



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UnB
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO - FAU
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO – PPG/FAU
MESTRADO EM ARQUITETURA E URBANISMO

**ESTUDO DE FIBRAS VEGETAIS, MUCILAGEM DE CACTO E
GESSO EM COMPONENTES CONSTRUTIVOS**

ANA CRISTINA TINÔCO VERÇOSA DE MAGALHÃES

Brasília/DF
Maio de 2009



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UnB
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO - FAU
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO – PPG/FAU
MESTRADO EM ARQUITETURA E URBANISMO

**ESTUDO DE FIBRAS VEGETAIS, MUCILAGEM DE CACTO E
GESSO EM COMPONENTES CONSTRUTIVOS**

ANA CRISTINA TINÔCO VERÇOSA DE MAGALHÃES

ORIENTADOR: PROF. DR. JAIME GONÇALVES DE ALMEIDA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ARQUITETURA E URBANISMO, ÁREA DE TECNOLOGIA

Brasília/DF
Maio de 2009

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO - FAU
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO – PPG/FAU
MESTRADO EM ARQUITETURA E URBANISMO

**ESTUDO DE FIBRAS VEGETAIS, MUCILAGEM DE CACTO E
GESSO EM COMPONENTES CONSTRUTIVOS**

ANA CRISTINA TINÔCO VERÇOSA DE MAGALHÃES

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós Graduação/Curso de Mestrado da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, como parte integrante dos requisitos necessários à obtenção do Grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo, área de concentração em Tecnologia.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Jaime Gonçalves de Almeida
Presidente da Banca (FAU / UnB)

Prof. Dr. Notório Saber José Dafico Alves
Membro Externo (EEC – UEG / UCG)

Dr. Divino Eterno Teixeira
Membro Externo (SFB / MMA)

Brasília - DF, 21 de maio de 2009.

FICHA CATALOGRÁFICA

M188 Magalhães, Ana Cristina Tinôco Verçosa de
Estudo de fibras vegetais, mucilagem de cacto e gesso em componentes construtivos / Ana Cristina Tinôco Verçosa de Magalhães. – Brasília: UnB / Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, 2009.
xvii, 123f. : il.
Orientador: Professor Doutor Jaime Gonçalves de Almeida
Dissertação (mestrado) – Universidade de Brasília. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, 2009.
1. Bambu. 2. Coco. 3. Compósito. 4. Pasta. 5. Sisal. 6. Material de Construção Alternativo – Tese. I. Universidade de Brasília. II. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. III. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. IV. Almeida, Jaime Gonçalves de. V. Título.

CDU: 691

DEDICATÓRIA

Dedico esta Dissertação aos meus pais Albino e Hílman e ao meu filho Rodrigo que sempre me apoiaram e ajudaram na realização deste projeto. Obrigada!

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela vida, pelas oportunidades e pela família que tenho.

Agradeço aos meus pais Albino Verçosa de Magalhães e Hílman Maria Tinôco Verçosa de Magalhães pela vida, pela saúde e pelo amor. Agradeço a veia pesquisadora que recebi de ambos. Agradeço ao meu filho Rodrigo Tinôco Magalhães Cavalcante o apoio, o estímulo e a ajuda neste projeto e a compreensão no tempo dedicado a esta pesquisa.

Agradeço ao Professor Jaime Gonçalves de Almeida pela dedicação e zelo na orientação deste trabalho. Obrigada pelo apoio, incentivo e por acreditar na pesquisa de uma planta tão inusitada. Agradeço as aulas recebidas e os ensinamentos de uma filosofia de vida mais simples e de bom senso.

Agradeço a ajuda recebida do Professor José Dafico Alves nas sugestões, dúvidas esclarecidas, apoio nos ensaios realizados, incentivo e aos e-mails tão prontamente respondidos. Agradeço os esclarecimentos do Professor Andrés Torres-Acosta quanto à utilização do cacto em argamassas e concretos.

Agradeço o apoio de meus irmãos Sérgio e Ricardo e de suas famílias e o apoio recebido dos Tios Getúlio, Paulo, Celina, Ângela e Marlene.

Agradeço à Professora Suely Gonzales pelos ensinamentos de arquitetura, planejamento urbano e de vida, ao longo dos anos, e à Professora Amélia Cavalcante por ensinar a enxergar a beleza da vida nas pequenas atitudes.

Agradeço aos meus antigos chefes de Fiscalização Antônio de Pádua e Paula Cristina que apoiaram desde o princípio a realização deste mestrado, ao atual chefe Pettinate pelo apoio e compreensão e a Edson Anunciação (Gerente de Recursos Humanos do GDF), que providenciou minha licença para esta capacitação. Agradeço também aos colegas da fiscalização que me apoiaram.

Agradeço à Universidade Católica de Goiás e a Sr. José Alves de Freitas, Diretor do Departamento de Engenharia Civil, pela autorização para os ensaios de flexão e, também, a Divino Gabriel Lima Pinheiro, Técnico do Laboratório, pelos ensaios e pela preciosa ajuda.

Agradeço aos Professores Júlio Eustáquio e Mário Rabello e ao técnico João Evangelista Anacleto do Laboratório de Produtos Florestais – LPF pela autorização, disponibilidade e auxílio nos ensaios de absorção.

Agradeço a Sr. Antônio Salgado, da ITAPAGÉ, e a Sr. Geraldo Margella e Sr. Fábio Vidal, da CEPASA, pela atenção e envio das fibras de bambu.

Agradeço à Janete, Luiz, Patrícia Grooscors, Benson Gunyanyi e à amiga *teacher* Clarissa Sivestre Pedro do Instituto Latino Americano de Línguas ILAL.

Agradeço a D. Leonor, amante dos cactos, que me ensinou muito sobre as cactáceas e inclusive a admirar estas plantas tão extraordinárias.

Agradeço, ainda, a Sr. Francisco Catunda e à Sra. Conceição Cruz de Souza que gentilmente doaram os cactos utilizados nesta pesquisa.

Agradeço o apoio e incentivo recebido dos amigos, ao longo desta jornada, de Simone Ávila, Juliane Berber, Prado Catunda, Alda Carvalho, Dominique Cortêz, Serli Nóbrega, Jana Ferrantino, Ana Cláudia Dormann, Vera Meneguzzo, Juan Guillén Salas, Candice e Ferdnando Cavalcanti, Vitória, Talita da Silva Sá, Lauro Silva e Luis Zeferino.

Agradeço a Marlúcia, Eleudo, Denise e Luciana, do Centro de Pesquisa e Aplicação de Bambu e Fibras Naturais – CPAB, pela ajuda nas horas mais urgentes e aos professores de Extensão Luciano, João e Adoniran pelas aulas, ensinamentos e incentivo. Nas análises estatísticas agradeço à Maria Inez Machado T. Walter e à Cora Maria B. de Santana, ambas do DATA-UnB.

Agradeço à Professora de Química Maria José pelos esclarecimentos. Agradeço a Rafael Taveira Oliveira (estudante de química – bacharelado), a Carlos Henrique Silveiro (químico responsável pela FEsQ) e a Teles Moozer (graduando em química – licenciatura). Agradeço a André Luis Cavalcante Técnico responsável da Agência Nacional do Petróleo – ANP.

Agradeço aos funcionários da secretaria da Pós-Graduação da FAU João Borges, Raquel Xavier, Francisco Júnior e Anderson Luis e, também, a Édson Carlos, funcionário da Diretoria de Assuntos Acadêmicos – DAA/FAU.

E por fim, agradeço a oportunidade de estudar na Universidade de Brasília, uma Universidade Pública, Gratuita e de Qualidade.

SUMÁRIO

| | |
|----------------------------------------------------|------|
| LISTA DE FIGURAS | viii |
| LISTA DE TABELAS | xi |
| LISTA DE ABREVIATURAS | xiv |
| RESUMO | xvii |
| ABSTRACT | xvii |
| INTRODUÇÃO | 01 |
| 1 – REVISÃO DE LITERATURA | 07 |
| 1.1 – FIBRAS VEGETAIS..... | 07 |
| 1.1.1 – Fibra de Bambu..... | 13 |
| 1.1.2 – Fibra de Sisal..... | 17 |
| 1.1.3 – Fibra de Coco..... | 22 |
| 1.2 – CACTO..... | 25 |
| 1.2.1 – Cactáceas..... | 26 |
| 1.2.2 – Usos da <i>Opuntia</i> | 28 |
| 1.2.3 – Uso do Cacto na Construção..... | 30 |
| 1.3 – GESSO..... | 37 |
| 1.3.1 – Aspectos Gerais..... | 38 |
| 1.3.2 – Gesso Acartonado..... | 44 |
| 1.3.3 – Reciclagem do Gesso..... | 47 |
| 2 – MATERIAIS E MÉTODOS | 51 |
| 2.1 – CACTOS <i>OPUNTIA</i> E <i>NOPALEA</i> | 51 |
| 2.1.1 – Cacto em Pó (OP, NP e NPN)..... | 53 |
| 2.1.2 – Cacto em Água Natural (OAN e NAN)..... | 54 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------|------------|
| 2.1.3 – Cacto em Água Quente (OAQ e NAQ)..... | 55 |
| 2.1.4 – Cacto em Pó em Água Natural (OPAN, NPAN e NPNAN)..... | 56 |
| 2.2 – GESSO..... | 56 |
| 2.3 – FIBRAS DE BAMBU, DE SISAL E DE COCO..... | 57 |
| 2.4 – PREPARAÇÃO DAS PASTAS E DOS COMPÓSITOS DE GESSO..... | 59 |
| 2.5 – PREPARAÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA..... | 61 |
| 2.6 – ENSAIO DE ABSORÇÃO..... | 62 |
| 2.7 – ENSAIO DE FLEXÃO..... | 63 |
| 2.8 – TESTES ESTATÍSTICOS..... | 64 |
| 3 – RESULTADOS..... | 65 |
| 3.1 – PASTAS DE GESSO..... | 65 |
| 3.1.1 – Testes Estatísticos do Ensaio de Absorção das Pastas..... | 73 |
| 3.1.2 – Testes Estatísticos do Ensaio de Flexão das Pastas..... | 75 |
| 3.2 – COMPÓSITOS DE GESSO..... | 76 |
| 3.2.1 – Testes Estatísticos do Ensaio de Absorção dos compósitos..... | 83 |
| 3.2.2 – Testes Estatísticos do Ensaio de Flexão dos compósitos..... | 86 |
| 4 – ANÁLISE DOS RESULTADOS..... | 89 |
| 4.1 - MUCILAGEM E ABSORÇÃO DE ÁGUA DAS PASTAS..... | 89 |
| 4.2 – RESISTÊNCIA À FLEXÃO DAS PASTAS..... | 94 |
| 4.3 - ABSORÇÃO DE ÁGUA DOS COMPÓSITOS..... | 97 |
| 4.4 - RESISTÊNCIA À FLEXÃO DOS COMPÓSITOS..... | 100 |
| 5 – CONCLUSÕES..... | 102 |
| 6 – RECOMENDAÇÕES..... | 105 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 106 |
| ANEXOS..... | 114 |

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|-----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 01: | Célula individual da fibra vegetal..... | 09 |
| Figura 02: | Fibra: aglomerado de células..... | 10 |
| Figuras 03, 04 e 05: | Colmos de <i>Dendrocalamus asper</i> | 13 |
| Figura 06: | Resultados do ensaio de compressão simples do compósito bambu- cimento..... | 15 |
| Figura 07: | <i>Agave sisalana</i> | 18 |
| Figura 08: | Resistência à Compressão em corpos-de-prova sem fibras e com fibras de sisal com diferentes tratamentos..... | 21 |
| Figura 09: | <i>Cocos nucifera L.</i> | 22 |
| Figura 10: | Brasão de armas do México..... | 25 |
| Figura 11: | Desenho de Tecnochtitlán. Pintura mural localizada no Museu Nacional de Antropologia, México, 1930..... | 25 |
| Figura 12: | Cladódio com frutos e espinhos do gênero <i>Opuntia</i> , espécie não identificada..... | 26 |
| Figura 13: | Cladódio com flores e gloquídeos - <i>Nopalea cochenillifera</i> | 26 |
| Figura 14: | Variações dos níveis de açúcares e de ácido málico em folhas isoladas de <i>Sedum</i> , um típico vegetal suculento..... | 28 |
| Figura 15: | Figo da Índia..... | 29 |
| Figura 16: | Cladódio com cochonilha (<i>Dactylopius coccus</i>), cochonilha seca e moída (no prato)..... | 29 |
| Figura 17: | Vista de Chan-Chan, Peru..... | 30 |
| Figura 18: | Detalhe das ruínas de Chan-Chan..... | 30 |
| Figura 19: | Viscosidade do extrato de cacto..... | 35 |
| Figura 20: | Minerador extraíndo gipsita da bacia do sertão do Araripe, Pernambuco..... | 39 |
| Figura 21: | Curva de hidratação de uma pasta de gesso..... | 42 |
| Figura 22: | Consumo anual de placas de gesso acartonado no Brasil..... | 45 |

| | | |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 23: | Plantação de Cacto <i>Opuntia ficus-indica</i> , em João Pessoa, para alimentação do gado..... | 51 |
| Figura 24: | Cacto <i>Nopalea cochenillifera</i> encontrado na UnB..... | 51 |
| Figura 25: | Raquetes de <i>Opuntia ficus-indica</i> , com dimensões médias de 30 cm de largura por 40 cm de comprimento..... | 53 |
| Figura 26: | Raquetes de <i>Nopalea cochenillifera</i> verdes, com dimensões médias de 15 cm de largura por 25 cm de comprimento..... | 53 |
| Figura 27: | Raquete de <i>Nopalea cochenillifera</i> naturalmente seca, com dimensões de 8 cm de largura por 15 cm de comprimento..... | 53 |
| Figura 28: | Cactos verdes colocados em estufa..... | 54 |
| Figura 29: | Cactos secos antes de serem retirados da estufa..... | 54 |
| Figura 30: | Recipiente contendo água natural com pedaços de cacto após dois dias de repouso..... | 55 |
| Figura 31: | Mucilagem extraída em água natural sendo peneirada..... | 55 |
| Figura 32: | Cacto colocado em panela com água e levado ao fogo..... | 55 |
| Figura 33: | Mucilagem extraída após 30 minutos de fervura dos cactos..... | 55 |
| Figura 34: | Polpa de bambu..... | 58 |
| Figura 35: | Fibra de sisal inteira, em fardo..... | 58 |
| Figura 36: | Fibra de coco limpa e cortada com 2 cm de comprimento, aproximadamente..... | 58 |
| Figura 37: | Mistura homogênea da pasta com mucilagem em gel..... | 60 |
| Figura 38: | Molde para a confecção dos corpos-de-prova: compensado, plástico e madeira envernizada..... | 61 |
| Figura 39: | Prateleiras revestidas por plástico onde foram colocados os corpos-de-prova e diariamente virados para uma cura homogênea..... | 61 |
| Figura 40: | Corpos-de-prova colocados em tanque com água, logo após a imersão..... | 62 |
| Figura 41: | Corpos-de-prova em tanque após alguns minutos..... | 62 |
| Figura 42: | NAN 50 S e fator am/g 0,60..... | 78 |
| Figura 43: | NAN 50 S e fator am/g 0,55..... | 78 |

| | | |
|-----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 44: | NAN 50 C e fator am/g 0,60..... | 78 |
| Figura 45: | NAN 50 C e fator am/g 0,65..... | 78 |
| Figura 46: | Compósito de gesso e fibras de coco, fator a/g de 0,85..... | 80 |
| Figura 47: | Compósito de gesso, superplastificante Glenium 51 e fibras de sisal, fator a/g de 0,40, mistura homogênea..... | 80 |
| Figura 48: | Cacto <i>Opuntia</i> cortado transversalmente..... | 89 |
| Figura 49: | Cacto <i>Nopalea</i> cortado em pequenos fragmentos..... | 89 |
| Figura 50: | Corpo-de-prova com 100% de <i>Nopalea</i> em Água Natural, 1ª extração..... | 90 |
| Figura 51: | Corpo-de-prova com 50% de <i>Nopalea</i> em Água Natural, 2ª extração..... | 90 |
| Figura 52: | Ensaio de flexão em corpo-de-prova do gesso acartonado e sua deformação..... | 96 |
| Figura 53: | Linha de fratura na parte posterior do corpo-de-prova do gesso acartonado..... | 96 |
| Figuras 54 e 55: | Corpo-de-prova da pasta OAQ 50 antes e após ensaio de flexão..... | 96 |
| Figuras 56, 57 e 58: | Compósitos de gesso com fibras de bambu e traço de 1:0,50, traço de 1:0,60 e traço adequado de 1:0,70..... | 98 |
| Figura 59: | Fissura em corpo-de-prova de compósito com fibras de bambu, após ensaio..... | 101 |
| Figura 60: | Corpo-de-prova de compósito com fibras de bambu quebrado por força manual..... | 101 |
| Figura 61: | Corpo-de-prova de compósito com fibras de sisal, aumento da trinca por força manual, após ensaio..... | 101 |
| Figura 62: | Corpo-de-prova de compósito com fibra de coco, após ensaio de flexão, a fissura foi aumentada por força manual..... | 101 |
| Figura 63: | Corpo-de-prova de compósito com fibras de sisal, quebrada em duas partes, por força manual..... | 101 |

