacit, utilizada na impermeabilização de tijolo aparente, cerâmica porosa, concreto aparente e telha cerâmica.

3.1.9 Superplastificante

O superplastificante utilizado foi o Glenium 51, trata-se de um aditivo de última geração com base em uma cadeia de éter carboxílico modificado. Este aditivo foi

desenvolvido para concreto em geral, especialmente para indústria de pré-moldados e concretos protendidos, onde se requer maior durabilidade e desempenho.

3.2 Metodologia

3.2.1 Moldagem

Para realização dos ensaios foram moldados dois tipos de corpos-de-prova cúbico e prismático. As fôrmas utilizadas foram: cúbica de 5cm de aresta (Figura 28) e a prismática de 4 cm x 4 cm x 16 cm (figura 29).



FIGURA 28-Fôrma para corpos de prova cúbicos.



FIGURA 29 - Fôrma para corpos de prova prismáticos.

A moldagem dos corpos-de-prova seguem os seguintes passos:

1. A água foi misturada ao retardador (quando houver);
2. O gesso foi polvilhado sobre a água ;
3. Esperou-se dois minutos para a hidratação do gesso;
4. Homogeneizou-se a mistura durante 1 minuto;
5. Colocou-se a pasta na forma;
6. A pasta foi submetida à vibração (quando houver);

Os tempos de mistura e de homogeneização da água e o pó foram fixados com base na NBR 12128: um minuto para polvilhar, dois minutos para hidratar e um minuto para homogeneizar. A aplicação dos ensaios foram realizadas após constância de massa dos corpos-de-prova.

3.2.1.1 Incorporação de materiais à matriz do gesso

Foram realizadas incorporações de diferentes materiais à matriz de gesso, para realização de uma análise quanto à sua funcionalidade. Foram moldados corpos-de-prova com as seguintes composições (aqui chamadas de amostras), com percentagens em massa:

Tipo 1: A/G = 0,4 com 3% de fibra cortada com aproximadamente 0,5 cm.

Tipo 2: A/G = 0,45 com 15% de resíduo cerâmico e 10% de cal

Tipo 3: A/G = 0,4 com 20 % de areia passada na peneira de malha 1,19 mm

Tipo 4: A/G = 0,3 com 20 % de areia passada na peneira 1,19

Foram moldados corpos-de-prova prismático e cúbicos. A preparação das amostras seguiu os seguintes passos:

Tipo 1: A amostra 1 foi preparada cortando-se as fibras de sisal com 0,5 cm de comprimento. Elas foram colocadas na água de amassamento, posteriormente sendo adicionado o gesso e, por fim, o super plastificante (2,5% de Glenium), até se obter uma

mistura homogênea. Tentou-se também deixar as fibras saturadas na própria água de mistura antes da preparação da pasta para reduzir o efeito de sucção que elas provocam reduzindo a quantidade de água de amassamento disponível ao aglomerante.

Tipo 2: Todos os materiais foram pesados separadamente. Em seguida, eles foram misturados (resíduo cerâmico, cal e gesso) e polvilhados na água de amassamento. Por fim, o plastificante foi adicionado.

Tipo 3 e 4: A preparação das amostras 3 e 4 foi feita colocando-se inicialmente a areia na água polvilhando-se em seguida o gesso, por fim, o plastificante.

3.2.2 Tratamentos para aumentar a durabilidade do gesso.

3.2.2.1 Imersão em resina de silicone

A imersão em resina de silicone foi realizada em duas etapas. Na primeira a imersão foi feita em cubos de gesso com relações a/g de 0,3 e 0,4. Em seguida, com as mesmas relações A/G, o gesso foi parcialmente substituído por 20% de areia. Após a moldagem dos cubos, foi feita uma pintura superficial com uma resina a base de silicone e em seguida, fazendo uma imersão de 5 segundos na mesma resina.

3.2.2.2 Pintura com resina poliuretana vegetal (resina de mamona)

A resina de mamona trata-se de uma resina com uma viscosidade mais elevada do que a de silicone e por esta razão sua aplicação foi realizada através de pintura. Os testes de absorção foram realizados em dois tipos de amostra, uma com uma camada de pintura e a segunda com duas camadas

3.2.2.3 Banho de cal

A ideia da introdução de cal seria porque a porosidade da matriz de gesso permitiria a entrada de CO_2 atmosférico, provocando a carbonatação do hidróxido de cálcio que, com o passar do tempo acabaria ocasionando o fechamento dos poros, o que poderia provocar a redução da absorção de água paralelamente ao aumento da resistência. Optou-se então pela realização de um tratamento superficial nos corpos-de-prova de gesso, os quais foram submetido à imersão em uma calda de com 200 g de cal por litro de água. Este tratamento foi chamado de banho de cal. As partículas de hidróxido de cálcio sendo muito pequenas, penetram na matriz de gesso, e a carbonatação fecha os poros superficiais.

Para execução do banho de cal foram moldados 4 tipos de corpos de prova cúbicos com as composições seguintes:

Tipo A: A/G=0,30;

Tipo B: A/G=0,30 com 20% de substituição da massa de gesso por areia;

Tipo C: A/G=0,40;

Tipo D: A/G=0,40 com 20% de substituição da massa de gesso por areia;

A calda foi preparada com 1 l de água e 20 g de cal. Os blocos foram imersos na calda por cerca de 2 h e, a cada 2 min era necessário a agitação da calda, para evitar que a cal se deposita-se no fundo do recipiente.

Ao terminar o banho, foram separadas amostras de cada tipo, cortadas ao meio, e feita a verificação do pH com a fenolftaleína para verificação da penetração da calda no corpo-de-prova. O mesmo processo foi repetido após 24 h do banho de cal.

3.2.3 Ensaio de compressão

A resistência à compressão axial foi determinada a partir de ensaios realizados nos corpos-de-prova cúbicos, com aresta de 5 cm. As amostras foram carregadas até a sua ruptura (figura 30) em uma máquina marca Versa-Tester.



FIGURA 30 - Ensaio de compressão em corpos de prova cúbicos.

3.2.4 Ensaio de tração na flexão

Para a realização do ensaio de tração na flexão, um corpo-de-prova de seção prismática foi submetido à flexão, com carregamento central até ocorrer a ruptura .

A resistência à tração na flexão foi determinada de acordo com a NBR 13279 (2005). Neste ensaio, um carregamento central é aplicado ao corpo-de-prova prismático, que é posto sobre dois apoios com 100 mm de vão entre eles (Figura 31). O equipamento utilizado para o ensaio de flexão em três pontos foi uma prensa da marca Versa-Tester.

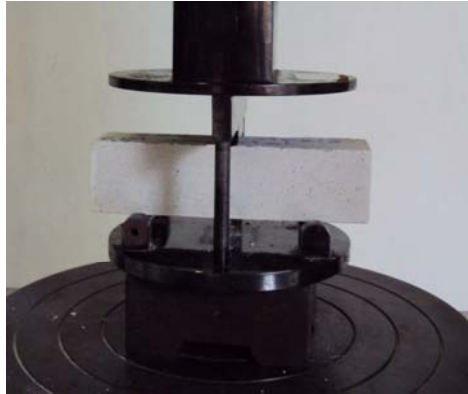


FIGURA 31 - Ensaio de flexão em três pontos.

A resistência à tração na flexão (RTF) é calculada através da *equação 1*:

$$RTF = \frac{3PL}{2bh^2} \quad (\text{equação 1})$$

Com $b=h=40 \text{ mm}$ e $L=100 \text{ mm}$.

3.2.5 Determinação de início de pega NBR 12128

O ensaio para determinar o tempo de início e fim de pega foi inicialmente avaliado de acordo com a NBR 12128 (1991), na qual, utiliza o aparelho de Vicat (Figura 3.32), constituído de uma haste com uma agulha de seção transversal de 1 mm^2 em uma das extremidades.



FIGURA 32 - Aparelho de Vicat.

3.2.6 Medida de Evolução de Temperatura

A medida de evolução de temperatura trata-se da medida de calor de hidratação das pastas de gesso, feitas sob condições pseudo-adiabáticas, através de um calorímetro que é uma adaptação do método usado por MURAT e JEADONT (1973). Este calorímetro registra o aumento de temperatura da pasta introduzida num recipiente, isolado termicamente através de uma garrafa de isopor, como mostra o esquema da figura 33:

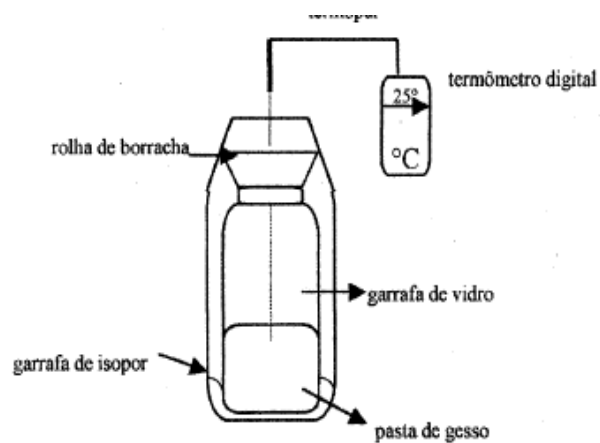


FIGURA 33 - Esquema para a medição da temperatura de evolução.

O ensaio foi realizado através das seguintes etapas.

- A pasta foi preparada da mesma forma que o método de moldagem;
- O cronômetro foi acionado no momento em que a primeira quantidade de gesso entrava em contato com a água;
- A pasta foi dividida em dois recipientes de plástico iguais (figura 34a);
- Um orifício foi feito na tampa em um dos recipientes do gesso, assim como na tampa da garrafa de isopor para colocação do termopar (figura 34b);
- O termopar foi colocado por um orifício em contato com o gesso no recipiente de plástico, que, a seguir foi colocado dentro da garrafa de isopor vedada (Figura 34 c);
- A variação da temperatura foi verificada no decorrer do tempo, a cada modificação também foi-se observando a consistência da mistura que ficou no segundo recipiente (Figura 34).
- Por fim, feita a análise quantitativa e qualitativa dos dados obtidos para determinação da melhor concentração dos aditivos.



(a)



(b)



(c)



(d)

FIGURA 34 – Esquema para medição de temperatura.

Os ensaios foram feitos com:

Tipo I - fator $a/g=0,30$.

Tipo II- fator $a/g=0,30+ 0,05\%$ àc.cítrico+ 6% plastificante.

Tipo III- fator $a/g=0,30+ 6\%$ plastificante.

Tipo IV - fator $a/g = 0,30 + 2,5 \%$ de plastificante.

3.2.7 Absorção de água

Para o ensaio de absorção de água foram moldados corpos-de-prova cúbicos com 5cm de aresta, colocados na estufa à $40\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ e retirados após a constância de massa. Os corpos foram pesados numa balança digital com sensibilidade de 0,01g e colocados num recipiente com água, com uma lâmina de água de 10 cm (Figura 35). Após o período de absorção (2 e 24 h) as amostras eram pesadas novamente. A diferença entre a massa inicial e a massa após a absorção dividido pela a massa inicial resulta na absorção de água.

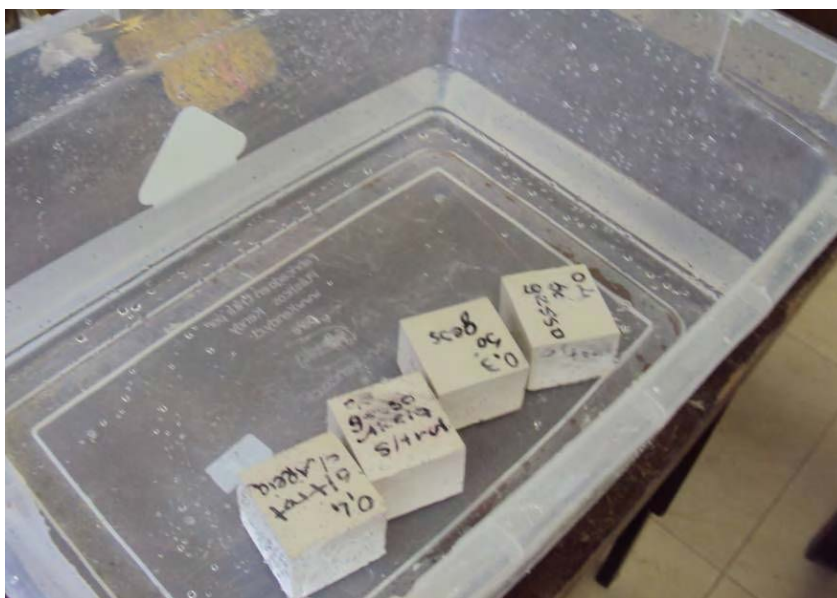


FIGURA 35 – Ensaio de absorção.