LISTA DE TABELAS

| | | |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 01: | Características físicas e mecânicas de fibras vegetais, amianto e polipropileno..... | 09 |
| Tabela 02: | Propriedades da estrutura de fibras vegetais..... | 10 |
| Tabela 03: | Resistência à compressão em corpos-de-prova cilíndricos, resistência à flexão em vigas de fibro-cimento e absorção de água em compósitos com 5% de volume de fibras e fator a/c de 0,43..... | 19 |
| Tabela 04: | Ensaio de flexão em telhas de argamassa, argamassa com arame e argamassa com sisal ou coco..... | 23 |
| Tabela 05: | Consistência, massa unitária da pasta e resistência à flexão/compressão em amostras com 0% de extrato de cacto (R), amostras com 50% de extrato de cacto (R50) e amostras com 100% de extrato de cacto (R100)..... | 31 |
| Tabela 06: | Teste de congelamento e descongelamento de amostras com 0% de extrato de cacto (R), amostras com 50% de extrato de cacto (R50) e amostras com 100% de extrato de cacto (R100) colocadas em solução saturada de Cloreto de Sódio..... | 32 |
| Tabela 07: | Resistência à compressão simples em corpos-de-prova cúbicos de 50 x 50 x 50 mm..... | 33 |
| Tabela 08: | Média da massa unitária do gesso, a partir de três medições, NBR 12127/91..... | 65 |
| Tabela 09: | Massa resultante dos cactos <i>Opuntia</i> e <i>Nopalea</i> coados após 30 minutos em água quente e após dois dias de repouso em água natural..... | 65 |
| Tabela 10: | Peso inicial e final dos cactos colocados em estufa, durante 36 horas à 100°C..... | 65 |
| Tabela 11: | Quantidade de material utilizado nas pastas contendo mucilagem em gel..... | 67 |
| Tabela 12: | Quantidade de material utilizado nas pastas contendo cacto em pó..... | 67 |

| | | |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 13: | Quantidade de material utilizado nas pastas controle e com impermeabilizante..... | 67 |
| Tabela 14: | Massa unitária de cada tipo de pasta misturada..... | 68 |
| Tabela 15: | Média da Absorção de Água dos corpos-de-prova com 14 dias de moldagem..... | 69 |
| Tabela 16: | Quantidade de material utilizado nas pastas de gesso com 50% de impermeabilizante, gesso com superplastificante e gesso com mucilagem em gel (2ª extração)..... | 70 |
| Tabela 17: | Massa unitária das pastas de gesso com impermeabilizante, superplastificante e mucilagem em gel (2ª extração)..... | 71 |
| Tabela 18: | Média da Absorção de Água dos corpos-de-prova das pastas de gesso contendo 50% de impermeabilizante, superplastificante e mucilagem em gel (2ª extração)..... | 71 |
| Tabela 19: | Média da Resistência à Flexão dos corpos-de-prova das pastas de gesso..... | 72 |
| Tabela 20: | Resultado estatístico da Absorção de Água (%) dos corpos-de-prova moldados com pastas de gesso, utilizando o teste SNK..... | 74 |
| Tabela 21: | Resultado estatístico da Resistência à Flexão (MPa) dos corpos-de-prova moldados com pastas de gesso, utilizando o teste SNK..... | 75 |
| Tabela 22: | Massa do cacto <i>Nopalea</i> coado após dois dias de repouso em água natural..... | 76 |
| Tabela 23: | Peso inicial e final do cacto colocado em estufa, durante 36 horas à 100°C..... | 77 |
| Tabela 24: | Quantidade de material utilizado nos compósitos contendo mucilagem em gel..... | 77 |
| Tabela 25: | Quantidade de material utilizado nos compósitos contendo cacto em pó (estufa)..... | 79 |
| Tabela 26: | Quantidade de material utilizado no compósito controle e no compósito com adição de superplastificante Glenium 51..... | 79 |
| Tabela 27: | Massa unitária das pasta preparadas para os compósitos..... | 80 |
| Tabela 28: | Média da Absorção de Água dos corpos-de-prova dos compósitos..... | 81 |

| | | |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 29: | Média da Resistência à Flexão dos corpos-de-prova dos compósitos..... | 82 |
| Tabela 30: | Resultado estatístico da Absorção de Água (%) dos corpos-de-prova dos compósitos, utilizando o teste SNK..... | 84 |
| Tabela 31: | Resultado estatístico da Absorção de Água (%) dos corpos-de-prova dos compósitos com fibras de bambu, utilizando o teste SNK..... | 84 |
| Tabela 32: | Resultado estatístico da Absorção de Água (%) dos corpos-de-prova dos compósitos com fibras de sisal, utilizando o teste SNK..... | 85 |
| Tabela 33: | Resultado estatístico da Absorção de Água (%) dos corpos-de-prova dos compósitos com fibras de coco, utilizando o teste SNK..... | 85 |
| Tabela 34: | Resultado estatístico da Resistência à Flexão (MPa) dos corpos-de-prova dos compósitos, utilizando o teste SNK..... | 87 |
| Tabela 35: | Resultado estatístico da Resistência à Flexão (MPa) dos corpos-de-prova dos compósitos com fibras de bambu, utilizando o teste SNK..... | 87 |
| Tabela 36: | Resultado estatístico da Resistência à Flexão (MPa) dos corpos-de-prova dos compósitos com fibras de sisal, utilizando o teste SNK..... | 88 |
| Tabela 37: | Resultado estatístico da Resistência à Flexão (MPa) dos corpos-de-prova dos compósitos com fibras de coco, utilizando o teste SNK..... | 88 |

LISTA DE ABREVIATURAS

a.C. – antes de Cristo

a/g – quantidade de água sobre o peso do gesso

am/g – quantidade de água e mucilagem sobre o peso do gesso

ANOVA – Análise de Variância

B – Fibra de Bambu

BID – Banco Interamericano de Desenvolvimento

C – Fibra de Coco

CAF – Concreto Armado com Fibras

CAM – Crassulacean Acid Metabolism

CEPASA – Celulose e Papel Pernambuco

CEPED – Centro de Pesquisas e Desenvolvimento

cm - centímetro

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

CPs – Corpos-de-Prova

CP II E 32 – Cimento Portland Composto com Escória de Alto Forno

CP II F 32 – Cimento Portland com adição de Filler Calcário

CP V ARI – Cimento Portland de Alta Resistência Inicial

dm³ - decímetro cúbico

G - Gesso

GB – Gesso e fibra de bambu

GC – Gesso controle

GCc – Gesso e fibra de coco

g/cm³ - grama por centímetro cúbico

g/dm³ - grama por decímetro cúbico

GI 10 - Gesso com 10% da água de amassamento de impermeabilizante.

GI 50 – Gesso com 50% da água de amassamento de impermeabilizante

GP – Gesso superplastificante

GPa – Giga Pascal

GPB – Gesso, superplastificante e bambu

GPC – Gesso, superplastificante e coco

GPS – Gesso, superplastificante e sisal

GS – Gesso e fibra de sisal

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

kg/dm³ - Quilograma por decímetro cúbico

kgf/cm² - Quilogramas-força por centímetro quadrado

kg/m³ - Quilograma por metro cúbico

LPF – Laboratório de Produtos Florestais

mL - mililitro

mm - milímetro

MMA – Ministério do Meio Ambiente

MPa – Mega Pascal

N – Newton

NAN – *Nopalea* em Água Natural

NAN 2 - *Nopalea* em Água Natural, segunda extração

NAQ – *Nopalea* em Água Quente

NBR – Norma Brasileira

NP – *Nopalea* em Pó (estufa)

NPN – *Nopalea* em Pó Natural

NPAN – *Nopalea* em Pó Natural em Água Natural

N/mm² - Newton por milímetro quadrado

OAN - *Opuntia* em Água Natural

OAQ – *Opuntia* em Água Quente

ONU – Organização das Nações Unidas

OP – *Opuntia* em Pó (estufa)

pH – Potencial Hidrogeniônico

PNAD – Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios

PNSB – Pesquisa Nacional de Saneamento Básico

PNUD – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento

RU – Placa de gesso acartonado Resistente à Umidade

S – Fibra de Sisal

SFB – Serviço Florestal Brasileiro

SNK – Student Newman Keuls

t - tonelada

UnB – Universidade de Brasília

Unicamp – Universidade Estadual de Campinas

USP – Universidade de São Paulo

μm - Micrômetro

θ - Teta

RESUMO

Neste trabalho, foram estudados três diferentes materiais: fibras vegetais (fibras de bambu, de sisal e de coco), gesso e mucilagem dos cactos *Opuntia ficus-indica* e *Nopalea cochenillifera*. A mucilagem do cacto *Nopalea* possui propriedades aditivas tal como o cacto *Opuntia*. A mucilagem adicionada às pastas de gesso possibilitou a redução do traço e aumento do tempo de pega, permitindo a elaboração de uma pasta consistente e, nos corpos-de-prova elaborados com estas misturas, os melhores resultados nos ensaios de absorção e flexão. Nos compósitos de gesso com fibras vegetais, os melhores resultados nos citados ensaios foram obtidos nos compósitos com adição de superplastificante, em todas as fibras pesquisadas. Nos resultados encontrados foram aplicados os testes estatísticos ANOVA e SNK.

Palavras-Chave: Bambu, Coco, Compósito, Material de Construção Alternativo, Pasta e Sisal.

ABSTRACT

In this work, three distinct materials were analyzed: vegetal fibers (bamboo, sisal and coconut fibers), plaster and cactuses mucilage of *Opuntia ficus-indica* and *Nopalea cochenillifera*. The mucilage of the *Nopalea* cactus has additive properties as well as the *Opuntia*'s cactus mucilage. When added to plaster, mucilage provided trace reduction and improvement in hardening time, allowing the elaboration of a consistent paste and, in the test samples produced with this mixtures, the best results in the absorption and flexibility tests. As for the plaster with vegetal fibers compounds, the optimal results during the mentioned essays were obtained in the compounds with super-plastifier added, in all fibers that were studied. Statistical tests ANOVA and SNK were applied on the results.

Keywords: Bamboo, Coconut, Composite, Alternative Building Material, Paste and Sisal.

INTRODUÇÃO

O ser humano utiliza os recursos que a natureza disponibiliza, transformando-os segundo as suas necessidades. Entretanto, o homem tem explorado esses recursos de forma predatória e provocado alterações na natureza. A poluição do ar e da água, o aquecimento global, diminuição de florestas, extinção da flora e da fauna, dentre outros nos têm indicado que o modo de vida do homem precisa ser revisto. A reação da natureza ao desgaste ambiental provocado pelo homem mostra uma urgente revisão de suas atitudes e a conscientização dos danos que ainda são reversíveis ao planeta.

Segundo a ONU – Organização das Nações Unidas (2007), a partir de 2008, metade da população mundial será urbana. No Brasil, segundo o censo realizado pelo IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2000), 81,20% da população vivem em área urbana e 18,80% em área rural. Tal adensamento populacional demanda maior número de habitações e mais infra-estrutura nas cidades. O estudo realizado pela Fundação João Pinheiro (2006), baseado nos dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios - PNAD 2005, em parceria com o Ministério das Cidades, o Banco Interamericano de Desenvolvimento - BID e o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento – PNUD - estimou o déficit habitacional brasileiro em 7,9 milhões de domicílios. E deste déficit, 90,3% referem-se à população com renda média familiar mensal de até três salários mínimos.

A grande concentração de pessoas nas cidades também demanda mais oportunidades de emprego, e a construção civil é uma atividade que possibilita o desenvolvimento econômico e social, porém é consumidora de matéria-prima e geradora de resíduos, ocasionando impactos ambientais. O volume de entulho gerado pela construção civil é de difícil mensuração, porém baseado no trabalho de Pinto (2005), o município de São Paulo gerou em torno de 55% dos resíduos sólidos urbanos. Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - PNSB – (2000), realizado pelo IBGE, o Brasil produzia 228.413 toneladas de lixo diariamente. Desses resíduos, 36,18% foram

depositados em aterros sanitários, 37% em aterros não adequados e 21,15% em lixões, gerando grandes problemas ao meio ambiente.

A quantidade de entulho gerada pela construção civil tem impulsionado diversas pesquisas para o seu reaproveitamento e o desenvolvimento de materiais alternativos, como a utilização de fibras vegetais indica que os profissionais relacionados a este setor estão cada vez mais preocupados com o problema ambiental.

As fibras vegetais são um material sustentável e proveniente de plantas nativas de diferentes zonas climáticas, que, quando adicionadas em componentes construtivos, favorecem a leveza do material, permitem baixo custo em sua produção, além de melhorar as propriedades mecânicas destes componentes, principalmente a resistência ao impacto. O estudo destas fibras constitui, também, uma alternativa à substituição das fibras de amianto (fibra mineral), que devido aos problemas de saúde causados pela sua extração e manuseio (asbestose), teve sua proibição decretada em alguns países.

Dentre as fibras vegetais pesquisadas, destacam-se as fibras de bambu, de sisal e de coco, incorporadas em pastas e argamassas de cimento, gesso ou cal, formando compósitos. Os compósitos são elaborados por dois tipos de materiais: a matriz, que confere estrutura, e o reforço, que aumenta suas propriedades mecânicas. O objetivo principal em ser produzido um compósito é o de combinar diferentes materiais para produzir um componente com propriedades superiores aos dos materiais isolados.

Nos compósitos à base de cimento e com fibras vegetais, foi verificada, por pesquisadores, a decomposição dessas fibras devido ao meio alcalino provocado pela pasta de cimento, diminuindo a resistência do material com o tempo. Neste trabalho, é proposta a utilização do gesso, que possui pH neutro.

O gesso é produzido através da calcinação e desidratação do mineral gipsita, em temperaturas relativamente baixas (140°C - 150°C), liberando água na atmosfera. Com estas características, o gesso é um aglomerante menos agressivo ao meio ambiente, se comparado à fabricação do cimento, que além de exigir altas temperaturas para sua produção (1.400°C

a 2.000°C), libera grande quantidade de gás carbônico na atmosfera devido à combustão necessária para sua calcinação e à descarbonatação da sua matéria-prima. Além disso, o gesso apresenta excelente resistência ao fogo, devido à sua decomposição a baixas temperaturas e contribui para o equilíbrio da umidade relativa do ar em ambientes fechados, devido à facilidade de sua absorção de água.

No Brasil, a maior utilização do gesso é em forros, revestimentos e em paredes divisórias (placas), chamadas de gesso acartonado. O consumo das placas de gesso acartonado tem aumentado devido à facilidade e rapidez em sua instalação, e são constituídas por um núcleo de gesso recoberto nos dois lados por papel do tipo *Kraft*, que propicia estabilidade aos painéis.

A principal desvantagem do gesso é sua dissolução em água, devendo ser evitado seu contato, ou adicionado à ele aditivos, impermeabilizantes ou hidrofugantes como é o caso do gesso acartonado resistente à umidade. Desta forma, neste trabalho, é proposta a adição de um impermeabilizante natural, encontrado no cacto *Opuntia ficus-indica*.

O cacto *Opuntia ficus-indica* possui internamente um gel, uma substância viscosa, chamada de mucilagem. Essa mucilagem permite à planta reter internamente água, aumentando sua resistência às altas temperaturas. O cultivo do cacto é pouco exigente quanto ao tipo de solo e à quantidade de água disponível, como as regiões áridas ou semi-áridas. No nordeste brasileiro, o plantio de *Opuntia* ou palma forrageira serve como alimento de animais bovinos e caprinos.

A mucilagem pode ser adicionada em pastas e argamassas de gesso, cal ou cimento, melhorando a resistência desses materiais em função de suas propriedades aditivas (impermeabilidade e aumento da resistência mecânica). A mucilagem também aumenta sua trabalhabilidade, permitindo a diminuição da quantidade de água na mistura, o que poderia favorecer os compósitos com fibras vegetais, visto que as fibras são higroscópicas (absorvem água) e o aumento desta água resulta em componentes mais frágeis. Outro aspecto favorável está no fato da mucilagem ser uma substância orgânica, natural e de baixo custo.

Em Brasília, região desta pesquisa, é facilmente encontrado outro tipo de cacto, *Nopalea cochenillifera*, que apresenta internamente um gel semelhante à mucilagem encontrada no cacto *Opuntia*, e, por esta razão, foi realizada comparação entre ambos os cactos quanto às suas propriedades.

Nesta dissertação, foram identificadas duas formas diferentes de adição da mucilagem de cacto nas pastas de gesso: em forma de gel e em pó. Diante disto, inicialmente foram elaboradas pastas de gesso com estas mucilagens, e posteriormente, foram elaborados compósitos de gesso com mucilagens e fibras vegetais (fibras de bambu, de sisal e de coco). Também foram elaboradas pastas e compósitos de gesso controle, com apenas água, e com adição de impermeabilizante ou superplastificante. Em todas as misturas foram moldados corpos-de-prova, que foram submetidos aos ensaios de absorção e flexão.

O objetivo principal deste trabalho é contribuir para o desenvolvimento de tecnologias construtivas utilizando matéria-prima de reduzido impacto ambiental: elaborado com materiais naturais (fibras vegetais e mucilagem de cacto) e adicionados a um aglomerante comercial (gesso), visando favorecer construções mais econômicas e populares. Em função das propriedades aditivas da mucilagem e dos aspectos higroscópicos (absorção de água) das fibras vegetais, esta pesquisa estudou o comportamento de ambas, no gesso, quanto à sua estanqueidade e resistência mecânica, com base nas Normas Brasileiras referentes ao gesso e ao gesso acartonado.

Dentre as fibras vegetais utilizadas em componentes construtivos, foram selecionadas três fibras mais acessíveis à pesquisa em questão: as fibras de bambu, de sisal e de coco. A utilização das fibras do sisal e do coco justifica-se em função dos resíduos existentes na produção do sisal, no baixo aproveitamento das fibras de coco e o baixo custo de ambas. A utilização das fibras do bambu justifica-se pelas suas qualidades e propriedades de fibras longas e resistentes, utilizadas na fabricação de papel tipo *Kraft*.

Os objetivos específicos podem ser resumidos nos seguintes itens:

a) Revisar literatura acerca das fibras vegetais (em destaque às fibras de bambu, de sisal e de coco), da mucilagem do cacto e do gesso;

- b) Ensaiar métodos de extração da mucilagem do cacto;
- c) Realizar análise comparativa dos cactos *Opuntia ficus-indica* e *Nopalea cochenillifera*;
- d) Comparar resultados de absorção e de flexão dos corpos-de-prova das pastas de gesso com mucilagem, pasta de gesso controle (gesso e água) e pastas de gesso com impermeabilizante ou superplastificante;
- e) Comparar resultados de absorção e de flexão dos corpos-de-prova dos compósitos de gesso, fibras vegetais e mucilagem, do compósito de gesso controle (gesso, fibras vegetais e água) e do compósito de gesso, fibras vegetais e superplastificante;
- f) Analisar se a mucilagem de cacto adicionada em pastas e compósitos diminui a absorção de água e aumenta a resistência mecânica nos corpos-de-prova;
- g) Comparar as fibras utilizadas (bambu, sisal e coco), analisando os resultados dos ensaios de absorção e de flexão dos corpos-de-prova;
- h) Comparar a quantidade de água necessária (traço) nas pastas preparadas, e nos compósitos, considerando nestes, o tipo de fibra.

Esta dissertação está estruturada em seis capítulos, a saber:

No **Primeiro Capítulo** é apresentada a revisão bibliográfica, sendo este capítulo subdividido em três partes. A primeira parte contém uma revisão geral da utilização das fibras vegetais em componentes construtivos e em seguida, mais especificamente, as fibras de bambu, de sisal e de coco. A segunda parte apresenta aspectos gerais das cactáceas e, em seguida, sua utilização na construção. E, na terceira parte, apresenta o gesso e sua principal aplicação, o gesso acartonado.

Os materiais e métodos utilizados nesta pesquisa são apresentados no **Segundo Capítulo**. Os dois tipos de cactos utilizados são descritos e as diferentes formas de extração de sua mucilagem e incorporação nas misturas. São também apresentados o gesso e as fibras vegetais (bambu, sisal e coco), suas características e quantidade (peso ou volume) a ser incorporada nos compósitos. Em seguida, são apresentadas a forma como foram misturadas as

pastas e os compósitos e as dimensões dos corpos-de-prova. Encontra-se, neste capítulo, a descrição dos ensaios de absorção e de flexão e dos testes estatísticos utilizados.

No **Terceiro Capítulo** são apresentados os resultados das medições da massa unitária do gesso utilizado e das pastas misturadas. São apresentados a quantidade de material utilizado e os traços necessários para os objetivos propostos das pastas de gesso e dos compósitos de gesso. São apresentados, também, os resultados dos ensaios de absorção e flexão dos corpos-de-prova, moldados com diferentes misturas de pastas e compósitos. E, por fim, os resultados encontrados são interpretados segundo dois diferentes testes estatísticos.

No **Quarto Capítulo** é apresentada a discussão a respeito dos resultados encontrados e observações acerca do trabalho desenvolvido, no **Quinto Capítulo**, as conclusões, e no **Sexto Capítulo** as recomendações para trabalhos futuros.

1 - REVISÃO DE LITERATURA

1.1 – FIBRAS VEGETAIS

A utilização de materiais fibrosos para componentes construtivos é antiga, porém seu emprego em escala industrial ocorreu no início do século XX, com o amianto, uma fibra mineral. O cimento-amianto foi patenteado, em 1900, por Ludwig Hatscheck que utilizou o mesmo processo de fabricação do papelão e produziu placas para coberturas, tornando-se em poucas décadas, um material de construção muito empregado. Para Petrucci (1982), a larga utilização do amianto se deve à sua baixa massa específica, alta resistência à tração, elevada resistência a agentes agressivos, além de ser um bom isolante térmico.

Para Agopyan (1988, p.37), a finalidade do reforço de um material com fibras (compósitos) é “melhorar as resistências à tração e flexão de uma matriz frágil e aumentar sua resistência ao impacto” e:

“a maior utilidade das fibras de reforço em matrizes frágeis, como pastas de gesso ou cimento, argamassas e concretos, é o comportamento do compósito depois da fratura ter-se iniciado. A ductilidade pós-fratura que as fibras conferem ao material é o fator que destaca o comportamento deste material compósito em relação aos outros”. (AGOPYAN, *idem*, p. 37).

A matriz frágil e as fibras deformam-se elasticamente até a fissura da matriz, sob ação de esforços mecânicos. Após essa fissura, toda a carga é transmitida às fibras que mantêm o material em uso devido ao comprimento de ancoragem. O colapso do compósito ocorre com o rompimento das fibras ou seu escorregamento da matriz.

Atualmente, muitas pesquisas com fibras buscam uma alternativa ao cimento-amianto, devido aos problemas de saúde causados na extração e no uso do amianto. As fibras vegetais aparecem como uma alternativa para sua

substituição e para o desenvolvimento de componentes alternativos fibrosos, destinados às construções rurais e de interesse social, pelo baixo custo.

Segundo Cook (*apud* SAVASTANO JÚNIOR, 1986), as fibras vegetais podem ser subdivididas em quatro grupos: fibras provenientes da folha (fibra de sisal), do talo (juta e rami), do lenho (bambu e cana-de-açúcar) e fibras superficiais (camada protetora de caules, folhas, frutos e sementes, como as fibras do coco e do algodão, principais fibras de semente, e as fibras de piaçava, protetora das folhas).

As características dessas fibras e o comportamento nos compósitos são fatores importantes para a melhoria do desempenho desses componentes. As principais características macroscópicas das fibras vegetais, (Tabela 01, p. 09), relacionadas no comportamento de compósitos, segundo Griffin (*apud* SAVASTANO JÚNIOR *et al.*, 1997a), são:

a) Dimensões – a relação entre comprimento e diâmetro das fibras influencia na transferência de esforços para a matriz, chamado de índice de entrelaçamento. Quanto maior esse índice, maior a aderência entre fibra e matriz. Este índice também indica que as fibras de coco são fibras curtas, enquanto as fibras de sisal e bambu são fibras longas. E, a seção irregular das fibras e seu aspecto fibrilado influenciam na ancoragem junto a matrizes;

b) Volume de vazios e absorção de água – interferem negativamente na relação água/aglomerante da matriz, pois ocorre grande absorção de água nos primeiros instantes, entumescimento, e posterior retração. O volume de vazios, porém, contribui para menor peso, maior absorção acústica e menor condutibilidade térmica dos componentes;

c) Resistência à tração – semelhante, em média, à das fibras de polipropileno;

d) Módulo de elasticidade – as fibras vegetais possuem baixo módulo de elasticidade, o que contribui para trabalharem no estágio pós-fissurado com grande absorção de energia e resistência a esforços dinâmicos.

Tabela 01 – Características físicas e mecânicas de fibras vegetais, amianto e polipropileno.

| Propriedades | Massa espec. real (kg/m ³) | Absorção Max. (%) | Alongam. na ruptura (%) | Resistência à tração (MPa) | Mód. de elast. (GPa) | Índice Enfeltra-mento |
|---------------------------------------------------|----------------------------------------|-------------------|-------------------------|----------------------------|----------------------|-----------------------|
| Coco (<i>Cocos nucifera</i>) | 1.177 | 93,8 | 23,9 a 51,4 | 95 a 118 | 2,8 | 35,0 |
| Sisal (<i>Agave sisalana</i>) | 1.370 | 110,0 | 4,9 a 5,4 | 347 a 378 | 15,2 | 152,6 |
| Celulose papel (<i>Pinus elliottii</i> – princ.) | 1.200 a 1.500 | 400 | Nd | 300 a 500 | 10 a 40 | Nd |
| Bambu (<i>Bambusa vulgaris</i>) | 1.158 | 145 | 3,2 | 73 a 505 | 5,1 a 24,6 | 170,5 |
| Piaçava (<i>Attalea funifera</i>) | 1.054 | 34,4 a 108 | 6 | 143 | 5,6 | Nd |
| Amianto crisotila | 2.200 a 2.600 | ---- | 2 | 560 a 750 | 164 | Nd |
| Polipropileno comum | 913 | ---- | 22,3 a 26,0 | 250 | 2,0 | Nd |

Nd – Não disponível. Fontes: Agopyan e Savastano Júnior, Toledo Filho (*apud* FREIRE e BERALDO, 2003) e CEPED (1982).

Segundo Savastano Júnior e Agopyan (*apud* SAVASTANO JÚNIOR *et al.*, 1997a), as fibras são feixes de células individuais que são compostas por microfibrilas, ricas em celulose. Para Coutts (*apud* SAVASTANO JÚNIOR *et al.*, 1997a), as células são compostas por quatro camadas de microfibrilas, sendo que a camada S2 possui microfibrilas orientadas de acordo com um determinado ângulo θ , além de ser a camada mais espessa e que possui maior teor de celulose (Figura 01). As células que compõem a fibra são aglomeradas pela lamela intercelular, composta de hemicelulose, pectina e lignina (70% em média). A região central – lacuna – é a responsável pela absorção, (Figura 02, p. 10).

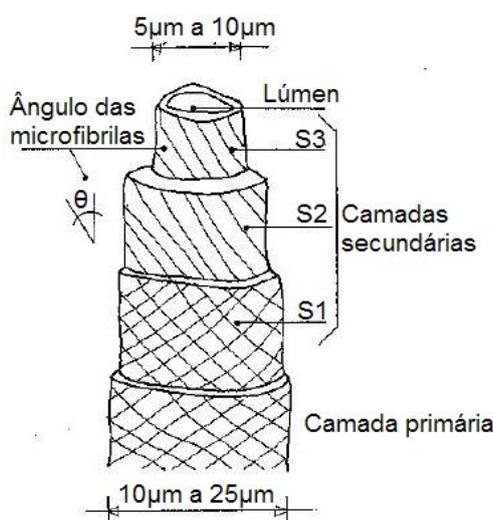


Figura 01 – Célula individual da fibra vegetal. Fonte: Savastano Júnior *et al.* (1997a).

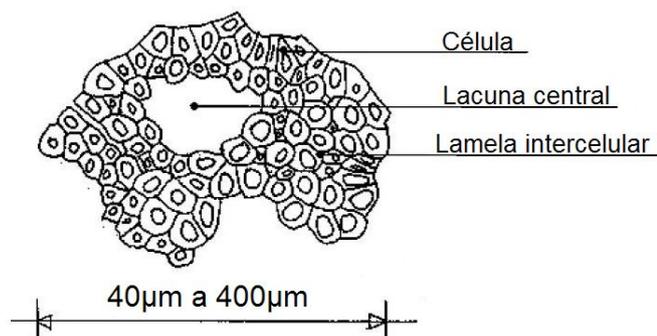


Figura 02 – Fibra: aglomerado de células. Fonte: Savastano Júnior *et al.* (1997a).

Segundo os autores a resistência à tração e o módulo de elasticidade variam diretamente com o teor de celulose e inversamente com o ângulo θ das microfibrilas, enquanto que o alongamento máximo de ruptura aumenta com o ângulo θ , visto ser maior o trabalho de fratura necessário para o estiramento das microfibrilas (Tabela 02).

Tabela 02 – Propriedades da estrutura de fibras vegetais.

| Fibra | Celulose (% massa) | Lignina (% massa) | Ângulo θ das microfibrilas (graus) |
|-------|-----------------------|----------------------|----------------------------------------------|
| Malva | 76,0 | 10,0 | 8 |
| Sisal | 78,6 | 9,9 | 10 – 22 |
| Coco | 53,0 | 40,8 | 30 - 49 |

Fonte: Savastano Júnior *et al.* (1997a).

Um aspecto importante que merece atenção no uso de fibras vegetais em compósitos é o retardamento da pega do cimento. Segundo Savastano Júnior *et al.* (1997a) e Beraldo *et al.* (1998), são os extrativos (resinas, polifenóis, óleos e graxas) e os açúcares que, liberados pelas fibras quando em contato em solução aquosa, que retardam a pega do cimento, detectável pela curva de hidratação.

Para Morrison *et al.* (*apud* SAVASTANO JÚNIOR *et al.*, 1997a, p. 117) “em compósitos à base de cimento, a melhor aderência fibra-matriz é conseguida por meio do melhor desempenho da zona de transição, o que implica redução de porosidade e na menor concentração de portlandita”.

Savastano Júnior e Agopyan (1993a e 1993b) analisaram a zona de transição fibra-matriz de compósitos com fibras vegetais. Segundo Mindess *et*

al. (apud SAVASTANO JÚNIOR e AGOPYAN, 1993a), “a zona ou auréola de transição é a região da pasta de cimento próxima à fibra, com espessura de até 100 micrômetros e que apresenta propriedades diferenciadas do restante da matriz”.

As análises das zonas de transição dos compósitos com fibras vegetais apresentaram espessura de 50 a 100 micrômetros, elevada porosidade, formação de grandes cristais de portlandita e deslocamento das fibras. Nos compósitos com fibras de amianto a espessura média foi de 5 micrômetros e nos compósitos com polipropileno espessura de no máximo 20 micrômetros. Para os Autores, a formação de grandes cristais de portlandita pode induzir a decomposição das fibras vegetais, em especial a lignina, e conseqüente perda com o tempo da capacidade de reforço das fibras.

A elevada absorção pelas fibras da água de amassamento do compósito induz um fluxo de água em direção à fibra acarretando um aumento da relação água/cimento, da porosidade e da concentração de portlandita na zona de transição, colaborando para um pior desempenho micro-estrutural. O deslocamento das fibras e as micro-fissuras ocorrem devido a sua variação dimensional, quando perde a água que foi absorvida durante a mistura do compósito.

O desempenho mecânico dos compósitos com fibras foram analisados por Savastano Júnior e Agopyan (1993a) e Savastano Júnior *et al.* (1997a). Os resultados indicam uma diminuição da resistência dos compósitos de fibras vegetais com o tempo, em decorrência da degradação das fibras que em meio altamente alcalino dissolve a lignina (JOHN *et al.*, 1997) e a hemicelulose (RAMASWAMY *apud* SAVASTANO JÚNIOR *et al.*, 1997a).

Diante das características identificadas das fibras vegetais e diante da necessidade de durabilidade de um componente construtivo pode-se resumir entre as principais dificuldades na utilização dessas fibras o retardamento da pega da matriz, a decomposição das fibras pela alcalinidade da matriz e o seu aspecto higroscópico, facilidade na absorção de água, o que favorece grande fluxo da água de amassamento do cimento e aumento da relação água/cimento e grande variação dimensional das fibras, com a perda de água posteriormente.

Para diminuir os efeitos negativos, diversas alternativas são propostas e estudadas. Verifica-se que alguns tratamentos são mais eficazes em determinados tipos de fibras, e em alguns casos, em combinação com outros tratamentos. A moldagem sob pressão visa remover o excesso de água e melhorar a aderência entre fibras vegetais e matriz e aumentar a resistência do compósito. A adição de cinzas de casca de arroz, cinzas pesadas ou volantes de termelétricas ou a utilização de aglomerantes menos alcalinos, como o gesso, visam diminuir a alcalinidade da matriz e evitar sua decomposição. A estocagem das fibras e/ou lavagem em água quente ou fria visa diminuir os extrativos e açúcares existentes, o que prejudica a “pega”, endurecimento, do cimento, ou o uso de aceleradores, como o sulfato de alumínio e o cloreto de cálcio (aditivo não recomendado). O tratamento químico das fibras, mineralização, através de imersão em silicato de sódio, sulfato de alumínio ou cloreto de cálcio, visa a sua impermeabilização e diminuição da absorção de água e aumento da resistência mecânica dos compósitos.

No Brasil, a publicação mais antiga, utilizando fibras vegetais encontrada por esta dissertação, foi realizada por Alves (1976), com fibras de piaçava. Neste trabalho, o Autor revia os estudos de concreto armado com fibras (CAF), e propunha a mineralização das fibras vegetais para evitar os efeitos da absorção e alertava sobre a segregação e empelotamento das fibras, visto que o excesso de mistura tende a provocá-lo.

Outras fibras vegetais foram estudadas em compósitos, dentre elas, as fibras de cana-de-açúcar e de suas cinzas, e a adição da casca de arroz e de suas cinzas. A incorporação de resíduos da produção da madeira, da fabricação de papel ou o reaproveitamento de papel jornal. E, também, o estudo das fibras de bambu, de sisal e de coco, que serão abordadas a seguir.

Nos estudos de fibras vegetais, se destacam alguns pesquisadores que atuam no país, como por exemplo: Vahan Agopyan, Holmer Savastano Júnior, Vanderley Moacir John, Antonio Ludovico Beraldo, Maria Alba Ciancotto, Célia Martins Neves e Khosrow Ghavami; e, entre as instituições: CEPED – Centro de Pesquisa e Desenvolvimento (localizado na Bahia), IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, Unicamp – Universidade Estadual de Campinas e USP – Universidade de São Paulo.

1.1.1 – Fibra de Bambu

Segundo Alves (2006), bambu é utilizado pelo homem desde tempos pré-históricos como alimento, em vestes, em instrumentos musicais e em armas, na construção, no transporte de materiais e na fabricação de papel, em móveis e em objetos domésticos.

Segundo Martins *et al.* (2004), os bambus são plantas gramíneas, herbáceas gigantes e lenhosas, que se desenvolvem rapidamente. São classificadas na família *Bambusoideae*. O ciclo de vida, de algumas espécies, está estimado entre 100 a 120 anos. É constituído por uma parte aérea (colmo) e outra subterrânea (rizoma e raiz). Segundo Lopes *et al.* (*apud* MARTINS *et al.*, 2004), sua resistência varia de acordo com a espécie, sendo a parte mais resistente próxima aos nós e quanto mais espessa a parede do bambu maior sua resistência. São conhecidos 60 a 90 gêneros e 1.100 a 1.500 espécies de bambu. As espécies mais usadas na construção civil são, por exemplo, *Dendrocalamus giganteus*, *D. strictus*, *D. asper* (Figuras 03, 04 e 05), *Bambusa tulda*, e *B. tuldoides*.



Figuras 03, 04 e 05 – Colmos de *Dendrocalamus asper*. Fotografia: Rafael Vasconcellos.
Fonte: www.bambubrasileiro.com, acessado em 13/05/2008.