3.3 Resultados e Análises

3.3.1 Relação Água/Gesso x Resistência à compressão

Como ocorre com aglomerantes hidráulicos, como o cimento, o gesso varia sua resistência com a relação água /gesso (a/g). Experimentalmente vê-se (Figura 36) que, quando a relação passa de 0,70 a 0,30 a resistência à compressão aumenta mais de 100%. A resistência no gesso se deve à coesão entre os cristais, quanto maior o volume de água em relação ao de gesso menor é o entrelaçamento deles. Porém, na literatura não foram encontrados trabalhos com relação a/g menor que 0,50 o que tem levado o gesso a ser considerado como um ligante de baixa resistência mecânica. No entanto, fazendo-se uso de vibração e/ou plasticantes e retardadores é possível se utilizar o material com baixas relações a/g chegando-se a resistências mecânicas adequadas para diversos usos na engenharia civil.

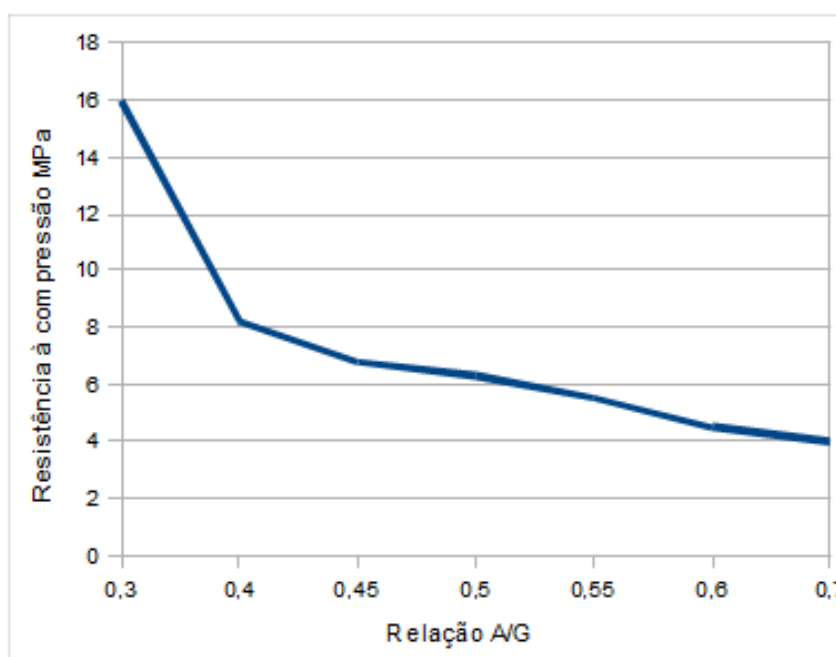


FIGURA 36- Variação de resistência à compressão com a relação água/gesso

A Figura 36 foi obtido através de corpos de prova cúbicos de 50 mm de aresta, variando-se a relação água/gesso. Observe que ao reduzir o a/g de 0,4 para 0,3 a resistência à compressão duplicou. Já no intervalo de $a/g = 0,4$ à 0,7, a queda de resistência à compressão é quase linear.

3.3.2 Incorporações de outros materiais à pasta de gesso

Com o intuito de melhorar as propriedades e reduzir os custos dos produtos à base de gesso, investigou-se a adição de alguns materiais nas matrizes. Os materiais selecionados foram areia, resíduo cerâmico, cal e fibra de sisal.

As amostras tipo 1 foram moldadas com dificuldade não sendo possível a preparação com relações a/g menores que 0,40. A intenção da adição da fibra de sisal, é no sentido de reduzir a propagação de fissuras no compósito. Por outro lado essa adição dificulta a utilização de relações a/g menores que 0,45, por que as fibras sugam parte da água de amassamento causando perda acentuada de trabalhabilidade.

Nas amostras tipo 2 o resíduo cerâmico e a cal, também apresentaram o mesmo fenômeno de absorção de água prejudicando a trabalhabilidade da pasta. No estado endurecido, o material apresentou aspecto poroso e quebradiço.

As amostras tipo 3 e tipo 4, a presença de areia na pasta apresentou um aspecto curioso: a moldagem foi facilitada, os grãos de areia pareciam deslizar sobre os de gesso aumentando assim, a trabalhabilidade.

A Figura 37, representa o resultado do ensaio de compressão. Pode-se observar a baixa resistência das amostras tipo 1, tipo 2 e tipo 3 se comparadas a da amostra do tipo 4. Isto se deve ao simples fato de a amostra 4 utilizar uma menor quantidade de água, o que torna o material menos poroso e, conseqüentemente mais resistente. Neste caso, o valor da resistência à compressão obtida pode ser considerado satisfatório para atender às necessidades estruturais. As amostras tipo 2, produzidas com resíduo cerâmico cal, foram as que apresentaram os piores resultado. Tal fato, já era esperado, visto que, os corpos de prova mostravam-se quebradiços e porosos.

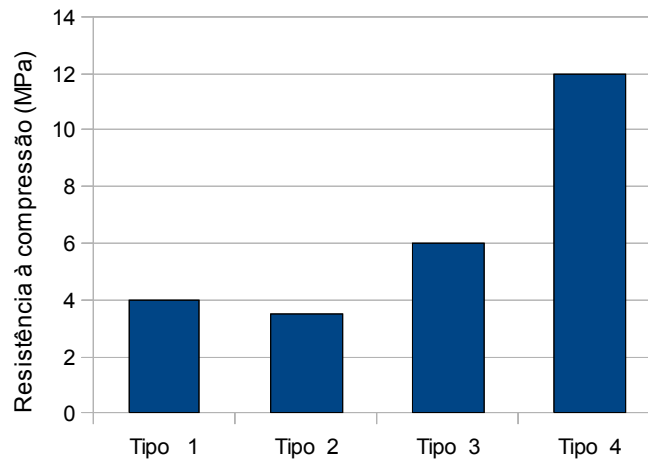


FIGURA 37 - Resultado do ensaio de compressão

As Figuras 38 e 39 apresentam um comparativo entre as amostras com e sem incorporação de areia na matriz de gesso com relações a/g 0,3 e 0,4, nos ensaios de compressão e tração na flexão, respectivamente. Pode-se observar uma pequena redução da resistência com a presença da areia, ocasionado pelo fato de os grãos de areia interferirem no entrelaçamento dos cristais do gesso. Porém o resultado foi satisfatório pois mesmo substituindo-se o gesso em 20%, a resistência diminuiu menos de 15%, sendo da ordem de 12 MPa, valor esse que atende às especificações técnicas para o uso da pasta de gesso.

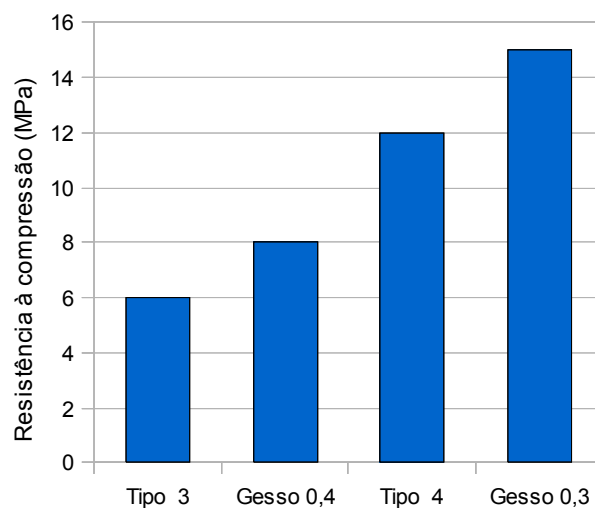


FIGURA 38 - Ensaio de compressão

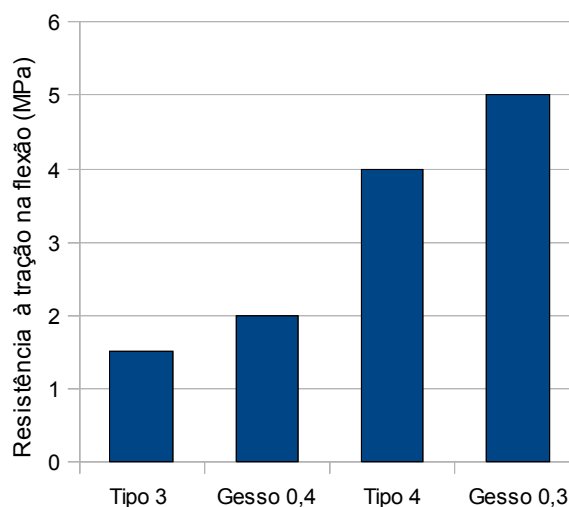


FIGURA 39 - Ensaio de tração na Flexão

3.3.3 Escolha dos aditivos

O gesso é comumente utilizado na construção civil em forros, detalhes decorativos e divisórias, processos nos quais não é necessário apresentar elevada resistência mecânica. Neste trabalho, o gesso passa a desempenhar uma função não convencional, ou seja, função estrutural, diferenciando daquelas comumente utilizadas.

Conforme apresentado anteriormente, as resistências mecânicas do gesso varia com o inverso da relação água/gesso. Quando ela é reduzida a trabalhabilidade fica comprometida. Para que seja mantida a trabalhabilidade deve-se fazer uso de aditivos.

Para a escolha dos aditivos empregados na pasta de gesso, foi selecionado inicialmente um o retardador ácido cítrico, e por fim pela necessidade de obter-se uma pasta com uma maior redução do fator a/g e boa trabalhabilidade optou-se pelo uso de um super-plastificante usado em concretos, o Glenium.

A pasta de gesso com a adição do retardador foi preparada manualmente como indicado na metodologia. O retardador foi adicionados a água de amassamento enquanto que o super-plastificante adicionado à pasta homogeneizada.

Foi feito um teste preliminar para se verificar a menor relação a/g que se conseguiria

com cada um dos aditivos. Partiu-se de uma relação $a/g = 0,5$ e foram feitas reduções sucessivas até se chegar a um ponto em que não se conseguia mais fazer qualquer tipo de moldagem. Conclui-se que:

1. Ácido cítrico: Com a adição do ácido cítrico, foi possível a moldagem até o fator 0,4 com boa trabalhabilidade. Quando se tentou preparar pasta com relação água/gesso 0,30, houve retardamento de pega mas não se conseguiu uma trabalhabilidade adequada.
2. Plastificante + ác. cítrico: O super-plastificante ajudou a moldagem do fator 0,3 pois, tornou a pasta mais fluida, sendo possível completar todo o processo de moldagem.

Após essa análise preliminar, passou-se a estudar a alteração no tempo de pega nas pastas de gesso com os aditivos.

O ensaio para determinar o tempo de início e fim de pega foi inicialmente realizado de acordo com a NBR 12128 (1991), o qual propõe a utilização do aparelho de Vicat. A partir desse método obteve-se o resultado para as amostras utilizadas como retardador açúcar e sabão. Não foi possível a execução do ensaio com as amostras com ácido cítrico e com o plastificante, visto que, a pasta de gesso em contato com o aditivo apresenta uma consistência gelatinosa, no início da reação do gesso com a água. Neste estado não se conseguiu estabelecer o início de pega, pois a agulha penetrava totalmente na pasta apesar de a reação já ter-se iniciado.

No ensaio de início e fim de pega através do aparelho de Vicat, o gesso com fator 0,30 apresentou início de pega aproximadamente 5 minutos após o contato com a água.

Com o ácido cítrico e com o superplastificante não foi possível obter a medição do tempo de pega pelo método de Vicat. A medição foi realizada por meio de um método desenvolvido por HICAPIE, baseando-se na medida de calor pseudo-adiabática. Quando o gesso é misturado com água, forma-se uma pasta homogênea consistente e trabalhável. Após poucos minutos, ocorre uma perda de consistência e aumento da viscosidade. Esse ganho de viscosidade corresponde à *pega inicial da pasta* e o endurecimento com *incremento da resistência do material*, que são fenômenos que podem ser explicados pelo mecanismo de hidratação do gesso, que é um processo exotérmico.

Observando-se paralelamente a consistência e a evolução de temperatura verificou-se

que a relação $a/g=0,30$, na ausência de aditivos, adquiriu consistência ao mesmo tempo que ocorria liberação de calor. O início de pega nos primeiros 5 minutos e o fim por volta dos 25 min (Figura 3.20), atingindo uma temperatura máxima de 48°C , leva o gesso a ser classificado como um material de pega rápida. Ao ser colocado o aditivo foi percebido que antes de ocasionar o endurecimento do gesso, a pasta cria um aspecto gelatinoso formando uma lâmina de água na superfície; o aumento da consistência da pasta foi percebido antes de ocorrer o aumento da temperatura.