Costa Rica, Colômbia e Equador utilizam o bambu para a produção de unidades habitacionais. Segundo Cortez e Ino (1998), Costa Rica produzia em média de 1.500 casas de bambu por ano, cujos requisitos atendiam aos exigidos pela ONU para construções de unidades habitacionais, sendo um dos

países mais desenvolvidos na produção de habitações de interesse social com bambu. Segundo Nascimento e Souza (2004) e Martins *et al.* (2004), o uso do bambu na construção pode reduzir em até 40% o custo total da edificação.

Existem diversas maneiras de utilizar o bambu na construção. Por exemplo, o bambu roliço, pode ser utilizado em tesouras, pilares, vigas e painéis. Em forma de meio colmo, o bambu pode ser utilizado em calhas e fôrmas permanentes na fabricação de lajes, ou em painéis de vedação aparentes ou não. Em taliscas, o bambu pode ser utilizado no reforço do concreto, substituindo o aço em determinadas situações. Das ripas do bambu, podem ser fabricados laminados e compensados e utilizados na montagem de estruturas e forração de interiores. O bambu planificado, em forma de esteiras (esterilhas), pode ser utilizado como esqueleto em painéis, revestidas por outro material. Em fibras, o bambu pode ser combinado com outros materiais convencionais como solo-cimento, argamassa armada, concreto e gesso, substituindo total ou parcialmente os agregados minerais, sendo estas fibras objeto de estudo deste trabalho.

Segundo Beraldo (1997), os compósitos de fibras do bambu apresentam boas características físico-mecânicas, produzem um produto leve, resistente a impactos, com bom isolamento térmico, além de ser uma matéria-prima disponível e renovável. As fibras de bambu incorporadas em compósitos alcalinos necessitam de um tratamento prévio devido a sua constituição química rica em açúcares e amido, (Beraldo e Azzini, 1998), principal componente dos extrativos.

Beraldo (1997) incorporou fibras de *Bambusa tuldoides* (peneira 2,4 mm) nos cimentos CP II E 32 (Cimento *Portland* Composto com Escória de Alto Forno) e CP V ARI (Cimento *Portland* de Alta Resistência Inicial), com traço 1:0,375 e relação água/cimento 0,750 em massa. Foram comparados diferentes tipos de tratamento do bambu: controle (sem tratamento), lavagem (80°C por 2 horas), com adição de acelerador (Cloreto de cálcio – CaCl_2 – a 3% da massa do cimento) e mineralização (imersão em silicato de sódio - Na_2SiO_3 a 5% e depois em sulfato de alumínio – $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ à 30%).

Os resultados encontrados no artigo indicam que o cimento CP V ARI obteve os melhores resultados comparado com o cimento CP II E 32 e a

mineralização das fibras o melhor tratamento (Figura 06). Para o Autor, o bambu é uma excelente fonte de matéria-prima para a fabricação de compósitos à base de cimento.

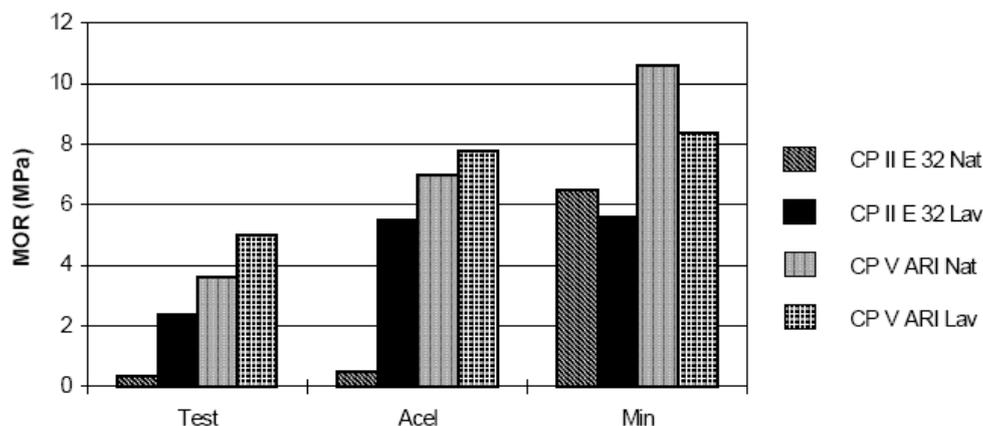


Figura 06 – Resultados do ensaio de compressão simples do compósito bambu-cimento. Fonte: Beraldo, (1997).

Beraldo e Azzini (1998) estudaram as reações das partículas de *Bambusa tuldoides* ao natural e lavada (80°C por 2 horas) nos cimentos CP II E 32 e CP V ARI e com a adição dos aceleradores cloreto de cálcio e sulfato de alumínio (ambos a 3% da massa de cimento).

Os resultados indicaram que o tipo de cimento e acelerador utilizados e o estado das fibras influenciam o comportamento do compósito, sendo que a lavagem das fibras aumentou a resistência dos compósitos, independente do tipo de cimento e acelerador utilizado.

Anjos *et al.* (2003a) pesquisaram a adição de polpa de bambu refinada e sem refino em compósitos de matriz cimentícia (cimento CP II E 32), variando de 0 a 16% o teor de fibras em massa de cimento, visando a fabricação de painéis de cobertura. Foi utilizado o processo de produção Hatschek, em escala laboratorial, através da moldagem e sucção da água excedente e posterior prensagem (3,2 MPa).

Nota 01: No processo Hatschek, em escala laboratorial, uma pasta fluida é colocada em uma câmara de moldagem e submetida à uma sub-pressão, com bomba à vácuo na face inferior, e à prensagem, com prensa hidráulica, ambos os procedimentos para extrair o excesso de água.

Foi observado que o compósito com fibras refinadas apresentou menor absorção de água, menor porosidade, maior densidade, maiores resistência à flexão e capacidade de absorver energia. O teor ótimo de fibras refinadas foi de 8%, acima desses valores a resistência diminui.

Segundo Anjos *et al.* (2003a), a maior resistência apresentada pelas fibras refinadas pode ser devido ao processo de polpação, que segundo Smook (*apud* Anjos *et al.*, 2003a), remove impurezas não celulósicas, como a lignina e a hemicelulose, diminuindo assim a decomposição das fibras no meio alcalino.

Em outro trabalho, Anjos *et al.* (2003b) pesquisaram um compósito reforçado com polpa de bambu refinado (8%) e a substituição de 20, 30 e 40% do cimento (CP II E 32) com resíduo de blocos cerâmicos, com o objetivo de diminuir o ataque alcalino às fibras. Nesta pesquisa foi utilizado o processo de produção Hatschek, em escala laboratorial.

Foi observado que a adição do resíduo diminuiu a densidade do compósito, aumentando sua porosidade, provavelmente devido ao processo mais lento de reação deste material pozolânico. Segundo os Autores, o compósito com 20% de resíduo cerâmico apresentou, praticamente, as mesmas propriedades mecânicas que o compósito sem substituição, favorecendo uma economia no produto final.

Silva *et al.* (2003) estudaram o comportamento ao impacto em compósitos de cimento (CP II F 32 – Cimento *Portland* com adição de filler calcário) adicionados com 8 e 14% de polpa de bambu, em relação ao peso do cimento, utilizando o processo Hatschek.

Os Autores observaram, após sucção da água, uma maior concentração de fibras na face oposta à sucção, devido à menor densidade das fibras em relação ao cimento e que esta variação aumentava em 9% a resistência quando o impacto do martelo ocorria na face com menor concentração de fibras, e o lado oposto sofria tração, com maior concentração de fibras. Os Autores verificaram o aumento de resistência em todos os compósitos com fibras.

A retração plástica em compósitos cimentícios, com diferentes teores de polpa refinada de bambu, foi estudada por Sales e Ghavami (2004) e a retração livre por Sales *et al.* (2004).

A adição de fibras em compósitos cimentícios resulta em menor retração plástica. Nas primeiras horas, o material ainda em estado plástico, é beneficiado pela adição de fibras, devido à elevada capacidade de absorção dessas, contribuindo para maior retenção do líquido e, menor retração plástica. Quanto maior o teor de fibras, menor a retração plástica. Posteriormente, com o material endurecido, a adição de fibras favorece a saída de água do interior do compósito, contribuindo para o aumento da retração livre e maior perda de massa. Quanto maior o teor de fibras, maior a retração livre. Foi observado que a adição de 8% de polpa de bambu apresentou melhor resultado no ensaio de retração livre em comparação ao compósito sem polpa.

Percebe-se que, pela revisão bibliográfica apresentada, existem dois tipos de fibras de bambu utilizadas em compósitos: as partículas provenientes do colmo do bambu e as fibras provenientes da polpa de bambu. Nos compósitos com partículas foram estudados diferentes tratamentos das fibras e/ou a incorporação de aditivos. Nos compósitos com polpa não foram realizados tratamentos nas fibras e a melhor porcentagem adicionada ao cimento foi de 8%, em massa, utilizando o processo de produção *hatschek*.

1.1.2 – Fibra de Sisal

Segundo Medina (1954), algumas plantas características das regiões desérticas se tornaram conhecidas pelos europeus com o descobrimento da América e especialmente com a conquista do México. O gênero *Agave* foi classificado por Linneu em 1748. Os Maias, Astecas e outros povos confeccionavam com as fibras, extraídas destas plantas, diversos artigos domésticos, além de fabricarem sabão com suas raízes, e de produzirem alimentos e sucos, como o “mezcal” adorado pelos Astecas.

As espécies cultivadas para a obtenção das fibras são *Agave sisalana* (sisal) e *Agave fourcroydes* (henequém), principalmente no México. Essa espécie é provavelmente nativa da Península de Yucatán, no México. Seu nome provém do antigo Porto de Sisal, onde foram feitas as primeiras exportações. No Brasil, segundo o CEPED (1982), o maior produtor de sisal é o estado da Bahia, e sua produção é realizada por pequenos e médios produtores.

O sisal pertence à família *Amaryllidaceae*, gênero *Agave* e espécie *sisalana*. Segundo Ballester Olmos (1995), Agaves são plantas suculentas tais como os cactos e possuem tecidos carnosos e ricos em água para suportarem os longos períodos de seca. É uma planta originária dos trópicos, possui folhas lisas com cerca de 10 cm de largura e 150 cm de comprimento. Normalmente não frutifica, apenas floresce entre 5 e 8 anos, morrendo em seguida (Figura 07).



Figura 07 – *Agave sisalana*. Fonte: photos.wildmadagascar.org/images/sisal_fields..., acessado em 02/03/2009.

Para a obtenção das fibras, segundo Medina (idem), as folhas precisam ser golpeadas e lavadas repetidas vezes para a retirada da polpa e mucilagens ou através de raspadeiras ou desfibradeiras, em seguida, as fibras são centrifugadas para a retirada do excesso de água ou colocadas para secar ao sol, que possui ação branqueadora. Após secas, as fibras são escovadas, classificadas e enfardadas.

Segundo Savastano Júnior *et al.* (1997b), a produção do sisal gera diversos produtos e resíduos: fibra verde para comercialização, bucha verde (fibra verde de menor comprimento sem valor comercial), bucha branca e fibras curtas (resultante do beneficiamento e da produção de fios e cordas), *baler twine* (principal produto do sisal, fio agrícola para exportação) e bucha de *baler twine* e fibras curtas (inferior à 1 cm, impregnadas com óleo mineral).

CEPED (1982) e Guimarães (1982) observaram que dentre as fibras pesquisadas o sisal apresentou melhor resultado, sendo o volume ideal de fibras entre 3% e 7% e que a resistência à flexão aumentava com o comprimento da fibra, sendo o melhor resultado, obtido nos ensaios, com fibras de 3 cm, incorporadas de forma aleatória no compósito. Segundo Ryder (*apud* CEPED, 1982) fibras maiores que 40 mm, devem ter um considerável grau de orientação, quando incorporadas no fibro-cimento.

Nos referidos trabalhos, os compósitos com as fibras de sisal e bambu apresentaram maiores índices de absorção, tendo as fibras de piaçava e coco obtidos os menores resultados nestes ensaios, (Tabela 03). Segundo os Autores, a incorporação de fibras de amianto, sem prensagem, obteve o pior desempenho nos ensaios de resistência à compressão e flexão, sugerindo que a utilização de prensagem e do vácuo, para a redução do fator água/cimento, poderá proporcionar um melhor desempenho nos compósitos de fibro-cimento.

Tabela 03 – Resistência à compressão em corpos-de-prova cilíndricos, resistência à flexão em vigas de fibro-cimento e absorção de água em compósitos com 5% de volume de fibras e fator água/cimento de 0,43.

| Tipo | Resistência à compressão (MPa) | Módulo de Ruptura em vigas (MPa) | Absorção (%) |
|------------------|--------------------------------|----------------------------------|--------------|
| Coco 0,5cm | 30,94 | 5,86 | 9,95 |
| Coco 3,0cm | 27,66 | 6,05 | nd |
| Coco 6,0cm | 29,09 | 5,97 | 10,99 |
| Sisal 0,5cm | 22,72 | 5,56 | 11,05 |
| Sisal 3,0cm | 24,33 | 6,69 | nd |
| Sisal 6,0cm | 18,20 | 5,83 | nd |
| Bambu 0,5cm | 19,19 | 5,59 | 12,11 |
| Bambu 6,0cm | 7,18 | 3,71 | nd |
| Piaçava 0,5cm | 27,34 | 4,25 | 9,70 |
| Piaçava 6,0cm | 28,39 | 4,68 | nd |
| Amianto <0,5cm | 7,94 | 4,21 | nd |
| Matriz sem fibra | 31,37 | 5,73 | 10,37 |

nd – não disponível. MPa = 10 kg/cm², conversão aproximada, realizada pela autora. Fonte: CEPED (1982).

Outra pesquisa realizada pelo CEPED (1984) verificou que o aumento do teor de fibras aumenta a relação água/cimento (a/c), diminuindo a resistência do compósito. Foram verificados diferentes métodos de fabricação: prensagem, compactação e vibração. A prensagem dos compósitos com fibras de sisal com 22 kgf/cm² obteve o melhor desempenho, maior resistência e menores índices de absorção e porosidade.

Na referida pesquisa, foram elaboradas placas e telhas, sendo as fibras colocadas entre duas camadas de argamassa de cimento. A fibra de sisal obteve melhor desempenho nas placas, enquanto que a fibra do coco obteve melhor desempenho nas telhas, sendo incorporado maior volume de fibras.

Carvalho Filho e Agopyan (1993) pesquisaram argamassas (traço 1:2, cimento:areia) reforçadas com fibras de sisal com diferentes comprimentos de fibra (1,80, 3,70 e 5,60 cm), diferentes volumes de fibras (0,00%; 1,12%; 1,70%; 2,20% e 2,7%) e em diferentes condições (fibras secas e saturadas).

Os resultados da resistência à flexão, dos compósitos com fibras de 1,80 cm e 3,70 cm de comprimento, foram satisfatórios, sendo próximos da resistência do compósito sem fibras. As quantidades de fibras de 1,12% e 1,70% em volume obtiveram os melhores desempenhos e a adição de fibras previamente saturadas acarretou perda de resistência e maior dificuldade na homogeneização do compósito.

Fujiyama *et al.* (1999), compararam o desempenho à compressão de compósitos com fibras de sisal (25 e 45 mm de comprimento) e argamassa sem fibras. Observaram que a argamassa sem reforço sofre uma fratura brusca enquanto que a argamassa com fibras ocorre um “amortecimento”. A adição de fibras e o aumento do comprimento resultaram em diminuição da resistência, porém a integridade do corpo-de-prova é mantida por um intervalo maior de deformação.

Savastano Júnior e Pimentel (2000) pesquisaram diferentes tipos de fibras vegetais em argamassa de cimento (1:1,5 de cimento CP F 32 e areia), com 2% em volume de fibras e relação água/cimento de 0,4 para argamassas sem fibras e 0,5 para argamassas com fibras. Os Autores observaram que as

telhas produzidas com fibras de bucha de *baler twine*, malva tipo 4 e de resíduo do coco obtiveram melhores resultados nos ensaios de empenamento, permeabilidade, absorção, ensaio de flexão e energia absorvida.

Beraldo e Vieira (2003) analisaram adições de fibras de sisal (1,80%, 3,60% e 10,8% em relação à massa de cimento e 1,5 cm de comprimento) em argamassas de cimento e areia (1:1,5) e relação água cimento de 0,4 (1,80% e 3,60% de fibras) e 0,48 (10,80% de fibras). As fibras foram tratadas com lavagem em água fria, lavagem em água quente, imersão em 5% de cal e em 5% de soda cáustica, sendo posteriormente secas ao sol.

Nos ensaios à compressão simples, os melhores resultados foram obtidos com 1,80% de fibras tratadas com cal, porém os autores sugerem o tratamento com água fria o mais adequado, visto ser o mais econômico e não demandaria tratamento para a neutralização dos resíduos (cal e soda cáustica). Nos teores com 1,80% e 3,60% de fibras não foram observados diferenças expressivas nos diferentes tratamentos, porém com 10,80% de fibras houve uma grande diminuição da resistência à compressão simples, (Figura 08).

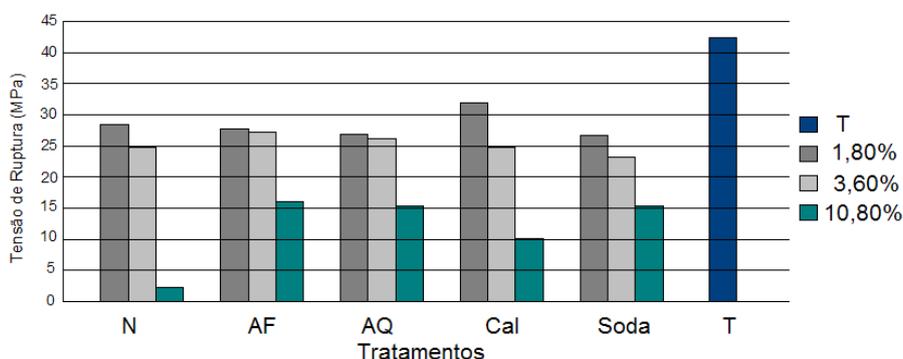


Figura 08 – Resistência à Compressão em corpos-de-prova sem fibras e com fibras de sisal com diferentes tratamentos. Legenda: N = natural; AF = água fria; AQ = água quente; Cal = Solução de 5% de cal; Soda = Solução de 5% de soda cáustica; T = Testemunha sem fibras. Fonte: Beraldo e Vieira, (2003).