Adicionando-se o retardador juntamente com o plastificante observou-se que o início da pega foi prolongando para 200 min, finalizando-se a reação após cerca de 90 min (Figura 3.21). Retirando-se o retardador e utilizando-se 6% de plastificante foi verificado que ele apresentou sozinho um efeito retardador da reação. O início da pega aconteceu por volta dos 100 min, porém o período de reação foi mais longo, de cerca de 100 min (Figura 3.22). Reduzindo-se a quantidade do plastificante para 2,5%, o início de pega foi antecipado para 50 min e o período de reação também apresentou redução (Figura 40).

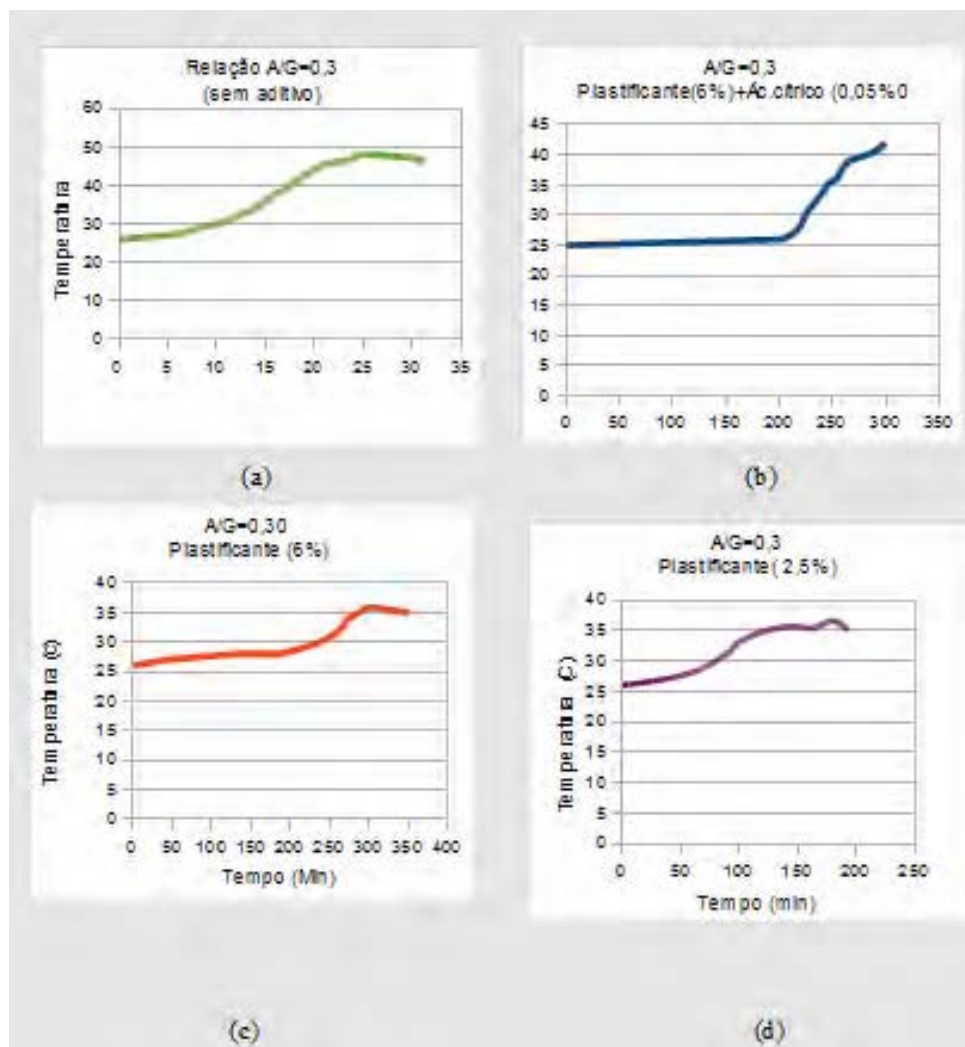


FIGURA 40 - Evolução da temperatura $A/G=0,3$.

Quanto à temperatura máxima atingida pode-se observar que na ausência de aditivos, a reação apresentou um grau de exotermia maior com a temperatura da pasta alcançando 50 °C, enquanto que ao se adicionar retardador e plastificante este valor não ultrapassou os 42 °C .

Não foi possível efetuar-se a moldagem com quantidades de plastificante inferiores a 2,5%, pois a mistura não alcançou o grau de trabalhabilidade desejável.

Acreditava-se que o plastificante não conseguiria retardar por tempo suficiente a reação, tornando impossível a moldagem com fatores água/gesso baixos. Por esta razão no primeiro teste foi utilizado retardador junto ao plastificante. Analisando-se os gráficos tornou-se possível perceber que ação do plastificante sem retardador e na taxa de 2,5% permitiu que se obtivesse um tempo adequado para a manuseio da pasta com trabalhabilidade conveniente para moldagem.

3.3.4 Durabilidade

Como já foi discutido anteriormente uma das grandes limitações da utilização do gesso na construção civil está relacionado à sua susceptibilidade à água. O gesso mesmo no estado endurecido é solúvel em água. Embora a solubilidade seja baixa, menos de 2 g/l, para uso em elementos estruturais é conveniente o desenvolvimento de tecnologias para a redução dessa susceptibilidade à água.

Na Figura 41 pode-se observar que diminuindo-se a relação a/g já se obtém uma redução da absorção. Nota-se que após 2 h de imersão os bloco já estão quase que saturados pois, a quantidade de água absorvida em 2h e 24 h de imersão mostram-se muito próxima.

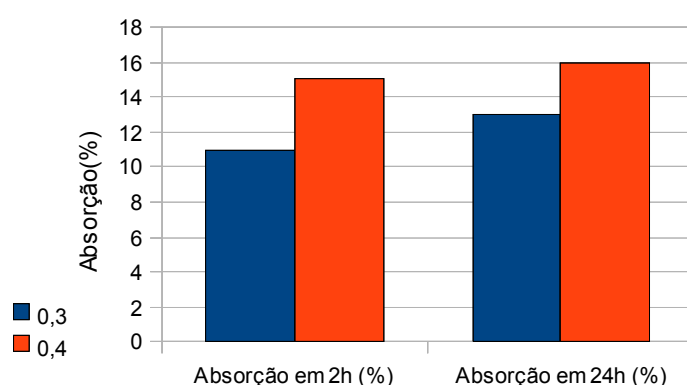


FIGURA 41 - Gráfico da relação fator A/G x absorção de água.

Com o objetivo de aumentar a durabilidade do gesso, foram realizados tratamentos que pudessem reduzir a absorção de água no mesmo. Os tratamentos realizados foram:

1. Imersão em resina de silicone;
2. Resina poliuretana vegetal (Resina de mamona);
3. Banho de cal.

3.3.4.1 Imersão em resina de silicone

A imersão em resina de silicone foi realizada em corpos-de-prova com o propósito de reduzir a sua absorção. A substituição de parte do gesso pela areia foi feita buscando-se uma reação entre a resina e a sílica presente na areia, a qual provocaria uma redução da absorção de água. Os resultados estão apresentados na Figura 42.

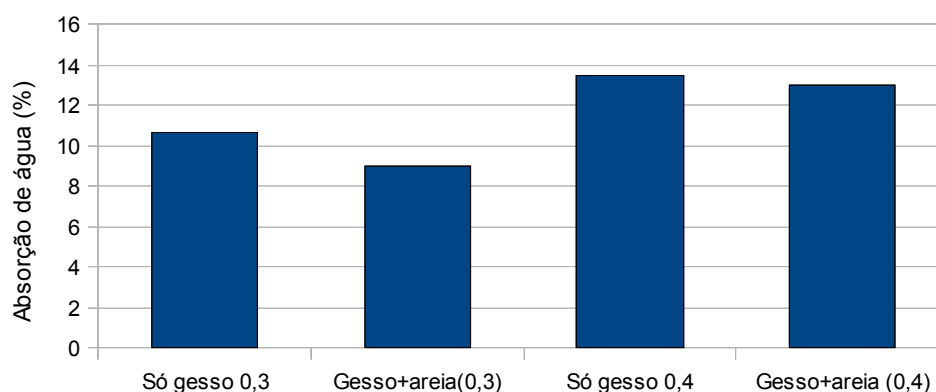


FIGURA 42 – Variação da absorção de água com a incorporação de areia.

No gráfico da figura 4.30 pode-se observar que a presença da areia ocasionou uma redução da absorção pequena se comparado ao gesso solamente, o que leva a crer que não houve reações entre o silicone da resina e a sílica da areia de tal modo que provocasse repelência da água.

3.3.4.2 Resina poliuretana vegetal (Resina de mamona)

Poliuretano vegetal é uma resina bicomponente formulado à base de óleo de mamona, sendo um material preparado por espécies quimicamente ativas contendo o grupo NCO, com Polióis funcionalmente ativos, resultando em polímeros com diferentes características e com excelentes propriedades. O resultados obtidos estão descritos na Figura 43.

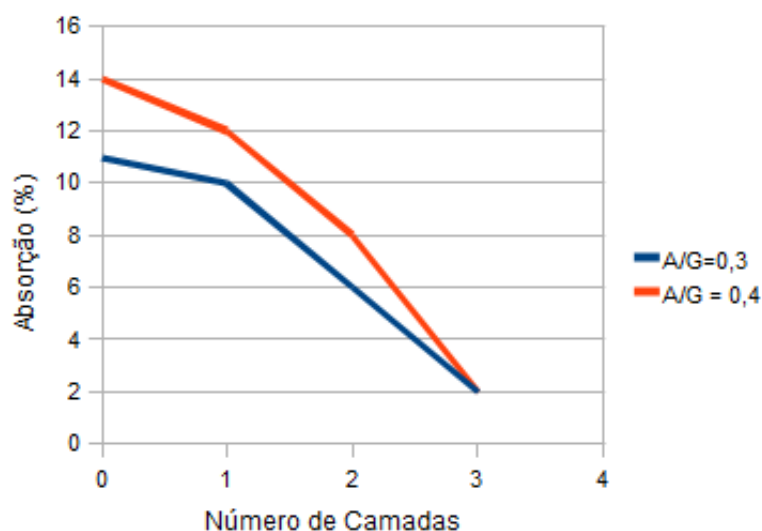


FIGURA 43 - Gráfico do número de camada de resina x Absorção.

A resina de poliuretano após a secagem se comporta com uma camada de recobrimento, com uma consistência similar ao de uma borracha. Quando a resina não preenche toda a superfície do gesso forma zonas de imperfeições que permitem a entrada de água; por esta razão que, ao ser feita a pintura apenas com uma camada da resina o corpo-de-prova apresenta grande absorção de água. Ao serem aplicadas outras camadas da pintura, a zona de falha vai sendo corrigida impedindo então a entrada de água, fato que pode ser constatado através do gráfico da Figura 43, pois com três camadas da pintura os fatores 0,3 e 0,4 apresentaram a mesma absorção de água que chegou a ser aproximadamente nula. Na

Figura 44 é visível as imperfeições na pintura com apenas uma camada. O gesso sem tratamento superficial absorve toda a água com uma camada de poliuretano absorve parcialmente a água e, com 2 camadas de poliuretano impede que a água penetre no bloco de gesso.



FIGURA 44 - Absorção da em bloco sem pintura e com quantidades diferentes de camadas da resina de poliuretano.

3.3.4.3 Banho de cal

Como foi discutido anteriormente, a adição de cal hidratada à pasta de gesso pode melhorar sua resistência à ação da água, porém, também pode causar um efeito acelerador da reação, implicando na necessidade de uma maior quantidade de água de amassamento. Tal fato vai contra a proposta deste trabalho, pois é necessário a redução de água para a elevação da resistência mecânica e, conseqüentemente, um tempo maior de início de pega para facilitar a aplicação.

A fenolftaleína é um indicador de pH. Mantém-se incolor em soluções ácidas e torna-se cor de rosa em soluções básicas. A sua cor muda a valores de pH entre 8,2 a 12 (Figura 45).

Fenolftaleína (indicador de pH)			
pH abaixo de 8,2		pH entre 8,0 e 10,0	pH entre 10,0 e 12,0
incolor	=	rosa	= carmim ou roxa

FIGURA 45 – Escala para medição de pH da fenolftaleína.

A partir da figura 46 pode-se perceber que a penetração da cal aconteceu superficialmente, e está relacionada com o fator A/G adotado e com a presença de areia. As amostras com fator A/G = 0,40 apresentaram uma área maior com o pH superior a 10, visto que esta região representa o local onde há presença da cal. Tal fato pode ser explicado pela quantidade de poros, pois, à medida que se aumenta a quantidade de água de amassamento aumenta-se também a quantidade de poros e consequentemente a facilidade de penetração da calda da cal. A presença de areia nos blocos dificultou a penetração da cal. Acredita-se que a areia no processo de cristalização e entrelaçamento dos cristais de gesso, dificultou a acessibilidade aos poros.

Após 24 h pode-se perceber que a carbonatação já ocorreu, conforme indicado na Figura 47.



FIGURA 46 – Verificação do pH com fenolftaleína imediatamente após o banho.