Nos estudos apresentados, a bucha de *baler twine*, resíduo da produção de sisal, apresentou melhores características para incorporação em compósitos. Já as fibras cortadas, o comprimento que obteve melhores resultados foi entre 1,5 cm e 4 cm e a quantidade de fibras incorporadas entre 1% e 5% do volume.

1.1.3 – Fibra de Coco

Segundo CEPED (1982) e Lorenzi (2000), não há consenso sobre a naturalidade do coqueiro. Ele existe em toda faixa tropical do globo, porém, segundo Lorenzi (*idem*), pode ser também nativo da costa atlântica do Brasil, do Pará até São Paulo e principalmente do Rio Grande do Norte até Bahia.

O coqueiro, *Cocos nucifera L.* é uma palmeira do gênero *Cocos*. Segundo CEPED (1982) a produção do coqueiro é de 300 a 600 frutos por pé e por ano. O coqueiro cresce nas areias salgadas onde nenhuma outra cultura é viável, exige grande intensidade solar e necessita de bastante cálcio e fósforo (Figura 09).



Figura 09 – *Cocos nucifera L.* Fotografia de Carlos Daniel, disponibilizado no site www.baixaki.com.br, acessado em 02/03/2009.

O coco, fruto do coqueiro, é constituído pelo exocarpo, parte externa e lisa, pelo mesocarpo, parte fibrosa e espessa, pelo endocarpo, casca duríssima e lenhosa e pela amêndoa, parte almejada no cultivo. Segundo CEPED (1982) as fibras são resistentes às águas salgadas e, devido a isso, próprias para a cordoaria naval. De acordo com o mesmo autor, no século XIII e XIV, os árabes usavam essas fibras para cordas e ensinavam aos navegantes ingleses o seu aproveitamento.

A obtenção da fibra do coco, segundo o CEPED (1982) e Savastano Júnior (1986) inicia-se com o desfibramento das cascas, *in natura* ou após

curtimento em água, para facilitar o desfibramento. As cascas são inseridas em um cilindro com martelos. Nesta etapa é injetada água para lavar as fibras e retirar os resíduos para fora do cilindro. Neste processo 25% das fibras são aproveitáveis e 75%, sem comercialização, são denominadas de resíduo. Depois do coco desfibrado, as fibras são secas e em seguida é realizado o penteamento e seleção das mesmas. As fibras com comprimentos inferiores a 8 cm são denominadas de bucha e são vendidas para indústrias de estofamento. E, por último, o enfardamento destas.

CEPED (1982) e Guimarães (1982) pesquisaram argamassas cimentícias com diferentes tipos de fibras adicionadas. Conforme Tabela 03, p. 19, desta dissertação, verifica-se o bom desempenho dos compósitos com fibras de coco. Os Autores sugerem sua utilização em painéis de argamassa, com maior resistência ao impacto e maior isolamento térmico e acústico.

Guimarães (*idem*) e CEPED (1984) realizaram ensaios de flexão em telhas confeccionadas em argamassas com sisal e coco (2% em volume). As fibras úmidas (4 cm de comprimento) foram colocadas entre duas camadas de argamassa (1:3 em volume de cimento e areia e a/c 0,70). O resultado da argamassa com coco apresentou maior resistência à flexão, de quase 30% a mais que a argamassa sem fibra, o que segundo os Autores é devido à excelente aderência entre fibra e matriz (Tabela 04).

Tabela 04 – Ensaio de flexão em telhas de argamassa, argamassa com arame e argamassa com sisal ou coco.

| Tipo | Massa (kg) | Carga de Ruptura (N) |
|-----------------------------|------------|----------------------|
| Argamassa | 14,65 | 954 |
| Argamassa com tela de arame | 15,50 | 1.119 |
| Argamassa com sisal | 14,08 | 998 |
| Argamassa com coco | 14,55 | 1.232 |

Fontes: Guimarães (1982) e CEPED (1984).

Ramaswamy (*apud* SAVASTANO JÚNIOR, 1986) pesquisou os efeitos que a alcalinidade pode causar sobre a durabilidade da fibra de coco, observando que a perda de resistência e ductilidade dessas fibras em meios alcalinos é pequena. Savastano Júnior (1986) conclui que não é necessário qualquer tratamento das fibras de coco ou diminuição da alcalinidade da matriz,

devido ao pequeno enfraquecimento desta fibra com o tempo e destaca também o bom isolamento térmico e acústico, resistência à abrasão e baixo peso dos componentes com a adição dessas fibras.

O trabalho de John *et al.* (1997) compara o envelhecimento natural, acelerado (por carbonatação e por ciclos de molhagem e secagem) e em uso, de painéis com função estrutural, fabricados com argamassa de cimento de escória de alto forno reforçadas com fibras de coco. Foram preparados compósitos com 88% de escória granulada de alto forno, 2% de cal hidratada e 10% de gipsita. O traço foi 1:1,5:0,504 de compósito, areia e água, e adicionados 2% de fibras de coco.

Os resultados, de oito anos, do envelhecimento em uso “revelam que, do ponto de vista da durabilidade, o material é potencialmente um sucesso”. Os resultados de envelhecimento natural apresentaram maiores danos que os ensaios de envelhecimento acelerado e em uso, sendo os resultados dos ensaios de perda de resistência dos envelhecimentos por carbonatação ou por molhagem-secagem, similares.

A fibra de coco pode ser utilizada para componentes de absorção acústica (SILVA e SLAMA, 1997), sendo um interessante substituto nos compostos que utilizam fibras sintéticas e de madeira e obtendo resultados satisfatórios quando comparados com os desempenhos do *Climatex*® (placas cimentícias de madeira mineralizada). Ou pode ser utilizada como uma manta alternativa, usada como isolante térmico em coberturas, (OLIVEIRA *et al.*, 2003).

Pode-se perceber que a adição de 2% a 5 % de volume de fibras de coco, com comprimento entre 3 cm a 6 cm, obteve os melhores resultados na bibliografia consultada. Percebe-se também que o tipo de processo de fabricação e a relação água/aglomerante influem nos resultados apresentados.

1.2 – CACTO

Segundo Sáenz (2006), o interesse do ser humano pela *Opuntia* data de mais de mil anos e sua origem e história estão relacionadas com as antigas civilizações mesoamericanas, em particular com a Cultura Asteca. Segundo Pimienta (*apud* SÁENZ, *idem*) existem indícios arqueológicos que indicam que populações indígenas em zonas semi-áridas em Mesoamérica cultivavam *Opuntia* de modo formal e segundo Flores-Valdez (*apud* SÁENZ, *ibidem*) foram encontradas sementes, cascas da fruta e fibras de pencas de *Opuntia* fossilizadas datando sete mil anos atrás, nas escavações de Tamaulipas e Tehuacán.

Os Astecas são descendentes da civilização Tolteca (séculos X a XII) e foram derrotados pelos conquistadores espanhóis no início do século XVI. Os Astecas assumiram o controle do Vale do México e assentaram-se na maior ilha do Lago Texcoco, por volta do século XIII. Seguindo indicações dos Deuses eles deveriam se fixar onde encontrasse uma águia sobre um cacto, devorando uma cobra. Segundo Sáenz (*ibidem*) o escudo da bandeira do México é um hieroglifo da Grande *Tenochtitlán* e significa “sitio del nopal que cresce sobre la piedra”, (Figura 10). *Tenochtitlán* era a capital da confederação Asteca e possuía cerca de 250 mil habitantes, (Figura 11).

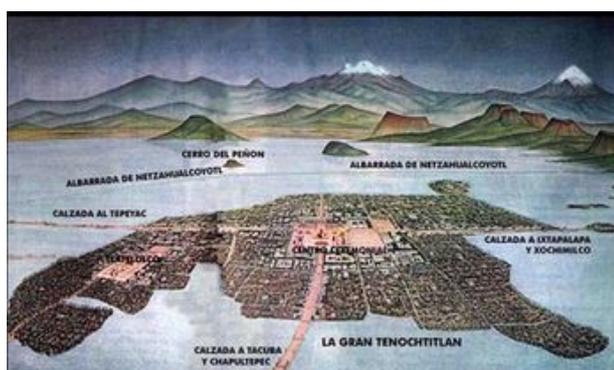


Figura 10 – Brasão de armas do México. Figura 11 - Desenho de Tenochtitlán. Pintura mural localizada no Museu Nacional de Antropologia, México, 1930. Fonte: www.wikipedia.org – acessado em 20/09/07.

1.2.1 – Cactáceas

As cactáceas são encontradas em várias condições climáticas em formas silvestres ou cultivadas. Atualmente, as cactáceas já foram difundidas para a África, Ásia, Europa e Oceania. Segundo Ballester Olmos (*idem*) e Rizzini (1987) as cactáceas silvestres se encontram em todo o continente americano, entre os paralelos 53° ao norte e 50° ao sul, desde o Estado de Alberta, no Canadá até a patagônia, extremo sul da Argentina.

Segundo Bellester Olmos (*ibidem*) as plantas suculentas são plantas carnudas e ricas em água, para suportar grandes períodos de seca. Todas as cactáceas são suculentas, porém nem todas suculentas são cactáceas. Existem dentro das suculentas, além das cactáceas, outras 49 famílias, dentre estas destacamos as mesembriantemáceas, agaváceas, liláceas, asclepiadáceas, crassuláceas e as euforbiáceas.

Segundo Rizzini (*idem*) existem aproximadamente 239 gêneros e 3300 espécies de cactos. Cerca da metade dos gêneros ocorre no México. Os espinhos estão sempre presentes nas cactáceas, exceto nas espécies silvestres, em que estes são rudimentares. O que distingue estas plantas de outros vegetais são suas aréolas: pontos cheios de espinhos e pêlos onde emergem as flores, novos cladódios (raquetes) ou raízes aéreas. As aréolas apresentam dois tipos de espinhos: alguns grandes, classificados pelos botânicos como folhas modificadas, e outros pequenos, os gloquídeos, e agrupados em grande número (Figuras 12 e 13).



Figura 12 – Cladódio (raquete) com frutos e espinhos do gênero *Opuntia*, espécie não identificada. Figura 13 - Cladódio com flores e gloquídeos - *Nopalea cochenillifera*.

Para Rizzini (*ibidem*), a adaptabilidade a ambientes extremos fez com que os cactos realizassem uma série de modificações morfológicas e fisiológicas. Cutículas espessas com revestimento de cera e cobertura de pêlos e pouca quantidade de estômatos ajudam a diminuir sua transpiração. A epiderme nas cactáceas é espessa e, nos caules de grandes dimensões ou anosos, pode apresentar na epiderme uma camada de suberina, substância formada de carbono, hidrogênio e oxigênio. Internamente encontra-se a mucilagem (hidrocolóides) - substância viscosa formada por pentosanas (polissacarídeo composto de moléculas de pentose) - que funciona como meio adequado para reter a água na planta. Além disso, possuem raízes superficiais que ajudam na absorção de água em época de chuva e absorção de água atmosférica pelos seus espinhos e estômatos.

Para Rizzini (*ibidem*) a mais notável adaptação é a respiração dessas plantas. Os estômatos fecham-se durante o dia para evitar a evaporação e abrem-se à noite para absorver a umidade atmosférica e o gás carbônico. O gás carbônico absorvido do ar à noite juntamente com o gás carbônico produzido pela sua respiração, formarão os ácidos orgânicos, principalmente o ácido málico, devido à carboxilação catalisada pela enzima fosfoenolpiruvato-carboxilase. O ácido málico é conservado durante a noite nos vacúolos celulares e a absorção do gás carbônico é realizada no escuro. Ao clarear o dia, o ácido málico é retirado dos vacúolos que, em presença da luz, transforma-se novamente em gás carbônico, ocorrendo a fotossíntese normal, com os estômatos já fechados.

Esse processo de assimilação do gás carbônico torna tais plantas aptas a sobreviver em meios tão críticos sendo ele chamado de metabolismo crassuláceo (CAM), devido ao fato de ter sido identificado na família das crassuláceas. Este metabolismo explica a lenta desidratação que a planta sofre em períodos prolongados de seca.

A composição química dos cladódios (raquetes) varia de acordo com a idade. Segundo Flores *et al.* e Pimienta (*apud* SÁENZ, *ibidem*) a quantidade de proteína é maior nos cladódios mais novos, enquanto a fibra aumenta nos cladódios mais antigos. Segundo Rodrigues-Félix e Cantwell (*apud* SÁENZ, *ibidem*) a composição química dos nopalitos frescos (cladódios novos) é 91%

de água, 1,5% proteína, 0,2% lipídios, 4,5% hidratos de carbono totais, 1,3% cinzas, da qual 90% cálcio, 11 mg/100g de vitamina C e 30µg/100g de carotenóides e 1,1% de fibra. Segundo Sáenz (ibidem) são também ricos em cálcio (93mg/100g) e potássio (166mg/100g).

Segundo Sáenz (ibidem), deve-se levar em conta o momento da colheita devido a variação da acidez nos cladódios, em virtude do metabolismo crassuláceo, (Figura 14).

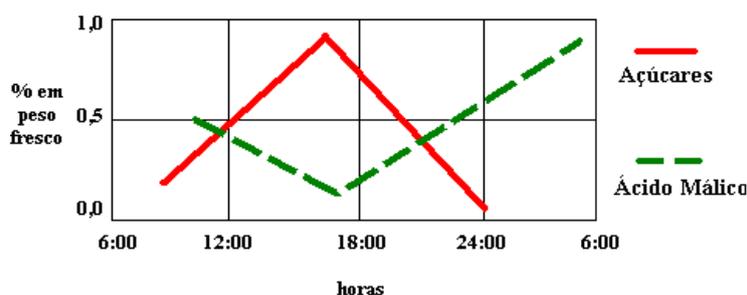


Figura 14 – Variações dos níveis de açúcares (linha vermelha) e de ácido málico (linha verde tracejada) em folhas isoladas de *Sedum*, um típico vegetal suculento. Fonte: T. Bennet-Clark, *New Phytol.* 32:128, 1933, *apud* Rizzini (ibidem).

1.2.2 – Usos da *Opuntia*

Os potenciais de uso das *Opuntias* são variados. Segundo Sáenz (ibidem), a fruta consumida naturalmente - fruta fresca - é sua forma mais tradicional e antiga, no Brasil ela é conhecida pelo nome de Figo da Índia (Figura 15, p. 29). A fruta pode ser utilizada também na fabricação de marmeladas, sucos e néctares, como em produtos desidratados, passas, polpas concentradas para sucos ou sorvetes, gomas, geléias, caramelos comestíveis, xaropes ou caldas. Podem ser extraídos corantes das frutas ou produzir o “colonche”, uma bebida fermentada de baixa graduação alcoólica, além de vinho, aguardente e licores de variadas cores, devido às diversas cores dos frutos. Das sementes pode-se fazer azeite comestível.

Os nopalitos (cladódios jovens) são muito utilizados na alimentação como verdura, em conserva, escabeche, molhos ou saladas, principalmente no

sul dos Estados Unidos e no México ou na produção de marmeladas, doces de nopalitos, nopalitos cristalizados, caramelos, geléias, gomas e confeitados, ou na produção de sucos (água de nopal). Na indústria cosmética, a *Opuntia* também é utilizada em cremes, loções, géis e xampus, como um dos ingredientes de sua fabricação. Outra utilização possível é a produção de cestos, artesanatos e outros objetos a partir da sua penca lignificada ou como lenha. Os cladódios também podem ser utilizados para a produção de biogás e fertilizantes ou para a alimentação do gado.

A mucilagem dos nopalitos pode ser utilizada para melhorar a consistência de marmeladas de diversas frutas ou como estabilizante de espumas e emulsões.

A partir dos cladódios (variadas idades) é também produzida a farinha de nopal, utilizada como suplemento alimentício rico em fibra, em cosméticos ou para fins medicinais (ainda em fase de estudos científicos), ou na produção de pães, biscoitos, cereais, pastas, tortas, cremes ou sobremesas.

E, no cacto, hospedeiro da cochonilha (*Dactylopius coccus*), pode-se cultivá-la e produz o carmim, corante natural, utilizado nas indústrias de alimentos, cosméticos, farmacêuticos, tintas para laboratórios, papéis e tecidos (Figura 16). O Peru é o maior produtor mundial de cochonilha seca.



Figura 15 – Figo da Índia. Fonte: <http://frutasraras.sites.uol.com.br/opuntiaficus.htm>.

Figura 16 – Cladódio com cochonilha (*Dactylopius coccus*), cochonilha seca e moída (no prato).

Fonte: www.geocities.com/granacochinilla/pencarmin.jpg. Acessados em 20/03/2009.

1.2.3 – Uso do Cacto na Construção

Dentre as diversas utilizações da *Opuntia* destacamos seu uso dentro da construção civil. Segundo Hoyle (*apud* OLIVEIRA *et al*, 2005), a seiva da *Opuntia ficus-indica* foi utilizada como material colante nas ruínas de Chan-Chan, no Peru, consideradas como Patrimônio da Humanidade (Figuras 17 e 18). Lengen (2004) acrescenta a informação da utilização da mucilagem pelos povos indígenas do México, em seus templos, e que a adição desta mucilagem com outros materiais de construção proporciona melhoria em suas propriedades. No Brasil, o uso da mucilagem em argamassas de cal tem como finalidade a restauração e, também, como fixador da cal ao substrato, conhecido como caiação.



Figura 17 – Vista de Chan-Chan, Peru. Fonte: <http://www.panoramio.com/user/995497>. Figura 18 - Detalhe das ruínas de Chan-Chan. Fonte: www.condortravel.com/slideshow/peru/gal02.jpg. Acessados em 02/03/2009.