FIGURA 47 – Verificação do ph com fenolftaleína 24 horas após o banho.

Quanto à absorção de água, o teste foi realizado após 90 dias do banho garantindo um estágio de carbonatação mais elevado. Verificando a Figura 48. Pode-se perceber que houve uma discreta redução na absorção de água; talvez o resultado fosse mais satisfatório (redução maior na absorção) se a cal tivesse percorrido e se depositado em toda extensão do bloco e não só em sua superfície. As amostras de gesso na ausência de areia mostraram uma redução na absorção maior. Observa-se que um banho único em calda de cal não surtiu o efeito esperado, pois a redução da absorção foi relativamente pequena. Deve-se investigar o que ocorreria com mais de uma imersões sucessivas do corpo-de- prova na calda de cal.

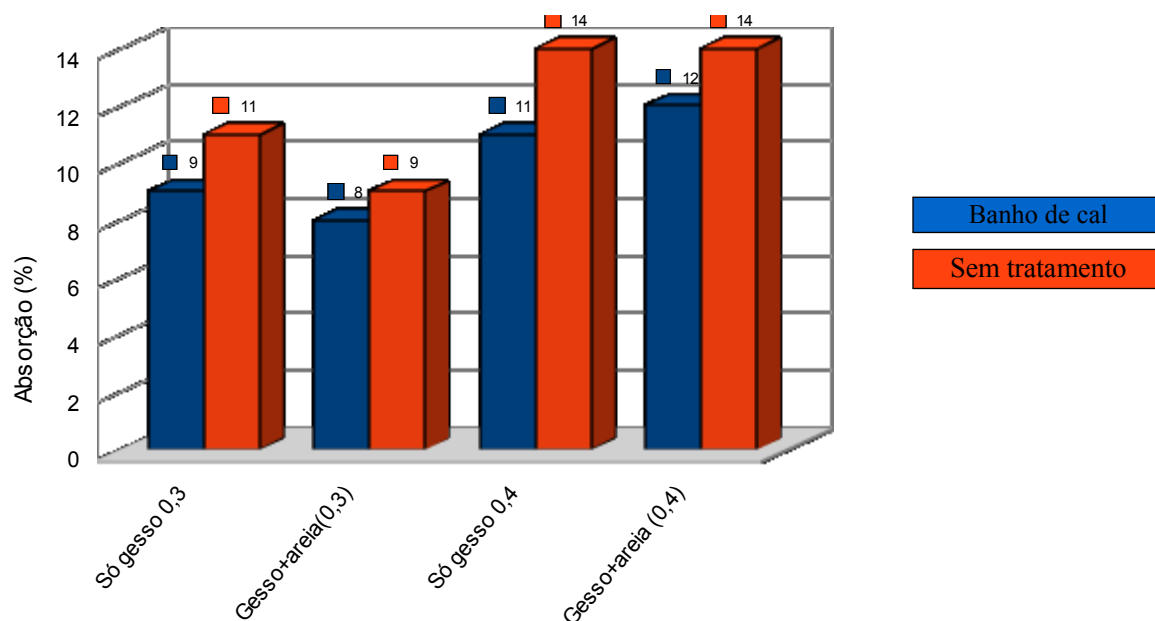


FIGURA 48 – Comparação da absorção de água em blocos sob o tratamento superficial em banho de cal e em blocos sem tratamento.

Após o ensaio de absorção de água, os blocos foram secos em estufa à 40 °C para a realização do teste de resistência à compressão, com o propósito de verificar a influência do banho de cal nas propriedades mecânicas dos blocos. Na figura 49 observa-se o comparativo da resistência à compressão dos blocos submetidos ao banho de cal com a resistência em blocos sem imersão na calda de cal.

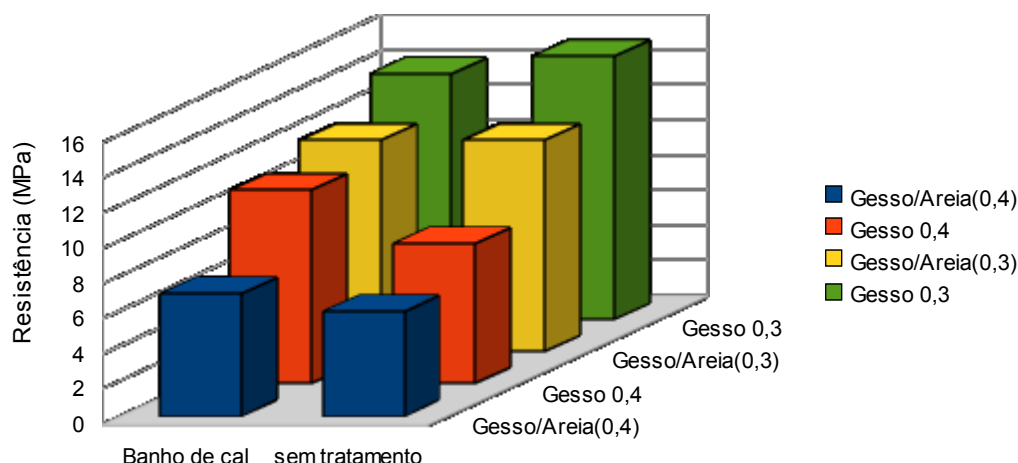


FIGURA 49-Comparativo da resistência mecânica em blocos submetidos a banho de cal com blocos sem o tratamento com a cal.

Na Figura 49 pode-se perceber que as amostras com fator água/gesso 0,30 com e sem adição de areia, e com o fator água/gesso igual 0,40 com adição de areia, praticamente não apresentaram alterações na resistência à compressão, enquanto que a amostra com o fator água/gesso igual 0,40 apresentou uma discreta elevação na resistência. Tal fato pode ser explicado por esta amostra ter apresentado no teste da fenolftaleína, uma maior quantidade de regiões atingidas pela cal.

3.4 Considerações sobre o capítulo 3.

A partir dos ensaios relatados neste capítulo pode-se observar que é possível a moldagem de elementos de gesso com relação $a/g = 0,3$ desde que sejam utilizados aditivos como o superplastificante glenium na proporção de 2,5% em massa do gesso. Retardando suficientemente o tempo de pega e melhorando as condições de trabalhabilidade.

Quanto aos materiais incorporados na pasta de gesso, a areia foi a que apresentou resultados positivos, comprometendo em pequena quantidade a resistência mecânica mas compensando essa perda com a melhoria da trabalhabilidade e redução dos custos.

A resistência a absorção de água teve resultados consideravelmente satisfatórios com a pintura em três camadas com a resina de mamona.

CAPITULO 4

BAMBU

As propriedades mecânicas e a sustentabilidade do bambu tem tornado esse material cada vez mais visado como elemento estrutural. Alguns trabalhos já foram desenvolvidos na tentativa de utilização deste material vegetal como reforço de elementos estruturais de concreto e um dos pontos críticos desta utilização é a falta de aderência causada pela instabilidade dimensional do material vegetal. Ao entrar em contato com a umidade, o bambu aumenta suas dimensões e a medida que esta umidade é perdida ocorre sua retração comprometendo sua aderência.

Nos elementos de gesso reforçado com bambu este problema continua persistindo, fazendo-se necessário o desenvolvimento de tratamentos que reduzam a absorção de água pelo bambu e conseqüentemente minimizem sua instabilidade dimensional.

4.1 Materiais

4.1.1 Bambu

O bambu utilizado neste trabalho **foi** da espécie *Bambusa vulgaris Schrad* originado dos arredores do Campus I da Universidade Federal da Paraíba.

4.1.2 Extrato Vegetal B Carbono (Creosoto)

O creosoto é um composto químico derivado do destilado de alquitranos procedentes da combustão de carbonos graxos (hulha) preferencialmente a temperaturas compreendidas

entre 900 e 1200 °C. A destilação mencionada se realiza entre 180 °C e 400 °C.

4.1.3 Cola Epóxi

Foi utilizado um adesivo estrutural à base de epóxi da marca Vedacit, existente no comércio local usualmente utilizado, para colagem de concreto-concreto e de outros materiais como madeira e ferro, fixação de máquinas e equipamentos, na recuperação estrutural, chumbamentos e colagem de estruturas pré-moldadas.

4.1.4 Massa Plástica

Esse adesivo plástico indicado para colar ou corrigir pequenas imperfeições na funilaria de veículos, máquinas e equipamentos. Utilizado também para reparos em mármore, vedações e calhas, a massa plástica utilizada foi da marca Ibêre.

4.1.5 Emulsão à base de Piche

A emulsão utilizada foi da marca Vedacit indicado para pintura de poste, barracões, tapumes, paredes em contato com o solo etc. Resistente aos raios ultravioletas e a água evitando o apodrecimento da madeira e a infiltração de água.

4.1.6 Resina à base de silicone

Trata-se de um hidrofugante incolor utilizado na pintura de fachadas. A resina utilizada foi da marca Vedacit.

4.1.7 Resina de Poliester.

Constituem uma família de polímeros de alto peso molecular, resultantes da condensação de ácidos carboxílicos com glicóis, classificando-se como resinas saturadas ou

insaturadas, dependendo especificamente dos tipos de ácidos utilizados, que irão caracterizar o tipo de ligação entre os átomos de carbono da cadeia molecular.

4.2 Métodos utilizados

4.2.1 Tratamentos para redução de absorção de água pelo bambu.

Na tentativa de reduzir a absorção de água foram realizados os seguintes tratamentos:

1. Imersão em resina à base de silicone;
2. Imersão em resina polimérica;
3. Impregnação em extrato vegetal B carbono;

Para a aplicação dos tratamentos foram preparadas taliscas de bambu de 1 x 15 cm.

Após a aplicação do tratamentos as taliscas foram pesadas e realizado o ensaio de absorção.

4.2.1.1 Imersão em resina à base de silicone.

A imersão em resina antifungos foi feita em quatro etapas variando-se a quantidade de imersões. As primeiras amostras foram submetidas a uma camada de resina em uma imersão, a segunda em duas imersões em intervalos de tempo de 10 minutos e assim sucessivamente completando-se as quatro etapas.

4.2.1.2 Imersão em resina de Poliester.

A resina polimérica trata-se de uma resina com uma viscosidade mais elevada que a antifungo. Por esta razão foi feita apenas uma imersão, visto que seu alto grau de viscosidade iria impedir que a substância penetrasse nos poros do bambu, servindo apenas para formação de uma camada superficial apresentando um certo grau de impermeabilidade.

4.2.1.3 Impregnação em extrato vegetal

A impregnação com extrato vegetal foi realizada através da imersão do bambu na substância permanecendo imersa por 24 h.

4.2.2 Tratamentos superficiais para melhoramento da aderência

Com o objetivo de melhorar a aderência bambu-gesso foram aplicados tratamentos superficiais às taliscas de bambu.

Os tratamentos realizados foram:

- Massa plástica ;
- Cola epóxi;
- Piche.

O bambu foi lixado para retirar toda sua camada externa e também para regularizar a sua superfície. Em seguida, foi realizada a aplicação das substâncias ao bambu recém tratado sendo posteriormente aspergido areia para que ficasse impregnada na sua superfície.

4.2.3 Ensaio de absorção de água

As taliscas tratadas superficialmente foram submetidas ao ensaio de absorção para testar sua eficiência.

4.2.4 Análise da variação dimensional

O objetivo do ensaio de variação dimensional foi o de determinar os valores percentuais de absorção de água e de retração da espécie *Bambusa vulgaris* utilizada nesta pesquisa.

A partir de amostras retiradas do meio dos colmos, foram confeccionados corpos-de-prova com dimensões de, aproximadamente 60 mm na direção longitudinal às fibras e 50 mm transversalmente as mesmas (figura 50). As amostras de bambu foram submetidas as seguintes condições ambientais:

- Temperatura ambiente;
- Estufa (55 °C): para determinar a retração dos colmos de bambu;
- Saturado: para determinar a máxima absorção de água pelos colmos.



FIGURA 50 – Partes de colmos de bambu cortados para tratamento de instabilidade dimensional.

As medições foram realizadas em duas direções anatômicas principais (longitudinal e transversalmente). Os corpos de prova foram pesados nas três condições ambientais. Com esses dados foram calculados as variações dimensionais dos corpos-de-prova subtraindo as dimensões naturais das saturadas e as secas em estufa das naturais.

- Longitudinal: referente à direção longitudinal às fibras do bambu;
- Transversal: é a medida correspondente ao comprimento da amostra do colmo, transversal as fibras;

As amostras foram submetidas a três ambientes distintos:

- Secos ao ar: considerou-se as dimensões e a massa dos corpos-de-prova após a

estabilização em temperatura e umidade ambiente.

- Saturado: Após efetuado as primeiras medições, as amostras foram imersas em água por 24 h. Passado esse período, as amostras foram retiradas da água e colocadas para escorrer, (retirada do excesso de água). Logo em seguida foram pesadas e medidas novamente.

- Secas em estufa: após a saturação, as amostras foram secas em temperatura ambiente por 24 h (para que não houve alterações nas estruturas das amostras, e em seguida colocadas na estufa à 55°C até a estabilização da massa e das dimensões, em seguida foram pesadas e medidas da mesma forma que anteriormente.

4.3 Resultados e Análises

4.3.1 Eficácia dos tratamentos superficiais à absorção de água no bambu.

4.3.1.1 Imersão em resina antifungos

No ensaio de absorção, a resina antifungo reduziu cerca de 10% da absorção de água se comparada à amostra natural. Quanto ao número de repetições das imersões praticamente não se observou influenciou na absorção, como pode ser observado na Figura 51.

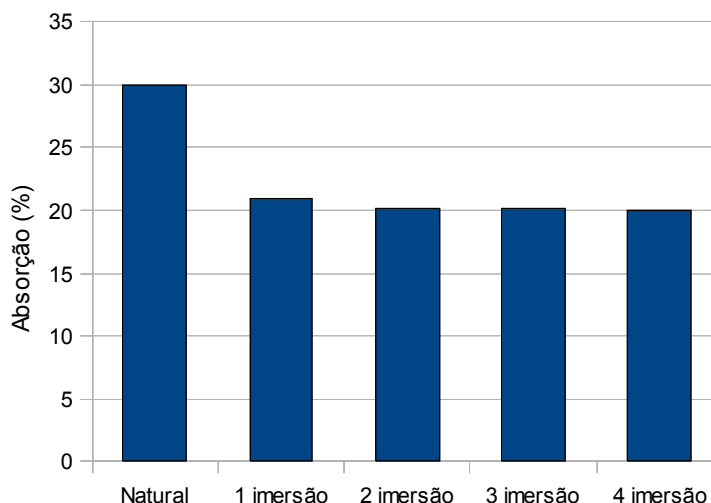


FIGURA 51 - Absorção das amostras submetida a imersão em resina antifungos.

4.3.1.2 Imersão em Resina de Poliester

A absorção de água foi da ordem de 12% . Após 24 h de imersão em água a película que recobria o bambu formada pela resina no estado seco, descolou da superfície do bambu.

4.3.1.3 Impregnação em extrato vegetal B Carbon 500

O extrato vegetal das substâncias utilizadas é a que apresenta a maior viscosidade o que motivou a realização da imersão por 24 horas, acreditando que o creosoto preenchesse os poros reduzindo então a absorção, que de fato caiu para 6,5%.

Também foi observado que as amostras tratadas com creosoto apresentaram durabilidade maior quanto ao ataque do carucho.

Na Figura 52, pode-se observar que o tratamento superficial que mostrou mais eficiência na redução de absorção do bambu foi a impregnação em extrato vegetal. Acredita-se que o extrato por sua baixa viscosidade, entrou nos poros acomodando-se neles provocando o seu fechamento .

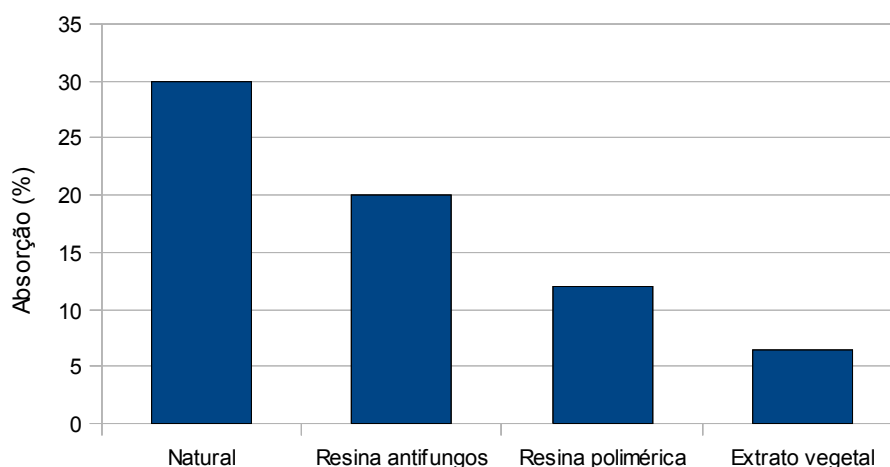


FIGURA 52 – Comparativo dos tratamentos superficiais para redução da absorção de água.

4.3.2 Análise da Variação dimensional

A retração total é a variação dimensional entre os corpos-de-prova do bambu saturado e seco em estufa, retração parcial; a variação parcial entre o bambu saturado e seco ao ar.

As tabelas e gráficos a seguir indicam o comportamento das amostras, nas duas direções (longitudinal e transversal), com os tratamentos superficiais descritos. Foram utilizados 3 amostras para cada tratamento e 3 para a condição natural (sem tratamento).

Na tabela 4 e 5 são apresentados os resultados de retração total e retração parcial respectivamente nas direções longitudinal e transversal. Em todas as amostras a retração na direção longitudinal foi bem menor do que na direção transversal.

TABELA 5 - Retração total longitudinal e transversal dos corpos-de-prova.

	Retração Long. (%)	Retração Transv. (%)
NATURAL	2	8
COLA EPOXI	1	5
MASSA PLASTICA	1	8
PICHE	0	5

TABELA 6 - Retração parcial longitudinal e transversal dos corpos-de-prova.

	Retração Long. (%)	Retração Transv. (%)
NATURAL	1	5
COLA EPOXI	0	2
MASSA PLASTICA	0	2
PICHE	0	1

Na Figura 53 pode-se verificar que a retração transversal foi reduzida para os tratamentos com cola épxi e piche; longitudinalmente todos os tratamentos apresentaram redução sendo nula para o tratamento com piche. Tal resultado pode ter sido obtido pelo fato de a emulsão à base de piche ser utilizada para impermeabilização de lajes e pisos, o mesmo efeito impermeabilizador foi observado no bambu reduzindo a absorção de água conseqüentemente, a retração

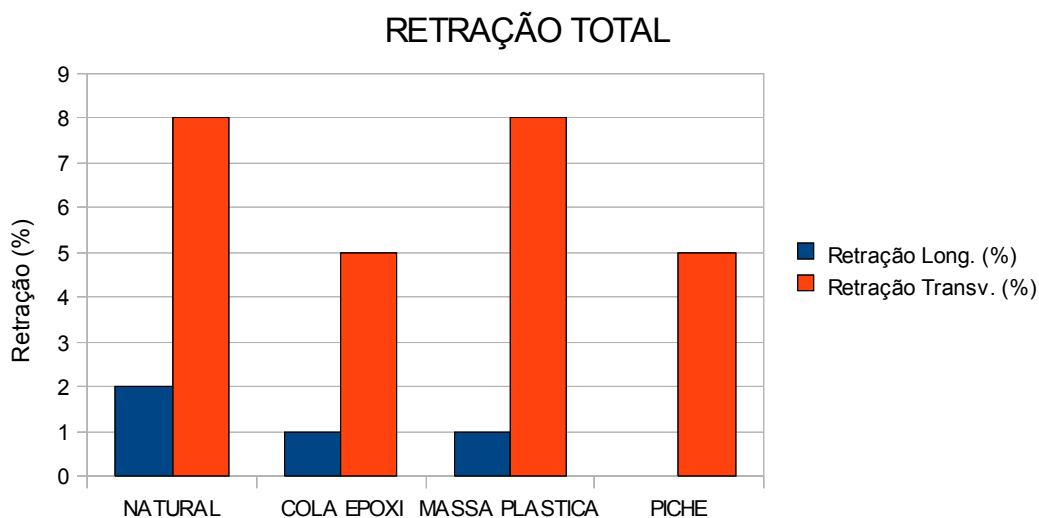


FIGURA 53– Comparativo da retração total nas amostras de bambu submetida a diferentes tratamentos superficiais.

Os tratamentos superficiais com cola epóxi e massa plástica apresentaram um efeito indesejável após sua imersão em água por 24 h, ambos apresentaram fissuras na camada superficial, provocados pela expansão do bambu ao absorver água.

Na Figura 54 pode-se observar a presença de fissuras na camada superficial de cola epóxi, provocadas pela expansão do bambu na direção transversal, por se tratarem de fissuras posicionadas longitudinalmente às fibras, o que já era esperado visto que no tratamento com cola epóxi a retração transversal foi de 5% enquanto que a longitudinal foi de 1%. Na Figura 4.6 pode-se observar o mesmo efeito com a camada superficial de massa plástica diferenciando que além do surgimento de fissuras foi observado o descolamento da camada superficial, o que demonstra a falta de aderência entre a massa plástica e o bambu.



FIGURA 54 – Fissuras na camada superficial do bambu tratado com epóxi após saturação.

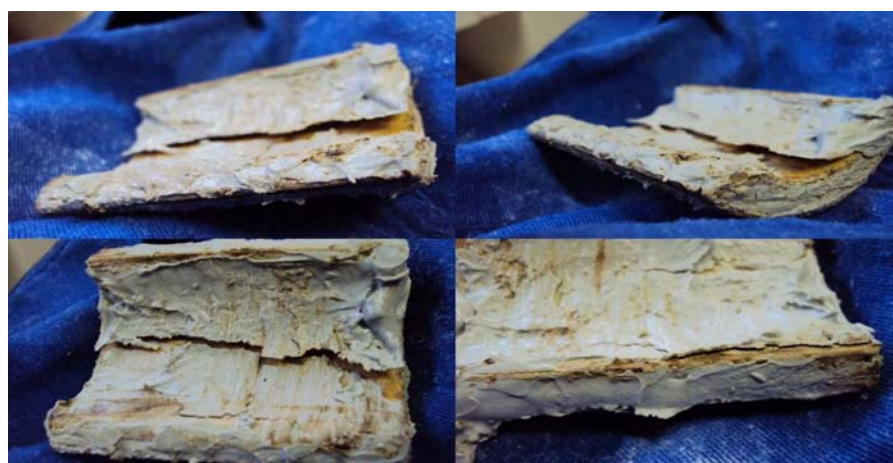


FIGURA 55 - Fissuras na camada superficial do bambu tratado com massa plástica após saturação.

4.3.2 Imersão em extrato Vegetal B Carbon X Ataque do carucho.

O extrato vegetal B carbon (Creosoto) é utilizado em madeiras contra o ataque de insetos. Foram preparados duas taliscas de bambu nas mesmas condições e impregnado o

creosoto em apenas uma delas, deixando a outra em sua condição natural, para verificação do seu efeito quanto ao ataque do carucho (inseto que ataque o bambu). A duas amostras foram colocadas no ambiente a amostra natural ao 8º dia apresentou pequenos pontos de ataque do inseto crescendo gradativamente com o passar dos dias. A amostra tratada com creosoto apresentou pontos de ataque no 64º dia de exposição. Na figura 56 pode-se observar a região de ataque do carucho na talisca de bambu no 64º dia .



FIGURA 56- Ataque do carucho ao 64º dia após a exposição das taliscas ao ambiente.

4.4 Considerações sobre o capítulo 4.

A redução da absorção de água pelo bambu conseguiu resultados significativos com a imersão em creosoto. Quanto a aderência do bambu e a matriz do compósito se dar mediante a um tratamento paralelo ao realizado para reduzir a absorção de água, a melhor aderência entre a camada superficial e o bambu foi obtido com a epóxi.

CAPITULO 5 GESSO REFORÇADO COM BAMBU

A etapa final da pesquisa refere-se à utilização do gesso associado ao bambu, formando assim um compósito gesso-bambu, mais especificamente na elaboração de um elemento estrutural. Para isso foram estudadas tentativas de solucionar ou reduzir as limitações impostas por cada material separadamente, o que foi abordado nos capítulos 3 e 4. Neste capítulo será abordado a junção dos dois materiais e avaliado o desempenho do compósito.

5.1 Metodologia

Todos os elementos de gesso moldados para a análises realizadas neste capítulo foram preparados com relação água/gesso de 0,3 com 2,5 % de superplasticante, definidos a partir dos resultados obtidos no capítulo 3.

5.1.1 Moldagem das peças gesso/bambu

5.1.1.1 Barras prismáticas reforçadas de bambu.

Para os ensaios de flexão forem moldadas barras prismáticas nas dimensões de 4 cm x 4 cm x 15 cm, reforçadas com taliscas de bambu de aproximadamente, 0,5 cm de largura e 13 cm de comprimento (Figura 57). As taliscas de bambu foram submetidas a diferentes tratamentos superficiais com piche, massa plástica, cola epóxi e também utilizadas em sua

condição natural. A moldagem foi realizada da mesma forma que os corpos-de-prova fabricados para o gesso, com o diferencial da colocação das taliscas na região inferior da zona prismática. Foram utilizadas duas taliscas por corpo-de-prova.