Segundo Chandra *et al.* (1998), a cal foi usada como aglomerante em tempos antigos, sendo sua resistência baixa e pequena a sua durabilidade, porém, ela é aumentada com o uso de materiais orgânicos, chamados de polímeros naturais. Segundo Ernesto *et al.* (*apud* CHANDRA, *idem*), a resistência à umidade em paredes de adobe foi melhorada significativamente com o uso da mucilagem de cacto.

A mucilagem está contida em células localizadas debaixo da superfície externa do cacto e, segundo Chandra *et al.* (*ibidem*), essas células

contêm mono ou di-sacarídeos, formando os polissacarídeos, sendo maior sua produção na estação quente e seca. Master (1958) identificou no cacto *Nopalea cochenillifera*, classificado como *Opuntia*, polissacarídeos de pentoses, como arabinose e xilose, e de hexoses, como glucose e galactose, e açúcares livres, como frutose, glucose, sucrose, maltose e traços de rafinose. Chandra *et al.* (*ibidem*) identificaram a presença de proteínas e polissacarídeos no extrato de cacto e sugerem que outras *Opuntias* possam apresentar semelhante gel.

Chandra *et al.* (*ibidem*) pesquisaram a adição de extrato de cacto, na forma de gel, em argamassas de cimento *Portland* (traço 1:3:0,5 de cimento, areia e água) e seu processo de hidratação. A extração da mucilagem foi obtida depois das folhas de cacto serem cortadas e colocadas em água, na proporção de 1:3 (cacto:água), durante dois dias. Foram produzidas amostras sem extrato de cacto (R), amostras com 50% de quantidade de água e 50 % de quantidade de extrato de cacto (C50) e amostras com 100% de quantidade de extrato de cacto (C100).

Segundo estes Autores, a presença de polissacarídeos aumentou a trabalhabilidade da argamassa devido às características de retenção de água, além de um lento endurecimento, diminuindo a formação de rachaduras e conseqüentemente aumentando a resistência da argamassa com o tempo, (Tabela 05). Segundo os mesmos, o hidróxido de cálcio produzido pela hidratação do cimento *Portland* interage com os componentes do extrato de cacto, polissacarídeos ou proteínas, e formas complexas, afetando o processo de cristalização, não permitindo a formação de grandes cristais de portlandita.

Tabela 05 – Consistência, massa unitária da pasta e resistência à flexão/compressão em amostras com 0% de extrato de cacto (R), amostras com 50% de extrato de cacto (R50) e amostras com 100% de extrato de cacto (R100).

| N° | Extrato de cacto (%) | Consistência <i>flow table</i> (mm) | Massa unitária da pasta (kg/m³) | Resistência Flexão/compressão (MPa) | | | |
|------|----------------------|-------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|----------|-----------|-----------|
| | | | | 1 dia | 7 dias | 28 dias | 90 dias |
| R | 0 | 124 | 2230 | 5,2/16,8 | 7,5/35,9 | 9,8/48,0 | 10,7/51,2 |
| C50 | 50 | 128 | 2190 | 4,2/15,7 | 6,8/26,0 | 10,1/48,5 | 11,5/54,3 |
| C100 | 100 | 132 | 2160 | 3,8/14,9 | 5,9/22,3 | 10,0/43,5 | 11,8/57,4 |

Fonte: Chandra *et al.* (1998).

Os resultados de absorção de água por capilaridade mostraram que a amostra com extrato de cacto absorve menor quantidade de água, segundo os Autores, devido ao filme formado pelo extrato de cacto e pelos poros fechados, produzindo uma estrutura mais densa.

O ensaio de absorção por capilaridade comparou cubos mergulhados em 100% de extrato de cacto e outros não. O cubo mergulhado no extrato de cacto apresentou uma menor taxa de absorção. Segundo os Autores, uma possível explicação é que a água do extrato é absorvida pelo concreto e o grupo de hidroxilas dos polissacarídeos e aqueles formados durante a quebra das proteínas produzindo complexos, cristaliza na superfície, tornando-o mais impermeável.

Outro ensaio realizado refere-se à resistência ao congelamento-descongelamento (*freeze-thaw resistance*). As amostras foram colocadas em uma solução saturada de Cloreto de Sódio a -20°C, durante 16 horas, período de congelamento, e depois em água em temperatura ambiente por 8 horas, período de descongelamento. As amostras foram pesadas em diferentes intervalos, (Tabela 06). As amostras sem extrato perderam peso no 7º ciclo, enquanto que as amostras com extrato de cacto perderam peso no 26º ciclo.

Tabela 06 – Teste de congelamento e descongelamento de amostras com 0% de extrato de cacto (R), amostras com 50% de extrato de cacto (R50) e amostras com 100% de extrato de cacto (R100) colocadas em solução saturada de Cloreto de Sódio. Ganho ou perda de massa em kg/m².

| Nº | 3 ciclos | 7 ciclos | 10 ciclos | 13 ciclos | 16 ciclos | 26 ciclos | 35 ciclos |
|------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| R | +0,643 | -0,801 | -3,900 | -6,600 | quebra | ----- | ----- |
| C50 | +0,058 | +0,06 | +0,065 | +0,042 | +0,031 | -0,076 | -1,45 |
| C100 | +0,040 | +0,042 | +0,041 | +0,041 | +0,038 | -0,059 | -0,58 |

Fonte: Chandra *et al.* (1998).

Cárdenas *et al.* (1998), pesquisaram os efeitos da incorporação da mucilagem de cacto, em pastas de hidróxido de cálcio, Ca(OH)₂, e de cal comercial, nas propriedades mecânicas, baseados no teste de penetração e ruptura (*penetration-breaking test*).

A mucilagem, nesse trabalho, foi obtida através da cocção, a vapor, dos cladódios de *Opuntia spp.*, sendo o cacto picado em pedaços para melhor extração da mucilagem, e em seguida, o gel obtido foi liofilizado. Foram adicionadas diferentes concentrações de mucilagem liofilizada (0,65%, 1,0% e 1,95% em relação à massa de cal). Os resultados obtidos nos ensaios indicaram que a adição de mucilagem à argamassa de cal resultou numa formação de estruturas mais fracas.

Hernandez Zaragoza (2000) estudou a adição da mucilagem de *Opuntia streptacantha*, na forma liofilizada, em argamassas de cal, gesso e cimento *Portland*, com o objetivo de melhorar suas propriedades mecânicas.

Inicialmente, foi preparada argamassa de cimento e adicionada diferentes quantidade de mucilagem liofilizada (0,25%, 0,5%, 0,75% e 1,0% em relação à massa de cimento), e o melhor resultado obtido no ensaio de compressão foi com a adição de 0,25% de mucilagem. Em seguida, foram preparadas argamassas de cal, gesso e cimento e adicionadas 0,25% de mucilagem. Os melhores resultados foram obtidos nas argamassas com mucilagem, em todos os materiais estudados, e em todos os dias em que ocorreram os ensaios (Tabela 07).

Tabela 07 – Resistência à compressão simples em corpos-de-prova cúbicos de 50 x 50 x 50 mm.

| Mistura | Resistência à compressão (MPa) | | |
|----------------------------------------|--------------------------------|--------|---------|
| | 3 dias | 7 dias | 28 dias |
| Cal e areia | 1,494 | 1,616 | 2,206 |
| Cal, areia e mucilagem liofilizada | 1,591 | 2,255 | 2,703 |
| Gesso e areia | 2,551 | 3,308 | 12,546 |
| Gesso, areia e mucilagem liofilizada | 4,922 | 13,124 | 15,183 |
| Cimento e areia | 11,755 | 14,585 | 19,902 |
| Cimento, areia e mucilagem liofilizada | 12,369 | 18,307 | 22,780 |

MPa = 10 kg/cm², conversão aproximada, realizada pela autora. Fonte: Hernandez *et al.* (2000).

Nota 02 – O processo de liofilização consiste primeiramente na extração da mucilagem em gel, obtida por diluição dos pedaços de cacto em água ou por trituração do cacto, sem adição de água. Em seguida, o gel obtido é colocado em liofilizadora, sob pressão de 0,001 mbar, correspondente à 0,1 Pa, e temperatura de -50°C, e centrifugado por 24 horas. O objetivo deste processo é separar a água do gel, obtendo apenas mucilagem liofilizada.

Hernandez Zaragoza (*idem*) conclui que a adição de mucilagem liofilizada melhora a trabalhabilidade das argamassas e que a mistura de gesso, areia e mucilagem liofilizada apresentou um pH de 11,38, sendo indicado sua utilização com o aço, visto que não provocaria sua corrosão, e recomenda a fabricação de painéis, devido a sua alta resistência, baixo custo e uso modular, o que permitirá fazer construções mais duráveis e rápidas.

Noriega Montes *et al.* (2005) adicionaram pó de *Opuntia* desidratada, em concreto hidráulico, observando um aumento na resistência à compressão e melhor trabalhabilidade, servindo também como acelerante deste concreto.

Os Autores identificaram que a adição de 0,35% de pó de *Opuntia* em relação ao peso de cimento obteve os melhores resultados na resistência à compressão, em todas as idades, e que a redução da água de amassamento do concreto melhorou também a retração na mistura.

Oliveira *et al.* (2005) estudaram a adição da mucilagem do cacto do gênero *Opuntia*, na forma de gel, em argamassa de cal. O gel foi obtido pela trituração dos pedaços de cacto (16% em relação à massa de cal) com 50% da água reservada para a moldagem. Foi obtida uma pasta muito viscosa, e após uma hora, coada. A mucilagem resultante foi acrescentada juntamente com a água restante nas amostras, até a consistência adequada.

O Autores concluíram que a mucilagem possui ação plastificante, além de melhorar as propriedades mecânicas, aumenta a compacidade e diminui a absorção capilar, apresentando apenas aspecto desfavorável quanto à retração.

Torres-Acosta *et al.* (2005) estudaram o comportamento eletroquímico de barras de aço localizadas dentro de um prisma de concreto aditivado com *Opuntia* e *Aloe vera* desidratados (1% e 2% de substituição do cimento), sendo colocado sobre o prisma uma solução de 3% de cloreto de sódio. Os resultados indicam que a adição de 2% de *Opuntia* no concreto retarda o início da corrosão das barras de aço, produzindo um aumento da resistência de polarização e com isso, diminuindo a taxa de corrosão.

Torres-Acosta e Cano Barrita (2007) verificaram que a adição de *Opuntia* desidratada em argamassas atua como acelerante e que a consistência da pasta aumenta com a adição deste extrato, diminuindo a trabalhabilidade da argamassa, sendo a resistência mantida mesmo com uma maior quantidade de água.

Os autores comparam a extração da mucilagem em água fria (em repouso por alguns dias) e a cocção de pedaços de cacto em água por 30 minutos. Os resultados indicam uma maior constância da viscosidade com o passar de dias na mucilagem extraída pela cocção de pedaços de cactos do que a mucilagem extraída em água fria, que neste caso, perde a viscosidade no terceiro e quarto dia (Figura 19).

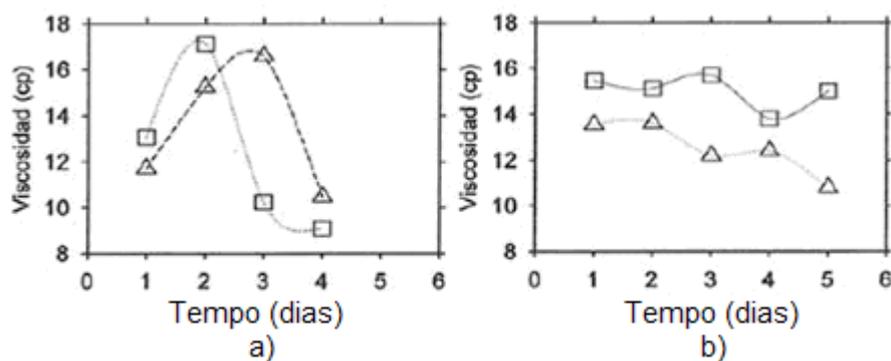


Figura 19 – Viscosidade do extrato de cacto. Relação de água por nopal em peso $\square=1$ e $\Delta=2$. a) extração em água fria, b) extração pela cocção de cactos. Fonte: Torres-Acosta e Cano Barrita, (2007).

Percebe-se que existem diferentes formas de extração da mucilagem. O cacto pode ser cortado e colocado em água, durante 2 ou 3 dias, para extração da mucilagem na forma de gel; o cacto pode ser cortado e cozido à vapor, ou simplesmente macerado, sendo em seguida coado e obtida a mucilagem, sem adição de água; o cacto pode ser cozido em água fervente, durante 30 minutos; pode ser obtida a mucilagem através da liofilização, sendo o gel submetido à baixas pressão e temperatura permitindo retirar a água do gel; ou, o cacto pode ser utilizado na forma de pó, onde casca e fibras, além da mucilagem, são desidratadas e trituradas.

Pode-se constatar que, nos trabalhos aqui apresentados, a mucilagem de cacto melhora as propriedades mecânicas das pastas e argamassas de cal, gesso e cimento e, também, no concreto, com exceção ao trabalho de Cárdenas (*idem*). Cabe ressaltar que esse autor foi o que incorporou maior quantidade de mucilagem liofilizada (0,65%) que os demais, o que poderia justificar o resultado obtido.

A mucilagem adicionada em gel aumenta a trabalhabilidade das misturas. A mucilagem em pó, adicionada nas misturas, obtida por liofilização, também aumenta a trabalhabilidade, conforme citado por Hernandez Zaragoza (2000), porém, a mucilagem obtida por desidratação, não há consenso. Noriega Montes *et al.* (2005) refere o aumento da trabalhabilidade nas misturas, enquanto Torres-Acosta e Cano Barrita (2007) sua diminuição. Talvez essa variação esteja relacionada com a forma como os cactos foram desidratados. Segundo Torres-Acosta (2007), a diminuição da trabalhabilidade ocorre devido às fibras presentes nos cactos desidratados, e serem elas as responsáveis pela absorção da água de amassamento.

Constou-se que a mucilagem adicionada em forma de gel retarda o tempo de endurecimento das misturas, enquanto a mucilagem desidratada, em pó, acelera o tempo de pega.

1.3 – GESSO

Gesso é um dos mais antigos materiais de construção fabricados pelo homem. É obtido pelo aquecimento, em baixa temperatura, da pedra de gipso ou gipsita, transformando-se em um pó, que em contato com a água, endurece.

Segundo Lê Platre (*apud* MUNHOZ, 2008), o emprego do gesso foi verificado em ruínas na Síria e na Turquia (datadas de 8.000 anos a.C.), em escavações de Jericó (6.000 anos a.C.), na pirâmide atribuída a Quéops (2.800 anos a.C.) e na África, os Berberes construíram barragens e canais com gesso de altíssima resistência e, utilizaram o gesso junto aos blocos de terra para a construção de suas habitações. Segundo o Autor, a tradição do uso do gesso vem das culturas mesopotâmicas, onde existia abundância do material na natureza e o clima seco favorecia sua conservação.

Segundo Lê Platre (*apud* GESSO MONÉA, 2009), o filósofo Theofraste, que viveu entre os séculos IV e III a.C., discípulo de Platão e Aristóteles, tornou-se conhecido por seu “Tratado de Pedra”, onde citava a existência de gesseiras em Chipre, na Fenícia e na Síria, e indicava que o gesso era utilizado como argamassa na ornamentação, nos afrescos, nos baixos relevos e na confecção de estátuas.

Na França, segundo Lê Platre (*apud* GESSO TOP LINE, 2009), após a invasão romana, inicia-se o conhecimento dos processos construtivos com gesso, sendo empregado em igrejas e capelas. Em 1292, uma carta real mencionava a exploração de 18 jazidas de pedra de gesso, na região parisiense. Talvez se deva a este fato o termo “gesso de Paris”, conhecido posteriormente apenas como gesso. Na Renascença, o gesso era empregado na decoração, e na época do Barroco, chamado de gesso de estuque.

Segundo o mesmo, a partir do século XII e fim da Idade Média, as construções utilizando as argamassas com gesso eram desejadas por oferecerem diversas vantagens, como a resistência ao fogo e por não propagar as chamas. Devido a essa qualidade, em 1667, o rei francês Luis XIV edita

uma lei tornando obrigatório o uso do gesso no interior e exterior das construções, ano seguinte ao incêndio ocorrido em Londres.

Segundo Munhoz (*idem*), a partir do século XVIII é generalizado o uso do gesso em construções européias, possibilitando em 1768, a Lavoisier apresentar o primeiro estudo científico sobre os fenômenos que servem de base à preparação do gesso. No século XIX, Van t'Hoff e Lê Chatelier apresentaram uma explicação científica para a desidratação da gipsita.

A partir do século XX, com a invenção do forno industrial, a fabricação do gesso agrega maior tecnologia, ocorrendo melhoria do material produzido, favorecendo o aumento de sua produção e facilitando suas formas de emprego.

1.3.1 – Aspectos Gerais

O gesso é um dos três aglomerantes disponíveis para a construção civil, no país, segundo Agopyan (1989). Os outros dois aglomerantes são o cimento e a cal. Os aglomerantes minerais são classificados em aéreos (cal, gesso e cimento sorel) e hidráulicos (cimentos *Portlands*, simples, compostos e com adições), ambos quimicamente ativos.

Segundo Sindusgesso (2009), o Brasil possui uma reserva de cerca de 1.220 milhões de toneladas de gipsita, sendo uma das mais expressivas e importantes do mundo, principalmente pelo alto teor de pureza do gesso. A previsão de exploração da reserva brasileira é de 600 anos.