FIGURA 57 - Taliscas de bambu com tratamento superficial utilizadas para reforço de barras prismáticas.

5.1.1.2 Vigas em tamanho real

Foram confeccionadas vigas com área transversal de 10 cm x 10 cm e comprimentos variando de 110 cm, 140 cm e 160 cm. Essas dimensões foram definidas de acordo com as necessidades requeridas no protótipo, do sistema construtivo com blocos de gesso, descrito no item 2.3. Para o ensaio de flexão foram confeccionadas vigas com mesma seção transversal e comprimento de 110 cm e 160 cm.

O primeiro passo para a confecção das vigas foi a preparação das taliscas de bambu. Os colmos eram cortados com dimensões de aproximadamente 2 cm de largura e comprimento variável de acordo com a viga a ser confeccionada, em seguida, foram lixados para regularização da superfície e retirada da camada superficial do bambu. Depois foi feito a aplicação do tratamento superficial.

Após a preparação das taliscas de bambu inicia-se a etapa da confecção da armadura. Como pode-se observar na Figura 58 foi confeccionado uma armadura cuja suas arestas transversais eram de 7 cm x 7 cm, formadas pela junção de 4 varões de bambu.



FIGURA 58 – Armadura de bambu utilizada nas vigas.

Para a moldagem das vigas foram confeccionadas fôrmas de madeira com seção transversal 10 cm x10 cm e comprimento variável (Figura 59). A pasta de gesso foi feita com relação água/gesso = 0,30 e 2,5% de plastificante, em alguns casos, também utilizou-se a adição de 20% de areia em substituição à pasta de gesso. A mistura dos materiais foi realizada de forma manual (Figura 60), e o adensamento com o auxílio de uma mesa vibratória (Figura 59).



FIGURA 59 – Fôrma confeccionada para moldagem das vigas em mesa vibratória.



FIGURA 60 – Mistura dos materiais da pasta de gesso.

Após a homogeneização da pasta de gesso, a fôrma era preenchida até a metade pela pasta de gesso (Figura 61). Em seguida, foi imposta uma vibração por 5s para a retirada das bolhas e a armadura era colocada na fôrma deixando-se um espaçamento de 1,5 cm de faces laterais. Em seguida a forma era preenchida com o restante da pasta, e recebia uma nova vibração de 2s (figura 62).



FIGURA 61 – Colocação da primeira camada de pasta de gesso



FIGURA 62 – Viga preenchida completamente com a pasta de gesso.

Após o término da moldagem era necessário esperar 12 h para retirada da forma, para assegurar o fim da reação de hidratação do gesso, visto que o efeito do plastificante retarda a

mesma.

5.1.1.3 Corpos-de- prova para teste de aderência

Para o ensaio de aderência na compressão foram confeccionados corpos-de-prova cilíndricos com 15 cm de diâmetro e 20 cm de altura com taliscas de bambu no seu centro, deixando-se cerca de 3 cm da talisca fora do corpo-de-prova.

As taliscas de bambu tinham largura aproximada de 2,5 cm e comprimento 26 cm; foram lixadas para regularização da superfície e retiradas de toda a camada superficial. Com uma fita crepe foram isoladas as extremidades das taliscas deixando-se apenas os 10 cm centrais livres.

Para cada tratamento foram preparados dois tipos de amostras com ranhuras horizontais e sem ranhuras conforme mostra a Figura 63.



FIGURA 63 – Talisca de bambu com ranhura e sem ranhura

Os tratamentos utilizados foram com piche, cola epóxi e massa plástica, com adição de areia nas superfícies tratadas.

A preparação da pasta foi feita da mesma forma que para os corpos-de-prova prismáticos e com o mesmo traço. A fôrma foi aperfeiçoada para execução da moldagem (figura 64). Após a moldagem os corpos de prova (Figura 65) foram deixados ao ambiente durante 8 dias e, em seguida, colocados em estufa à 55°C por 24h para assim serem submetidos ao ensaio de aderência.



FIGURA 64 – Adaptação da fôrma para moldagem dos corpos-de- prova para o ensaio de arrancamento de talisca por compressão.



FIGURA 65 - Corpo-de-prova para o ensaio de arrancamento por compressão.

5.1.2 Teste de flexão em barras prismáticas

O teste de flexão em barras prismáticas foi realizado da mesma forma que o mencionado no Capítulo 3 para os corpos-de-prova confeccionados com gesso sem reforço com bambu.

5.1.3 Teste de aderência por compressão (*push out*)

O ensaio foi realizado numa máquina universal de marca Versa-Tester. Os corpos-de-prova foram apoiados sob a prensa deixando-se um espaço na superfície inferior de cerca 2 cm para o deslocamento da talisca (figura 66). A força era aplicado na parte superior obtendo-se um valor máximo da carga que provocava a separação do dois materiais.

A resistência era medida a partir da área de contato dos dois materiais.

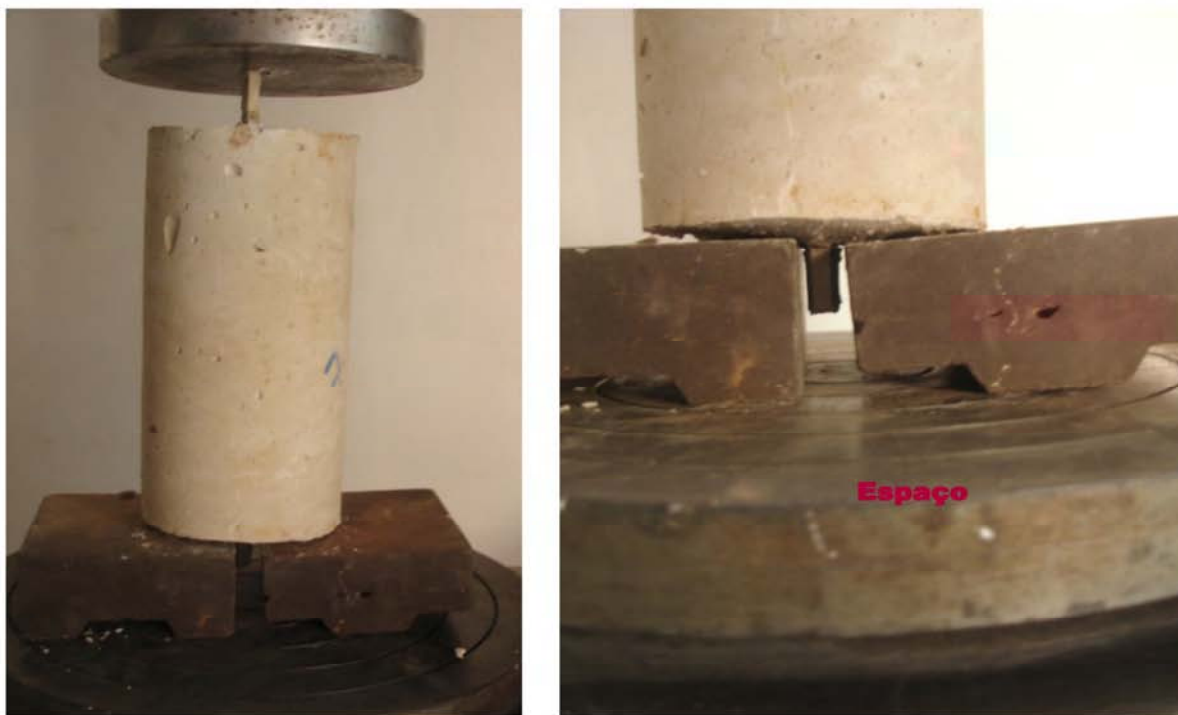


FIGURA 66 – Talisca de bambu submetidas ao ensaio de arrancamento.

5.2 Resultados e Análises.

5.2.1 Teste de flexão em corpos de prova prismáticos

A figura 67 apresenta um comparativo da resistência à tração na flexão estática entre os corpos-de-prova reforçados com bambu e submetidos a diferentes tratamentos superficiais e os ensaios sem reforço com bambu. Pode-se observar que o bambu natural e tratado com emulsão à base de piche resultou numa diminuição da resistência se comparados com o corpo-de-prova sem bambu. A superfície lisa do bambu mostrou uma completa falta de aderência com o gesso, o que foi agravado com o tratamento à base de piche, por se tratar de uma substância oleosa, apesar de dificultar a aderência pode ter provocado um escorregamento na interface gesso/ bambu.

A cola epóxi foi o tratamento que mostrou um certo grau de eficiência conseguindo duplicar o valor da resistência, fato que deve-se a aderência da cola epóxi na interface do

bambu e do gesso. Fato este que pôde ser comprovado através da visualização da propagação das fissuras (Figura 68). As fissuras de rompimento dos corpos-de-prova reforçados com bambu tratados com cola epóxi apresentaram fissuras a 45°, iniciando-se na aplicação da força até as regiões dos apoios.

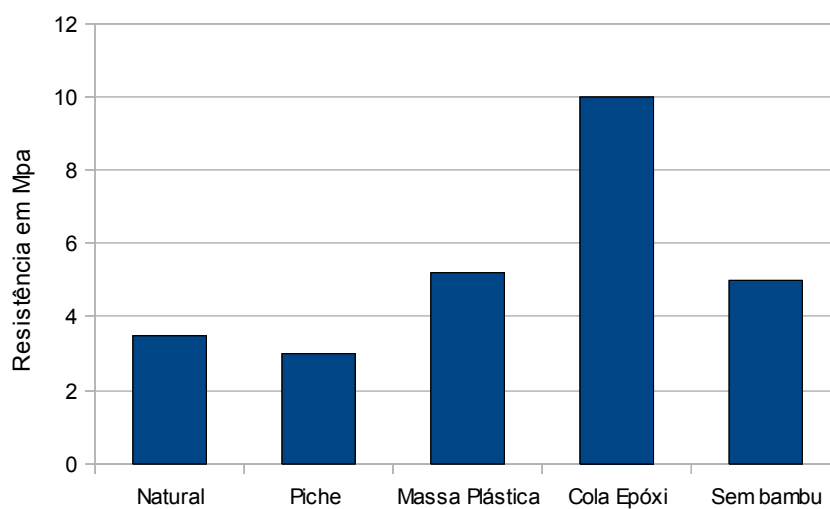


FIGURA 67- Comparativo da resistência de tração na flexão para os corpos-de-prova prismáticos com diferentes tipos de tratamento e na ausência das taliscas de bambu.



FIGURA 68 - Propagação das fissuras nos corpos-de-prova reforçados com bambu submetidos a diferentes tipos de tratamentos.

5.2.2 Teste de arrancamento por compressão(*push out*).

A razão da existência do concreto armado fundamenta-se no trabalho conjunto do concreto e do aço, trabalho este só possível devido à aderência entre os dois materiais. A ação solidária entre a armadura e o concreto é a principal causa do bom desempenho estático do concreto armado. No elemento estrutural de gesso reforçado com bambu essa característica não pode ser diferente. A aderência assegura a igualdade de deformações específicas da armadura de bambu e do gesso que a envolve, quando sob a ação de cargas. O comportamento da aderência do compósito tem importância decisiva com relação à capacidade de cargas das estruturas de concreto armado.

Na compressão e na tração antes da fissuração, o bambu e o gesso a ele circunvizinho possuem deformações iguais. Tão logo haja fissuração no gesso, essas deformações, na proximidade das fissuras, passam a ser diferentes, o bambu alonga mais que o gesso. A diferença de alongamento dos materiais implicam a existência do deslizamento do bambu em relação ao gesso. No primeiro caso em que há igualdade de deformações, tem-se a

chamada aderência rígida, pois não há deslizamentos; no segundo caso que os alongamentos diferem entre si esta aderência é chamada deslizante ou móvel.

A aderência entre gesso e o bambu pode se de três tipos, a aderência por adesão é estabelecida pela ligação físico-química que possam se estabelecer na interface gesso-bambu durante as reações de pega do gesso, a aderência por atrito, devido a forças de atrito existentes entre o gesso e o bambu, desde que existam pressões transversais às taliscas de bambu e a aderência mecânica devido a interação mecânica entre o gesso e o bambu, decorrente da presença de saliências na superfície do bambu.

A aderência mecânica é o tipo de ligação mais confiável, pois contribui de maneira fundamental para a solidarização dos dois materiais e possibilita melhor aproveitamento das resistências mais elevadas do bambu. Por esta razão tentou-se aumentar a aderência mecânica com a adição da areia nos tratamentos superficiais, objetivando aumentar a rugosidade da superfície e consequentemente este tipo de aderência.

No teste de arrancamento do bambu sem tratamento superficial, ou seja, com superfície lisa, ocorre ruptura por arrancamento e a aderência ocorre principalmente devida à adesão química entre a pasta de gesso e a talisca de bambu. Quando a adesão química é rompida surge uma resistência aos deslizamentos devido ao atrito. Quando esta resistência se torna esgotada, a talisca é arrancada.