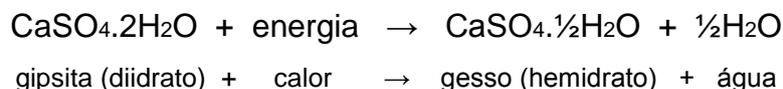
Segundo Sindusgesso (2009), a região do Araripe, localizada no sertão pernambucano, possui 40% das reservas de gipsita do mundo e atende 95% da demanda de gesso do mercado nacional (Figura 20, p. 39). Segundo o mesmo, Pernambuco produz 1,3 milhões de toneladas por ano, e desta produção, 61% são destinados para produção de blocos e placas, 35% para revestimento, 3% para moldes cerâmicos e 1% para outros usos.



Figura 20 - Minerador extraíndo gipsita da bacia do sertão do Araripe, Pernambuco. Fonte: http://www2.uol.com.br/JC/sites/semfronteiras/galeria_foto1.htm, acessado em 22/03/2009.

A matéria-prima do gesso é o minério gipso, constituído principalmente pelo mineral gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), podendo conter anidrita (CaSO_4) e minerais acessórios em pequenas quantidades, como calcita, dolomita, e cloreto de sódio, segundo Aguiar (*apud* MUNHOZ, *ibidem*).

Segundo Agopyan (1989), para a fabricação do gesso é utilizada a gipsita, sulfato de cálcio com duas moléculas de água (diidrato), que, quando cozida ou calcinada em temperaturas relativamente baixas (140°C - 150°C), perde água, liberando-a na atmosfera, e transformando o diidrato em hemidrato, ou gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$). A quantidade de energia para a calcinação do gesso é pequena se comparado com a energia necessária para a fabricação do cimento, que necessita de temperaturas acima de 1.400°C .

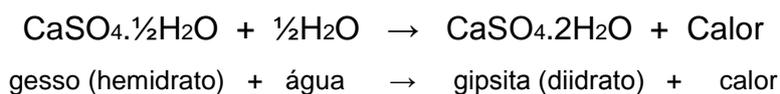


Duas formas de gesso são obtidas na desidratação da gipsita: o tipo alfa e o tipo beta. O hemidrato alfa é obtido em uma atmosfera saturada de vapor, enquanto o hemidrato beta é obtido sem essa saturação. Os dois gessos apresentam a mesma estrutura cristalina, porém o tipo alfa é mais resistente que o gesso beta por ser menos solúvel, necessitando menos quantidade de água para se obter uma boa trabalhabilidade.

Conforme a temperatura de calcinação e o tempo de permanência no forno, a gipsita pode se transformar em anidrita, podendo ser solúvel ou insolúvel. O gesso utilizado na construção civil para revestimento é do tipo beta contendo pequenas porções de anidrita (solúvel e insolúvel) e impurezas como o próprio diidrato (matéria-prima) e argilominerais.

Segundo Munhoz (*ibidem*) o beneficiamento da gipsita envolve as operações de coleta manual, britagem, moagem, peneiramento, ensilamento, calcinação, estabilização térmica em silos, nova moagem e novo ensilamento e, por fim, ensacamento.

O endurecimento do gesso se faz com a adição de água e em poucos minutos. Esse processo envolve a dissolução do gesso em água, seguida de precipitação na forma de diidrato, liberando calor:



Segundo Agopyan (1989), o diidrato, produto do gesso, é mais solúvel que os produtos resultantes da cal e do cimento e, por esta razão, esse material não pode ser aplicado em áreas molháveis, e alerta para a incompatibilidade do sulfato aos metais ferrosos, impedindo o reforço deste com esses materiais. O Autor também acrescenta que, o diidrato por se decompor a baixas temperaturas libera água, retardando a propagação do fogo, sendo recomendado como proteção contra o fogo de outros materiais de construção, e, pela sua facilidade de absorção e perda de água, contribui no equilíbrio da umidade relativa do ar de ambientes fechados, principalmente os climatizados.

Segundo Alves (2006), as argamassas de gesso podem substituir as de aglomerantes hidráulicos nos revestimentos de interiores, com a vantagem de um acabamento liso, dispensando a massa corrida para a pintura. O gesso também pode ser utilizado em placas para forros, blocos para paredes divisórias e sancas. Pode-se adicionar nas argamassas agregados leves como a vermiculita ou perlita, e fibras diversas como pêlos de animais, fibras sintéticas, de vidros e fibras vegetais, favorecidas pelo pH neutro do gesso.

Segundo Agopyan (1989), resultados satisfatórios foram obtidos com a adição de papel imprensa desagregado, 6% obteve 1.177 kg/m³ de massa unitária e 7,1 MPa de resistência à tração na flexão, e 9% obteve 1.072 kg/m³ de massa unitária e 8,3 MPa de resistência à tração na flexão.

Fiorini *et al.* (1995) pesquisaram uma divisória de argamassa de gesso reforçada com fibras de sisal. Observaram que o comprimento de 6 cm das fibras de sisal tornou mais difícil uma distribuição homogênea dessas na argamassa, sugerindo um comprimento de 3 cm, 1,5% de volume de fibras e traço 1:0,5:0,6 de gesso, areia e água, em massa.

As propriedades físico-mecânicas do gesso, segundo as normas NBR 13207/94 – Gesso para Construção Civil – Especificações, NBR 12127/91 – Gesso para Construção – Determinação das propriedades físicas do pó e NBR 12129/91 – Gesso para Construção – Determinação das propriedades mecânicas, são:

Resistência à Compressão: > 8,40 MPa.

Dureza: >30,00 N/mm².

Massa Unitária: >700,00 kg/m³.

Segundo a NBR 13207/94 e NBR 12128/91 – Gesso para Construção – Determinação das propriedades físicas da pasta, o gesso fino para revestimento possui tempo >10 minutos para o início de pega e >45 minutos para o fim de pega. A quantidade de água influencia na rapidez da pega, no endurecimento e resistência. Quanto menos água mais rápida a pega e maior a resistência. Segundo Munhoz (*ibidem*) quanto maior a relação água/gesso menores as propriedades mecânicas, provocado pelo aumento da porosidade.

A velocidade de crescimento dos grãos de gipsita também influi nas propriedades mecânicas. Segundo Agopyan (1989), o endurecimento ou a cristalização ocorre através de núcleos que vão se expandindo. Grande número de núcleos resulta em grande quantidade de cristais de pequenas dimensões, enquanto poucos núcleos resultam em poucos cristais de grandes dimensões. O crescimento rápido dos núcleos de cristalização propicia um grande número de núcleos mal formados, enquanto o crescimento lento

favorece grandes cristais com poucas imperfeições. Em geral, um diidrato com cristais grandes tem menor resistência mecânica que um com cristais menores. O tamanho dos cristais depende das impurezas do gesso, dos aditivos e das condições de cristalização.

Devido à rápida pega do gesso, usualmente adiciona-se ao gesso mais quantidade de água para um maior tempo de utilização. Segundo Antunes *et al.* (1999), o conceito de tempo de pega não é adequado, visto que a consistência adequada para aplicação em revestimento ocorre após o período de indução (Figura 23). Os Autores propõem o “tempo útil”, para o período de utilização, não sendo exatamente o intervalo de tempo de início e fim de pega.

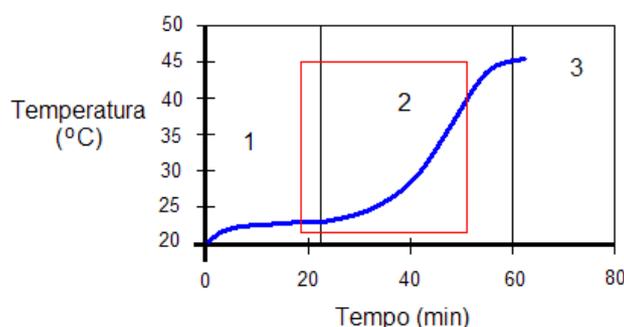


Figura 21 - Curva de hidratação de uma pasta de gesso. 1 – Período de hidratação, indução e do início da pega, 2 – Reação rápida de hidratação, 3 – Conclusão da hidratação e final de pega. Em vermelho: Tempo útil. Fonte: Antunes *et al.*, 1999.

O tempo útil médio encontrado pelos Autores foi de 30,6 minutos e a adição de água, empírica, utilizada pelo gesseiro foi muito maior que a relação água/gesso segundo a NBR 12129/91, o que favoreceu um tempo útil maior, sendo o início de sua utilização antes do tempo de início de pega.

Outra forma de aumentar o “tempo útil” das pastas de gesso é a incorporação de aditivos, que são assim considerados:

“os produtos que em pequena porcentagem são inseridos na composição final de um produto para modificar ou acrescentar alguma propriedade. Eles podem ter a função de retardadores de pega, aceleradores de pega, espessantes ou redutores de água, fluidificantes e impermeabilizantes”. (MANUAL DO GESSO, *apud* MUNHOZ, 2008, p. 39).

Munhoz (2008) pesquisou o efeito de quatro diferentes aditivos em pastas de gesso: o Imperwall, Masterfix, Glenium 3200 HES e o Silicone. A adição combinada de Silicone (0,6% em relação à massa de gesso) e Glenium 3200 HES (0,6% em relação à massa de gesso) permitiu maior redução da relação água/gesso (0,5) da pasta, e os resultados dos ensaios nos corpos-de-prova apresentaram menores taxas de absorção por imersão e por fervura, menor índice de absorção por capilaridade e maior resistência à compressão.

Nesta dissertação, foram utilizados dois tipos de aditivos comerciais: o impermeabilizante Chapix Ar e o superplastificante Glênium 51, de terceira geração.

O impermeabilizante Chapix Ar possui base acrílica e, segundo Anhortec (2007), seu fabricante, o produto tem a função de facilitar a aplicação do chapisco rolado, melhorar a aderência ao substrato, diminuir a retração e a permeabilidade em chapiscos, argamassas e concretos, aumentar a coesão e reduzir a fissuração das argamassas. Indicado para chapiscos comuns ou rolados e para argamassas de acabamento, ambos em paredes internas e externas. Segundo o fabricante, possui aspecto de um líquido branco leitoso, massa específica de 1,015 kg/dm³ e pH alcalino (8,0 – 9,5). Segundo o mesmo, a quantidade de Chapix Ar a ser utilizada é de 1/3 da água de amassamento e o restante, 2/3, de água.

O superplastificante Glênium 51 possui base em uma cadeia de éter policarboxílico modificado e, segundo seu fabricante, BASF S.A. – The Chemical Company (2009), o aditivo tem a função de propiciar superplasticidade e alta redução de água, aumentando a trabalhabilidade, sem reduzir o tempo de pega. O aditivo também aumenta as resistências à compressão axial e tração na flexão, além de aumentar o módulo de elasticidade e reduzir a permeabilidade. Indicado para concretos fluidos, concretos reodinâmicos e concretos de alto desempenho, geralmente utilizado em pré-moldados e concretos protendidos, onde se requer maior durabilidade e desempenho. Segundo o fabricante do produto, possui aspecto de um líquido viscoso branco turvo, densidade de 1,067 a 1,107 g/cm³ e pH ácido (5,0 – 7,0). A quantidade de Glenium 51 a ser utilizada é de 0,2% a 1,0% sobre o peso do cimento.

1.3.2 – Gesso Acartonado

Segundo o SINDUSGESSO (2009), a maior parte do gesso produzido, na região do Araripe, se destina principalmente para a fabricação de placas de gesso acartonado. Por esta razão, será abordado este produto nesta dissertação, apresentando suas características, vantagens e desvantagens em sua utilização.

A chapa de gesso acartonado é constituída de um painel de gesso de 6,4 a 15 mm de espessura, envolvida em todas as faces (exceto as bordas menores), por papel cartão resistente. Possui 60 ou 120 cm de largura e comprimentos que variam de 180 a 360 cm. São aparafusados em uma estrutura metálica composta de guias horizontais e montantes verticais de aço galvanizado. Assemelha-se a uma chapa de compensado e pode ser cortada, pregada, aparafusada, furada ou serrada. Possui baixo peso, uma placa com 12,5 mm de espessura pesa de 8,0 a 12,0 kg/m². Informações obtidas nos sites www.placo.com.br, www.lafarge.com.br e www.knauf.com.br, acessados em 27/03/2008.

No Brasil, são comercializadas as placas de uso comum (*Standard*), placas resistentes à umidade (com aditivo no gesso – silicone - e cartão com hidrofugante), placas resistentes ao fogo (com a adição de vermiculitas e fibras de vidro) e placas para absorção acústica. As placas podem ser utilizadas como divisórias, internas, e como forros.

Segundo Sabbatini (1998), foi Augustine Sackett, em 1898, quem inventou as chapas de gesso acartonado nos Estados Unidos e na década de 40 passaram a ser utilizadas de forma intensiva como divisórias internas. Segundo Corbioli (*apud* Taniguti e Barros, 1998), 90% das paredes internas, nos Estados Unidos, são em gesso acartonado. No Brasil a produção teve início em 1972, em Petrolina, através da Gypsum do Nordeste e o principal marco representativo foi a construção do conjunto habitacional Zezinho Magalhães Prado, na cidade de Guarulhos, São Paulo. Entretanto, somente na década de 90 é que o setor da construção civil começou a questionar a

utilização do gesso acartonado em substituição as tradicionais paredes de alvenaria, na divisão de paredes internas de edifícios residenciais e comerciais.

Uma das facilidades no uso das placas de gesso acartonado se deve à rapidez na montagem e ao processo de construção a seco, que compreende o método construtivo de montagem por acoplamento, em oposição ao método de moldagem no local com a utilização de água como as argamassas e concretos. Nos Estados Unidos estes métodos são denominados genericamente de “drywall construccion”. Em 1994 foi fundada no Brasil a empresa “Drywall Tecnologia de Paredes e Forros Ltda” e hoje este termo é associado à marca registrada de um dos fabricantes de chapa de gesso acartonado. Em 1995 é constituída a Lafarge Gypsum e a Placo do Brasil, e em 1997, instala-se no país a Knauf, empresa alemã.

Para Sabbatini (1998), existem no mercado fatores favoráveis para a expansão desta tecnologia como a competitividade na produção e a busca por reduzir custos e racionalizar os processos construtivos com inovações tecnológicas e a exigência dos clientes na qualidade e manutenção dos edifícios (Figura 22).



Figura 22 – Consumo anual de placas de gesso acartonado no Brasil. Fonte: www.knauf.com.br, acessado em 20/04/2009.

Segundo Taniguti e Barros (1999), quanto maior for o nível de detalhamento e a verificação das interferências entre os anteprojetos, melhor será o resultado e maior será a eficiência nas soluções como um todo e,

ênfatizam que, o anteprojeto das divisórias deveria ser desenvolvido em conjunto com os demais anteprojotos do edifício.

As Autoras exemplificam algumas interferências que devem ser observadas quando utilizadas as divisórias de gesso acartonado. Inicialmente deve-se definir o desempenho de cada divisória, como desempenho acústico, de resistência ao fogo ou à umidade. Depois, observar os seguintes aspectos:

Quanto à arquitetura, tais como comprimento e altura das divisórias, modulação, localização e dimensão dos vãos de portas e esquadrias (para otimizar os perfis metálicos), o tipo de fixação da divisória à vedação vertical externa e a localização do mobiliário para a previsão de reforço no interior da divisória;

Quanto à estrutura, tais como localização de componentes estruturais, juntas estruturais, dimensão dos pilares e vigas e a deformabilidade de lajes e vigas;

Quanto às instalações hidráulicas deve-se observar a viabilidade de “shafts”, o tipo de tubulação (rígida ou flexível), o diâmetro, a localização dos pontos e os aparelhos sanitários; quanto às instalações elétricas, observar a concentração de eletrodutos, localização dos pontos, especificação, dimensão, localização e o tipo do eletroduto (rígido ou flexível);

E quanto à impermeabilização (análise das soluções de interface entre divisória e piso). Posteriormente detalhar todo o projeto executivo, e após esta etapa, analisar criticamente se existe melhorias a serem feitas quanto à racionalização. O projeto para produção também visa à organização do canteiro de obras e a definição da seqüência de execução.

Sabbatini (1998) cita, em seu trabalho, outras vantagens da utilização das divisórias de gesso acartonado, como a flexibilidade na modulação, permitindo alteração em sua disposição, serviço mais limpo e menor perda de materiais, permitindo menor geração de entulho, além de melhor produtividade, com a redução de custos e prazos. Para o Autor, o

aumento da produtividade depende de uma mão-de-obra especializada e otimização da logística da obra. Para o Autor:

“a divisória leve de gesso acartonado é uma etapa da montagem industrial de edifícios. Se o processo de produção aproveitar esta sua característica e adequar-se integralmente a ela, as vantagens econômicas irão se realizar em todos os demais subsistemas e não apenas nas vedações internas”. (SABBATINI, 1998, p. 77).

A aplicação das divisórias de gesso acartonado exige extremo cuidado na instalação de água, visto que, sendo oca “esconde” o local do vazamento e também deve seguir as especificações para obter bom desempenho acústico, conforme observado por Losso e Silva (2004).

A utilização de placas de gesso acartonado apresenta vantagens no tipo de método construtivo, a seco, além de apresentar dimensões padronizadas e instalação rápida em perfis metálicos. Entretanto, a utilização dessas placas requer cuidados específicos em sua instalação, devido às várias interfaces com outras etapas, instalações e estruturas. A não observância desses cuidados pode prejudicar o desempenho deste produto.

1.3.3 – Reciclagem do Gesso

A Resolução 307/2002 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil (CONAMA 307, 2002). Nela, os resíduos do gesso estão classificados como classe C - resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação.

Segundo esta Resolução, os geradores deverão ter como objetivo prioritário a não geração de resíduos e, secundariamente, a redução, a reutilização, a reciclagem e a destinação final.

Os resíduos do gesso podem provocar dois tipos de contaminação, se não dispostos adequadamente: se estiverem misturados com outros materiais, e estes forem utilizados para reciclagem, a quantidade de gesso pode comprometer os agregados reciclados; e se os resíduos forem despejados em aterros ou lixões, o gesso pode formar o gás sulfídrico.