Nas taliscas com tratamentos superficiais, criados para desenvolver maior aderência do que o bambu na condição natural, esperava-se que o fenômeno da aderência tivesse natureza fundamentalmente diferente. Mesmo que se desenvolvam também a adesão e o atrito, a resistência aos deslizamentos se deve principalmente à resistência que o gesso oferece às pressões que sobre ele são exercidas pelas nervuras, ou seja, nas taliscas de bambu tratada superficialmente, a aderência depende principalmente da ação mecânica entre o gesso e o bambu.

As amostras com cola epóxi romperam diferentemente das demais (figura 68). Ficou evidente que o bambu e o gesso estão se deformando juntos. Os demais tratamentos apresentaram uma fissura central notando que os materiais não estão bem aderidos.

Mediu-se a carga máxima suportada pela talisca de bambu antes do deslizamento. As tensões de aderência para os diversos tratamentos testados podem ser observadas na figura 69.

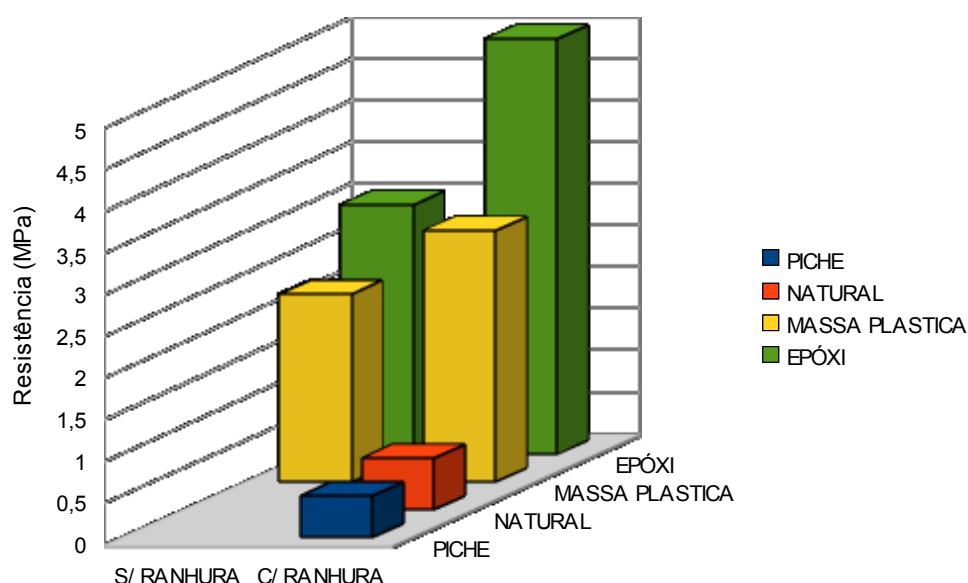


FIGURA 69 – Tensão de aderência medida por arrancamento por compressão.

Observando-se o gráfico da figura 69 pode-se perceber que os resultados para as amostras com piche e no estado natural sem ranhura não estão representados, pois, não foi possível a leitura das forças nesses estados, visto que, a talisca começou a deslizar antes de a prensa iniciar sua leitura, mostrando que a aderência mecânica foi aproximadamente nula, ou tão pequena que pode ser considerada ausente. As amostras no estado natural e com tratamento de piche com ranhura apresentaram resultados muito baixos, demonstrando a falta de eficiência nesse estado.

Confirmando os resultados obtidos nos ensaios de flexão as amostras com tratamento com cola epóxi apresentaram os menores valores. A presença de ranhura aumentou em 40% a aderência do bambu com o gesso.

Observando a Figura 70 pode-se observar que a ruptura dos corpos-de-prova de bambu tratado com massa plástica deve-se à falta de aderência entre a massa plástica e o bambu, enquanto que para as amostras com cola epóxi a falha ocorreu entre a camada superficial (cola epóxi) e o gesso.



FIGURA 70 - Comparação entre a aderência da cola epóxi e da massa plástica no compósito.

Outro fato interessante deve-se ao modo de ruptura das amostras com tratamento de cola epóxi. Como pode ser observado na Figura 71 a ruptura deu-se no local de transição entre a fita crepe que isolava a porção do bambu não tratada e o tratamento.

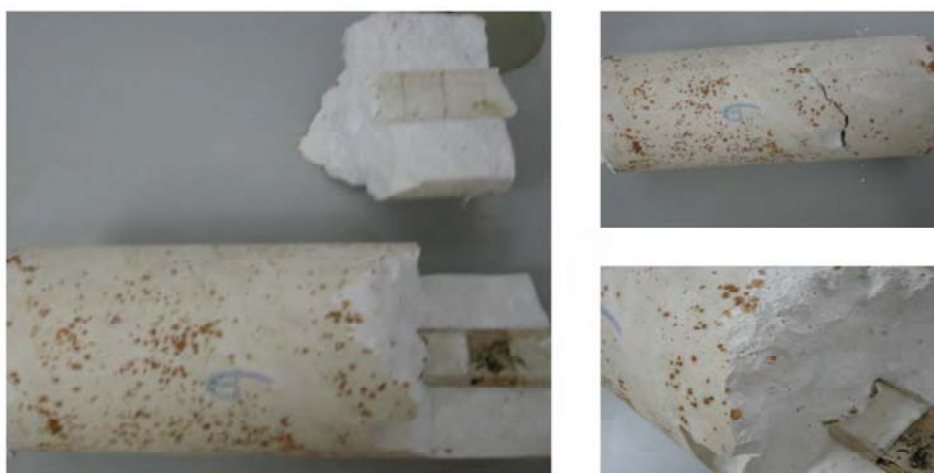


FIGURA 71– Ruptura nos corpos-de-prova com taliscas tratadas com cola epóxi e areia.

5.2.3 Ensaio de flexão em vigas em tamanho real

Na Figura 72 pode-se observar um elemento estrutural de gesso reforçado com bambu, com seção transversal de 10 cm x 10 cm.



FIGURA 72 – Viga de gesso reforçado com bambu carregada com blocos M40.

Analisando-se o projeto arquitetônico do protótipo a ser construído, pôde-se estimar o carregamento na verga mais solicitada (figura 73). Tais carregamentos foram de:

- Peso de sub-bloco de 60cm de altura;
- Peso da cinta de amarração;
- Carregamento da coberta na cinta de amarração.



FIGURA 73 – Carregamento da verga.

A partir do peso do bloco M40, calculou-se o peso por unidade de comprimento do sub-bloco de 60 cm conduzindo a um carregamento distribuído de 0,62 kN/m.

O carregamento provocado pela cinta de amarração foi de 0,245 kN/m. Por fim, considerando o peso da cobertura de 0,4 kN/ m²(para telhas cerâmicas), observou-se que esta provocava um carregamento de 1,04 kN/m. Assim, o carregamento total na viga foi de 1,9 kN/m.

Os carregamentos e gráficos dos momentos fletores podem ser observados na figura 74a e 74b para os vãos de 1m e 1,50 respectivamente.

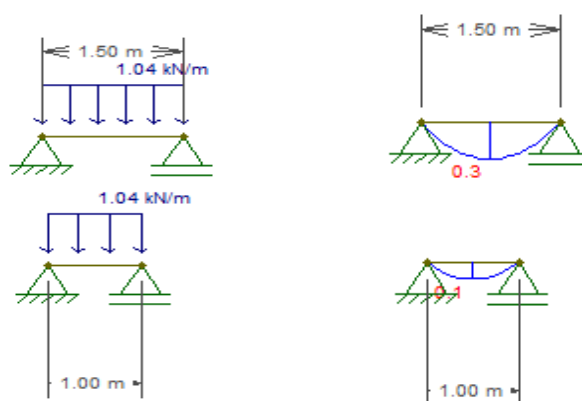


FIGURA 74 – Carregamento de serviço nas vigas com seus respectivos momentos fletores.

A partir do máximo momento foi calculado a tensão de tração máxima, cujos valores foram 0,6 MPa e 1,8 MPa para os vãos de 1m e 1,5 m, respectivamente.

Em laboratório foram ensaiados vergas com bambu tratado com massa plástica e areia, pois a cola epóxi tem um alto custo. Na figura 75 vê-se um ensaio sendo realizado. Foram utilizadas duas cargas centradas para provocar flexão pura na região central do elemento.



FIGURA 75 – Ensaio de flexão estática aplicado à viga de gesso reforçado com bambu.

Pôde-se fazer uma correlação entre o ensaio experimental e o carregamento equivalente uniformemente distribuído que produziria o mesmo momento, conforme a figura 76.

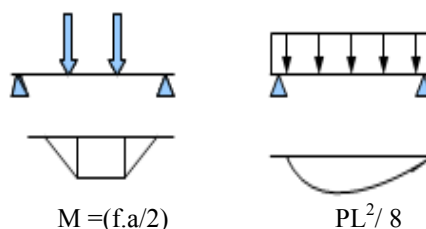


FIGURA 76 – Carregamento Equivalente

Igualando-se os momentos, tem-se:

$$M = (F/2) * a = (P*L^2)/8 \quad (\text{equação 5.1})$$

Dessa forma obtém-se o carregamento uniformemente distribuído equivalente à carga do ensaio.

A verga desenvolvida suporta com segurança as cargas de serviço, como pode ser verificado na tabela 6.

TABELA 7- Comparativo da carga de serviço com a carga experimental

Verga	L(m)	a(m)	Fexp(kN)	P eq(kn/m)	Pserv (kN)	Pserv/Peq
1	1,0	0,275	10,4	11,42	1,04	10,98
2	1,50	0.525	3,82	3,2	1,04	3,07

A verga desenvolvida suporta com segurança as cargas de serviço, como pode ser verificado na tabela 6, pois o elemento estrutural com o maior vão existente suportou a carga de serviço com um coeficiente de segurança de 3,07, enquanto que a com vão de 1m esse coeficiente chegou à 10,98.

5.3 Considerações sobre o capítulo 5.

Após a realização das análises realizadas nos capítulos 3 e 4, dos materiais que compuseram o compósito desenvolvido o capítulo 5 analisou-se a funcionalidade deste como elemento estrutural.

A proposta do desenvolvimento do elemento estrutural ideal considerando os testes mecânicos e de durabilidade realizados neste trabalho, é composto por uma matriz de gesso com relação $A/G = 0,3$, e taliscas de bambu tratadas com extrato vegetal B carbon, e em seguida aplicado a camada superficial de cola epóxi. Considerando os custo do elemento propõe-se adicionar areia à pasta de gesso, comprometendo um pouco a resistência mecânica.

CAPITULO 6

CONCLUSÕES

Neste trabalho procurou-se aumentar os conhecimentos a respeito do gesso como material de construção e propor novos usos para este aglomerante.

A partir dos resultados obtidos pôde-se concluir que:

- É possível obterem-se resistências relativamente altas para peças de gesso desde que reduza a relação água/gesso.
- Para se chegar à relação água/gesso de 0,30 é necessário o uso de aditivo superplastificante, com o que é possível atingir-se resistência à compressão da ordem de 15 MPa.
- O uso de vibração na moldagem de peças com baixa relação água/gesso é de fundamental importância para preencher adequadamente os moldes.
- O superplastificante aumentou a trabalhabilidade, porém retardou também o tempo de pega.
- É possível incorporar na matriz de gesso outros materiais como a areia.
- Substituindo-se 20% da massa de gesso por areia a resistência mecânica é pouco alterada conduzindo a um material mais trabalhável.
- A susceptibilidade à ação da água pode ser reduzida através de tratamentos adequados.
- Aplicação de duas demãos de resina de mamona no gesso minimiza sua absorção de água por parte do gesso.
- O banho de cal reduziu parcialmente a absorção. Provavelmente um número maior de imersões na água de cal diminua a permeabilidade superficial do gesso.
- É necessário reduzir a absorção de água pelo bambu para, em consequência, diminuir suas variações dimensionais após o contato com a água da pasta de gesso.
- Dos tratamentos testados o creosoto foi o que apresentou melhor desempenho

reduzindo em aproximadamente 80% a absorção de água. Este produto também ajuda a proteger o bambu do ataque de insetos *Dinoderus minutus*.

- Só os tratamentos de redução de absorção não são suficientes para promover uma boa aderência gesso-bambu.
- Para melhorar a aderência gesso-bambu, o melhor tratamento dos que foram testados corresponde àquele com cola epóxi impregnado com areia, porém o inconveniente do custo elevado.
- Para superar este fato, o que parece ser racional é um tratamento para redução da absorção com o creosoto, acompanhado de um outro produto que melhore a aderência, a menor preço, como a massa plástica.
- Vergas pré-fabricadas de gesso reforçadas com bambu pesam menos 70% de uma equivalente de concreto armado.
- Vergas com seção transversal de 10 cm x 10 cm são capazes de suportar com segurança as cargas de utilização do protótipo de gesso construído no campus universitário.
- A aplicação das vergas de gesso no protótipo foi simples e seu comportamento está sendo adequado sem deformações visíveis.

SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

Dando continuidade a este trabalho são sugeridos aspectos que merecem ser aprofundados:

- Alterações causadas por diferentes aditivos na reação de hidratação do gesso.
- Desenvolvimento de equipamentos para moldagem das peças de gesso.
- Durabilidade dos compósitos com ciclos de molhamento e secagem.
- Novos tratamentos superficiais para reduzir a degradação do compósito pela ação da água.
- Desenvolvimento de peças de gesso moldadas sob pressão.
- Desenvolvimento de tratamentos para melhorar a aderência bambu-gesso e que tenham a mesma ou melhor eficiência do que a cola epóxi, porém cujo custo seja inferior.
- Desenvolvimento de elementos estruturais de maior porte de gesso reforçados com bambu.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. NBR 13279. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. Gesso para Construção Civil – Especificação. NBR 13207. Rio de Janeiro, 1994.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. Gesso para Construção Civil – Determinação das propriedades físicas do pó. NBR 12127. Rio de Janeiro, 1991

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. - Gesso para construção civil: determinação das propriedades físicas da pasta. NBR 12128. Rio de Janeiro, 1991.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. Gesso para Construção Civil – Determinação das propriedades mecânicas. NBR 12129. Rio de Janeiro, 1991

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. Cal hidratada para argamassas. NBR 7175. Rio de Janeiro, 1992.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. - Resíduos Sólidos- Classificação. NBR 10004. Rio de Janeiro, 2004.

- AMICO, S. C.; COSTA, T. H. S.; CARRERA, L. C.; SANTANA, W.; GALVÃO, D. A. Caracterização de fibras de sisal da região nordeste do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA MECÂNICA, 16, Brasil, 2001. *Proceeding Materials Science*, Vol. 2, p. 34-40.
- ANTUNES, R. P. N., 1999, *Estudo da influência da cal hidratada nas pastas de gesso*. Dissertação de M.Sc., Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 145p.
- AZZINI, A.; e BERALDO. A. L. Métodos práticos para utilização do bambu. Gráfica da Unicamp,. Campinas,SP, 14.pp, 2001.
- AZIZI, M.A.S., SAMIR, S.; ALLOIN, F.; SANCHES, J.Y.; DUFRESNE, A. *Polymer*, v. 45, p. 4149, 2004.
- BALEY, C.; BUSNEL, F.; GROHENS, Y.; SIRE, O. Influence of chemical treatments on surface properties and adhesion of flax fibre–polyester resin. *Composites: Part A; Applied Science and Manufacturing*, 2005.
- BALTAR, C. A. M., BASTOS, F. F., LUZ, A. B., 2005, *Gipsita* - CT2005-122-00 Comunicação Técnica elaborada para edição do livro *Rochas □ Minerais Industriais: Uso e Especificações*, pp. 449-470, CETEM, Rio de Janeiro.
- BARBOSA, J. C. – Utilização do bambu na produção de habitação de interesse social. 160p. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Arquitetura, Universidade de São Paulo – São Carlos, SP, 1997.
- BRASIL, Ministerio de Minas e Energia, DNPM – Departamento Nacional de Producao Mineral. *Gipsita. Anuario Mineral Brasileiro* – 2008.

- CANUT, M.M.C. Estudo da viabilidade do uso do resíduo fosfogesso como material de construção. 2006. Dissertacao (Mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006. 154p.
- CINCOTTO, M. A., AGOPYAN, V., FLORINDO M. C., 1988, “O gesso como material de construção. Parte I - Tecnologia de Edificações”, São Paulo, IPT-PINI, pp. 53-56.
- CLIFTON, J.R. Some aspects of the setting and hardening of gypsum plaster. Technical Note, 755, National Bureal of Standers. 1973.
- CLIFTON, J.R-some aspects of de seting and ardening of gypsum plaster. Gaintersburg, MD, National Bureal of Standers, 1973.
- COSTES, J. Manula del yesero del etucador Barcelona, Editores Técnicos Associados, 1966.
- COWAN, H. J. The master builders : a history of structural and environmental design from ancient Egypt to the nineteenth century.2 ed. Malabar, John Wiley & Sons, 1985.
- COWAN, R., 1963, “Pulse method of measuring thermal diffusivity at high temperatures”, *Journal Applied Physics*, v. 34, pp. 926-927.
- DNPM – Departamento Nacional da Produção Mineral. Sumário Mineral. Gipsita. 80-81, 2003.
- FERREIRA G.C. Vigas de Concreto armadas com bambu – Dissertação de mestrado- Universidade Federal de Campinas – 2002 – 143 p.
- FILHO, A. C. B. Bambu: generalidades e seu emprego como reforço em vigas de concreto. 2004. Dissertação - Mestrado em Engenharia Agrícola - Universidade Federal de

Campina Grande, Campina Grande, 2004.

GASSAN, J.; BLEDZKI, A.K. Composites reinforced with cellulose based fibres. Progress in Polymer Science, v. 24, p. 221 – 274, 1999.

GHAVAMI K.; MARINHO, A. B. Propriedades físicas e mecânicas do colmo inteiro do bambu da especie *Guadua angustifolia*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.9, n.1, 2005. p.107-114.

GHAVAMI, K. AND HOMBEECK, R.V. Application of Bamboo as a Construction Material: Part I - Mechanical properties and Water-Repellent Treatment of Bamboo; Part II -Bamboo Reinforced Concrete Beam. In: Proceedings of the Latin America Symposium on Rational Organization of Building Applied to Low Cost Housing, IPT CIB, 1981, São Paulo. pp. 49- 66.

HINCAPIÉ, A. M., CINCOTTO, M. A., 1997, “Efeito dos retardadores de pega no mecanismo de hidratação e na microestrutura do gesso de construção”, *Revista Ambiente Construído*, v. 1, n. 2, pp. 07-16.

HINCAPIÉ, A. M., CINCOTTO, M. A., 1997, “Efeito dos retardadores de pega no mecanismo de hidratação e na microestrutura do gesso de construção”, *Revista Ambiente Construído*, v. 1, n. 2, pp. 07-16.

INTERNATIONAL NETWORK FOR BAMBOO AND RATTAN – INBAR. 2005. Bambu. Disponível em<<http://www.inbar.int>> Acesso em 26 ago.2009.

JORGENSEN, D.B. Gypsum and anhydrite. In.: Industrial Minerals and Rocks, 6th edition. Carr, D. D. (Editor). Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. Littleton, Colorado (1994).

- KARNI, J.; KARNI, E. Gypsum in construction: origin and properties. *Materials and structure*, n. 28, p. 92-100, 1995.
- KEBEL, H.L. Construction Uses: Gypsum Plasters and Wallboards. In.: *Industrial Minerals and Rocks*, 6th edition. Carr, D. D. (Editor). Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. Littleton, Colorado - *Journal of Applied Chemistry and Metallurgy*, v.27, p.125-136, 1977. (1994).
- KURUVILLA, J.; TOLEDO FILHO, R.D.; BEENA, J.; SABU, T. & CARVALHO, L.H.; A Review on Sisal Fibre Reinforced Polymer Composites; *Revista Bras. Eng. Amb.*, v.3, n.3, p. 367-379, 1999.
- LEWRY, A. J., WILLIAMSON, J., 1994a, "The setting of gypsum plaster - Part I - The hydration of calcium sulphate hemihydrate", *Journal of Material Science*, n. 29, pp. 5279-84.
- LUDWING, U., SINGH, N., 1978, "Hydration of hemihydrate of gypsum and its supersaturation", *Cement and Concrete Research*, v. 18, pp. 219-300.
- LUZ, A.B.; BALTAR, C.A.M.; FREITAS, E.J.G. de; SILVA, A.P. da - Gesso – Mineração São Jorge. In.: *Usinas de Beneficiamento de Minérios do Brasil*, SAMPAIO, J.A.; LUZ, A.B.; e LINS, F. F., CETEM-MCT, Rio de Janeiro, 2001, 240-249.
- MARTINESI, R. A; GHAVAMI, K. Alguns aspectos na utilização do bambu como material de construção. 1985. 48p. Relatório interno (Engenharia Civil)- Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1985.
- MARQUES, L. M. L. *Co-processamento de resíduos industriais em fornos de clínquer - Aspectos do desempenho ambiental associados aos metais pesados*. Florianópolis, 2000. 122 f. Dissertação (Mestrado em Eng. Ambiental) – Departamento de

Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina.

MEHTA,P.K;MONTEIRO,P.J.M. Concreto: estrutura, propriedades e materiais. São Paulo: Pini, 1994.

MINC, C. Prefácio. In:GRIPPI, S. *Lixo, reciclagem e sua história: Guia para as prefeituras brasileiras*. Rio de Janeiro: Interciência, 2001. p. xiii – xiv.

MURAT, M., PUSZTASZERI, L., GREMION, M., 1979, “A preliminary survey of the correlation between the crystalline structure and hardened gypsum plasters”, *Materials and Building Research*, v. 1, pp. 264-271.

MURAT, M., PUSZTASZERI, L., GREMION, M., 1979, “A preliminary survey of the correlation between the crystalline structure and hardened gypsum plasters”, *Materials and Building Research*, v. 1, pp. 264-271.

NOLHIER, M., 1986, *Contruire en plâtre*. Paris, L’Harmattan

NORTON, F. H. *Introdução à tecnologia cerâmica*. Tradução de Jefferson Vieira de Souza. São Paulo: Edgard Blücher, 1973.

OLIVEIRA, MARILIA PEREIRA, Materiais Compósitos à Base de Gesso Contendo EVA (Etileno Acetato de Vinila) e Vermiculita: Otimização de Misturas e Propriedades Termomecânicas - Tese de Doutorado - Universidade Federal da Paraíba , João Pessoa 2009.

PERES, L., BENACHOUR, M., SANTOS, W. A., 2001, *O Gesso: Produção e Utilização na Construção Civil*. Edições Bagaço. 15p. Recife.

PERES, L., BENACHOUR, M., SANTOS, W. A., 2001, *O Gesso: Produção e Utilização na*

Construção Civil. Edições Bagaço. 15p. Recife.

PERES, L.; BENACHOUR, M.; SANTOS, V.A. dos - O Gesso: Produção e Utilização na Construção Civil. Recife: Editora Bagaço, 2001, 156 p.

RAJ, VIJAY. Treatise on Utilization of Bamboo as Reinforcement in Ferrocement. *Jornal o Ferrocement*: Vol 21, N 4, October 1991, pp371- 381.

RIVERO. L.A. Laminado colado e contraplacado de bambu - Dissertação de mestrado – Universidade Estadual de Campinas – 2003 – 85 p

RODRIGUES, CRITHIANE CAVALCANTE. Desenvolvimento de um sistema construtivo modular com blocos de gesso / Dissertação - Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental- Universidade Federal da Paraíba- João Pessoa, 2008.

ROSA, F. G. *Estudo da viabilidade de obtenção de placas cerâmicas para revestimentos a partir de resíduos sólidos industriais e minerais*. Florianópolis, 2002. 74 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina.

RÖSSLER, M., OLDER, I., 1989, “Relationships between pore structure and strength of set gypsum pastes Part I: Influence of water/gypsum ratio and temperature”, *Zement-Kalks-Gips*, n. 2, pp. 96-100.

SANCHEZ CRUZ, M. L. Caracterização física e mecânica de colmos inteiros do bambu\ da espécie *Phyllostachys aurea*: Comportamento à flambagem . 2002. 114 p.- Dissertacao de Mestrado em Engenharia Civil-Pontificia Universidade Catolica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002

SINGH, N. B., MIDDENDORF, B., 2007, “Calcium sulphate hemihydrate hydration leading to gypsum crystallization”, *Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials*, n. 53, pp. 57-77.

SOBRINHO, A. C. L., AMARAL, A. J. R., DANTAS, J. O. C., DNPM/PE, 2008, *Gipsita*. Disponível em: www.dnpm.gov.br/assets/galeriadocumento/sumariomineral2008/gipsita.pdf. Acesso em: junho de 2009.

SOBRINHO, A. C. L., AMARAL, A. J. R., DANTAS, J. O. C., *et al.* *Gipsita*. Disponível em: www.dnpm.gov.br/assets/galeriadocumento/balancomineral2001/gipsita.pdf. Acesso em abril de 2009.

STAROSTA, P.; CROUZET, Y. Bambus.Italia, EVERGREEN, 1998.

U.S Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, January 2008. Acessado HTTP://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2008/mcs2008.pdf (consultado em 20/10/2008)

VELHO, J.; GOMES, C.; ROMARIZ, C. Minerais Industriais. Universidade de Aveiro, 591p.(1998).

U.S Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, January 2008. Acessado

HTTP://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2008/mcs2008.pdf (consultado em 20/10/2008)