O gesso é a principal fonte de sulfatos, considerado um dos contaminantes dos agregados reciclados. A quantidade de gesso presente em agregados reciclados foi estudada por Aguiar e Selmo (2004). Segundo as Autoras, elevados teores de gesso podem provocar efeitos danosos aos concretos e argamassas, pois os sulfatos em presença de compostos de alumínio e cálcio podem levar a formação de produtos expansivos e provocar tensões internas e a fissuração destes materiais. As Autoras recomendam teores de 0,1% e 0,2% de sulfatos solúveis em massa no agregado reciclado e questiona o alto limite estipulado de 1,0% definido pela NBR 15116/04 – Agregados Reciclados de Resíduos Sólidos da Construção Civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural.

De acordo com Aguiar e Selmo (*idem*) e segundo a NBR 10004/04 – Resíduos Sólidos – Classificação, o gesso é classificado como resíduo não inerte, não podendo ser depositado em aterros de construção, devendo ser separado dos demais resíduos por triagem. Porém o gesso muitas vezes está aderido em concretos e alvenaria, como revestimento, não sendo viável sua separação.

Outro tipo de contaminação ocasionada pelo gesso é a deposição, errada, em aterros ou lixões:

“o gesso em contato com umidade e condições anaeróbicas, com baixo pH, e sob ação de bactérias redutoras de sulfatos, condições presentes em muitos aterros sanitários e lixões, pode formar o gás sulfídrico (H₂S), que possui odor característico de ovo podre, tóxico e inflamável”. (JOHN E CINCOTTO, 2003, p. 5).

Segundo Sindusgesso (*apud* MUNHOZ, 2008) são geradas 12.000 toneladas por ano, na grande São Paulo, de resíduos de gesso. Segundo John

e Cincotto (*idem*), 5% são as perdas ocorridas quando utilizado gesso acartonado e, segundo Agopyan *et al.* (*apud* NITA *et al.*, 2004), 45% são as perdas quando utilizado o gesso aplicado como revestimento de alvenaria. O índice elevado de perda do gesso, como revestimento, poderia ser minimizado com o aumento de seu tempo útil e com o treinamento de mão-de-obra.

O estudo realizado por Nita *et al.* (*idem*) propõe a reciclagem do gesso hidratado (diidrato) seco e moído incorporado em pastas de gesso e a reciclagem do gesso hidratado, após moagem e calcinação, transformando-o novamente em hemidrato, também incorporado em pastas de gesso. Os resultados indicam uma redução da consistência com o aumento da porcentagem de gesso reciclado adicionada, maior rapidez no tempo de pega e um significativo aumento da resistência à compressão, em relação ao material sem material reciclado. A hidratação do gesso reciclado (hemidrato) resulta em produto com composição exatamente igual a da gipsita (diidrato).

Segundo John e Cincotto (*ibidem*) a reciclagem do gesso é mais complexa, requer mais energia e mão-de-obra e apontam as dificuldades na segregação do resíduo de gesso, dependendo da conscientização das empresas especializadas em gesso, construtoras, profissionais ligados à construção civil e operários.

Pode-se resumir, dentre a revisão bibliográfica dos trabalhos analisados nesta dissertação, que:

a) A utilização de Fibras Vegetais em compósitos favorece a diversificação de produtos produzidos, o baixo custo de fabricação e comercialização, bem como a reciclagem de materiais.

b) A adição de Mucilagem de Cacto em pastas, argamassas e concretos, propicia uma melhoria de suas propriedades físicas e de resistência à absorção de água, atuando como aditivo.

c) O Gesso é um aglomerante menos agressivo ao meio ambiente, possui pH neutro, pode ser reciclado e sua maior aplicação está nas placas de gesso acartonado, cujo consumo tem crescido devido às diversas vantagens em sua utilização.

Desta forma, é proposto, inicialmente, o estudo das propriedades aditivas da mucilagem dos cactos *Opuntia ficus-indica* e *Nopalea cochenillifera* em pastas de gesso, e comparadas às pastas de gesso controle, gesso com adição de impermeabilizante Chapix Ar e gesso com adição do superplastificante Glenium 51, através dos resultados dos ensaios de absorção e flexão dos corpos-de-prova moldados. E, posteriormente, serão elaborados compósitos de gesso com as fibras de bambu, de sisal e de coco, adicionando-se a mucilagem do cacto, e comparados aos compósitos de gesso controle e de gesso com superplastificante Glenium 51, nos referidos ensaios.

2 – MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 – CACTOS *OPUNTIA* E *NOPALEA*

Foram utilizados dois tipos de cactos, *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill (Figura 23), e *Nopalea cochenillifera* (L.) Lyons (Figura 24), que segundo Ballester Olmos (ibidem), Lorenzi e Souza (2001) e Gemtchújnicov (1976) pertencem ambas à família *Cactaceae* e subfamília *Opuntioideae* K. SCH.



Figura 23 – Plantação de Cacto *Opuntia ficus-indica*, em João Pessoa, para alimentação do gado. Figura 24 - Cacto *Nopalea cochenillifera* encontrado na UnB – Universidade de Brasília.

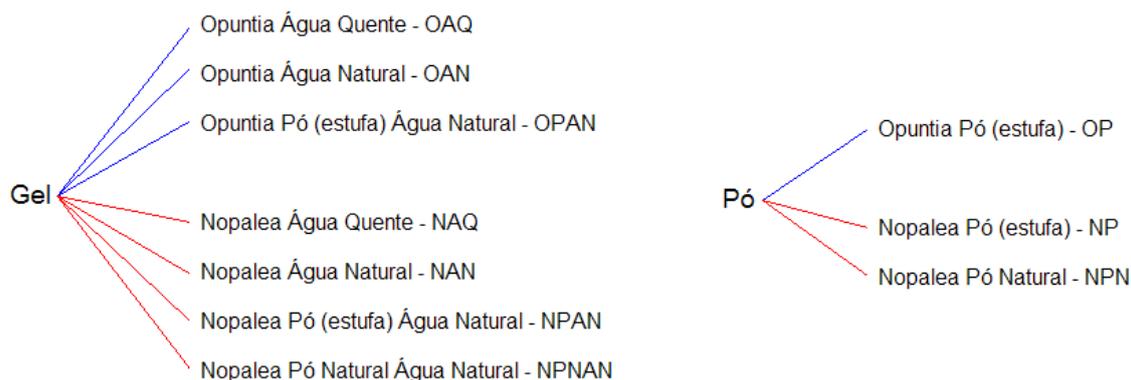
As pesquisas com cactos na revisão bibliográfica, relacionadas neste trabalho, referem-se a cactos da espécie *Opuntia*, porém o cacto *Nopalea*, facilmente encontrado em Brasília, também apresenta mucilagem na parte interna dos cladódios. Em virtude disto, foi realizada uma comparação da mucilagem extraída de ambos os cactos.

Na revisão bibliográfica, foi verificado que a mucilagem do cacto pode ser adicionada em pastas, argamassas ou concretos em forma de pó ou gel, não havendo consenso quanto a melhor forma desta adição e nem quanto ao método utilizado para extrair a mucilagem em gel ou de obtenção da mucilagem em pó. Para elucidar essa dúvida, foram produzidas placas de gesso com mucilagem nas duas formas citadas.

Na forma de pó, a mucilagem foi obtida através da desidratação em estufa das raquetes verdes de ambos os cactos, e pela desidratação natural das mesmas, apenas no cacto *Nopalea*. Supõe-se que essa desidratação natural e posterior descarte das raquetes secas no solo seja uma forma de defesa e economia da planta contra o período de estiagem. Os cactos secos foram, posteriormente, triturados e peneirados.

A mucilagem, em forma de gel foi extraída em água natural em temperatura ambiente e em água quente, ambos ocorrendo pela “diluição” da mucilagem. Na extração em água em temperatura ambiente (aproximadamente 25°C), os pedaços de cacto foram colocados em água natural e deixados de repouso por alguns dias. Na extração em água quente, o processo de diluição foi acelerado pela fervura da água à 100°C e pelo cozimento dos pedaços de cacto. Também foi pesquisada uma forma mista de obtenção da mucilagem através do pó obtido pela desidratação (estufa ou natural) deixado de repouso em água natural, formando novamente um gel.

Nesta pesquisa foram, portanto, utilizados os cactos *Opuntia ficus-indica* e *Nopalea cochenillifera* e a mucilagem de cada cacto foi incorporada às pastas de gesso nas formas em gel e em pó, e foram organizadas conforme o esquema abaixo:



Foram colhidas raquetes do cacto *Opuntia ficus-indica*, e raquetes do cacto *Nopalea cochenillifera* verdes e secas (Figuras 25, 26 e 27, p. 53). Sete raquetes de *Opuntia* somaram 7.887 g, enquanto foram necessárias mais de 40 raquetes do cacto *Nopalea* para somar 7.236 g. Os cactos colhidos estão

situados na Região Administrativa do Lago Sul, em Brasília – Distrito Federal e foram colhidos por volta das 18 horas, em outubro e novembro de 2008.



Figura 25 – Raquetes de *Opuntia ficus-indica*, com dimensões médias de 30 cm de largura por 40 cm de comprimento. Figura 26 - Raquetes de *Nopalea cochenillifera* verdes, com dimensões médias de 15 cm de largura por 25 cm de comprimento.



Figura 27 – Raquete de *Nopalea cochenillifera* naturalmente seca, com dimensões de 8 cm de largura por 15 cm de comprimento.

2.1.1 - Cacto em pó (OP, NP e NPN)

O cacto em pó pode ser obtido através da desidratação em estufa ou naturalmente, encontrado na espécie *Nopalea*.

As raquetes dos cactos verdes *Opuntia ficus-indica* e *Nopalea cochenillifera* foram pesadas em balança digital, cortadas e colocadas em estufa à 100°C, durante 36 horas (Figura 28, p. 54).

Nota 03: Foi utilizada balança digital Western BC-03, com capacidade para 3.000 g e precisão de 1 g, tarada anteriormente para a pesquisa, e Estufa de Secagem e Esterilização FANEM, modelo 315SE.

Depois de desidratados (Figura 29), os pedaços de cactos foram triturados em liquidificador e passados em peneira de malha de 10 mm. O pó resultante foi novamente triturado e peneirado, até a quase sua completa passagem pela peneira. A quantidade dos cactos colocados em estufa está descrita no Terceiro Capítulo, em Resultados, p. 65.

As raquetes de *Nopalea* naturalmente secas passaram pelo mesmo processo de trituração e peneiramento das raquetes desidratadas em estufa.



Figura 28 – Cactos verdes colocados em estufa. Figura 29 - Cactos secos antes de serem retirados da estufa.

2.1.2 – Cacto em Água Natural (OAN e NAN)

As raquetes dos cactos *Opuntia ficus-indica* e *Nopalea cochenillifera* foram pesadas em balança digital e cortadas em pequenos pedaços. Os pedaços cortados, da cada espécie de cacto, foram colocados, separadamente, em recipientes contendo água natural em cada e cobertos com plástico para evitar a evaporação da água. A relação da massa dos cactos com a quantidade de água (1:3) foi baseada no trabalho de Chandra *et al.* (*ibidem*). Decorridos dois dias de repouso, a mucilagem extraída foi coada em peneira de malha de 20 mm (Figuras 30 e 31, p. 55). A quantidade dos cactos pesados e de água medida está descrita no Terceiro Capítulo, em Resultados, p. 65.

Nota 04: A água foi medida em proveta com capacidade de 1.000 mL e precisão de 10 mL.



Figura 30 – Recipiente contendo água natural com pedaços de cacto após dois dias de repouso. Figura 31 - Mucilagem extraída em água natural sendo peneirada.

2.1.3 – Cacto em Água Quente (OAQ e NAQ)

As raquetes dos cactos *Opuntia ficus-indica* e *Nopalea cochenillifera* foram pesadas em balança digital e, seguindo orientação de Torres-Acosta e Cano Barrita (2007), cortados em pedaços pequenos e colocados, separadamente cada espécie de cacto, em uma panela contendo água e levada ao fogo até à fervura por 30 minutos (Figuras 32 e 33). A relação da massa dos cactos com a quantidade de água (1:3) foi baseada no trabalho de Chandra *et al.* (*ibidem*). Depois da fervura, a mucilagem extraída pelo processo foi coada em peneira de malha de 20 mm. A quantidade dos cactos pesados e de água medida está descrita no Terceiro Capítulo, em Resultados, p. 65.



Figura 32 – Cacto colocado em panela com água e levado ao fogo. Figura 33 – Mucilagem extraída após 30 minutos de fervura dos cactos.

2.1.4 – Cacto em Pó em Água Natural (OPAN, NPAN e NPANAN)

Raquetes dos cactos *Opuntia ficus-indica* e *Nopalea cochenillifera* colhidas, foram colocadas em estufa, conforme descrito no item 2.1.1, p. 53 e 54, e, depois de desidratados, foram trituradas e peneiradas. O pó resultante, de cada cacto, foi colocado, separadamente, em recipiente contendo água natural, em cada, e deixado de repouso por 12 horas.

O cacto *Nopalea*, naturalmente seco, foi triturado e peneirado, conforme descrito no item 2.1.1, p. 54. Uma quantidade deste pó foi colocada em recipiente contendo água natural, permanecendo de repouso por 12 horas.

A quantidade dos cactos colocados em estufa, do pó do cacto *Nopalea*, naturalmente seco, e da água medida, está descrita no Terceiro Capítulo, em Resultados, p. 66.

2.2 – GESSO

Foi utilizado gesso calcinado ou gesso de estucador ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$), utilizado para reparar paredes de gesso, em forros e em outros elementos decorativos. O gesso utilizado nesta pesquisa foi adquirido em lojas de materiais de construção de Brasília, vendido em sacos com 40 kg e proveniente do Estado de Pernambuco.

Inicialmente foi verificada a massa unitária do gesso utilizado nesta pesquisa, baseados na NBR 12.127/91 - Gesso para Construção – Determinação das Propriedades Físicas do Pó e NBR 13207/94 – Gesso para Construção – Especificações. Para a medição da massa unitária, foi utilizado funil cônico de vidro com 15 cm de diâmetro superior e 2 cm de diâmetro inferior, peneira de malha de 20 mm, recipiente de plástico e balança mecânica.

Nota 05: Os cactos desidratados em estufa e a massa unitária do gesso foram pesados em Balança Mecânica *Triple Beam Balance Ohaus*, Série 700, com capacidade de 2.610 g e precisão de 0,1 g.

A medição da massa unitária consiste em pesar inicialmente o recipiente de plástico e verificar sua capacidade de água (volume em metros cúbicos), medindo o peso deste recipiente cheio de água (descontando-se o peso do recipiente vazio).

$$V = Mra - Mr$$

Sendo: V – Volume (m³)
Mra – Massa do recipiente com água (g)
Mr – Massa do recipiente (g)

Posteriormente é colocado o funil centralizado ao recipiente, com distância de 9,5 cm de sua superfície, e sobre este funil a peneira de malha de 20 mm. O gesso então é colocado sobre a peneira, e com a ajuda de uma espátula, peneirado e depositado no recipiente localizado abaixo do funil. Este procedimento é repetido até que o gesso transborde do recipiente.

Depois de nivelar a superfície, o recipiente é pesado e descontado o peso do recipiente vazio. O peso encontrado é dividido pelo volume do recipiente, calculado anteriormente. Foram realizadas três medições da massa unitária do gesso e sendo encontrada a média após três resultados parciais.

$$M = Mrg - Mr \qquad \mu = \frac{M}{V}$$

Sendo: M – Massa do gesso (g)
Mrg – Massa do recipiente com gesso (g)
Mr – Massa do recipiente (g)
Mu – Massa unitária do gesso (kg/m³)
V – Volume do recipiente (cm³)

2.3 – FIBRAS DE BAMBU, DE SISAL E DE COCO

A fibra de bambu utilizada nesta pesquisa é a polpa de bambu (*Bambusa vulgaris*) utilizada para a fabricação de papel (Figura 34, p. 58). Esta polpa não sofreu nenhum tipo de tratamento e apresentava 45,35% de

umidade. Baseado nos trabalhos de Anjos *et al.* (2003a e 2003b), 8% de polpa de bambu foi incorporada à pasta de gesso, em massa.

A fibra de sisal (*Agave sisalana*) utilizada foi adquirida em loja de material de construção em Brasília, em fardos, com comprimento aproximado de 1,20 m, proveniente de Araripina, Pernambuco (Figura 35). As fibras estavam secas e não sofreram nenhum tipo de tratamento, sendo simplesmente cortadas com tesoura com, aproximadamente, 2 cm de comprimento, tamanho próximo ao que foi utilizado nos trabalhos de Carvalho Filho e Agopyan (1993) e Beraldo e Vieira (2003). Na pasta de gesso foram incorporados 2% de fibras em relação à massa unitária da pasta, conforme Alves (1976) e Savastano Júnior e Pimentel (2000). A massa unitária da pasta foi medida no momento da mistura da pasta e será explicada mais adiante.



Figura 34 – Polpa de bambu. Figura 35 - Fibra de sisal inteira, em fardo. Figura 36 – Fibra de coco limpa e cortada com 2 cm de comprimento, aproximadamente.

A fibra de coco (*Cocos nucifera*) utilizada, mesocarpo, foi adquirida em lojas de materiais para jardinagem em Brasília. Essas fibras são utilizadas para cobertura vegetal, e são provenientes de São Paulo. As fibras são vendidas em pacotes, contendo pequenos pedaços de endocarpo (parte dura do coco), os quais para a pesquisa foram retirados. As fibras estavam secas e foram cortadas com tesoura com, aproximadamente, 2 cm de comprimento, em função do tamanho utilizado nas fibras de sisal e, principalmente, para uma melhor homogeneização destas na pasta (Figura 36). Foram incorporadas 2% de fibras em relação à massa unitária da pasta, conforme Alves (1976), Guimarães (1982), CEPED (1984) e John *et al.* (1997).

Nota 06: A fibra de bambu foi gentilmente cedida pela CEPASA – Celulose e Papel Pernambuco.

2.4 – PREPARAÇÃO DAS PASTAS E DOS COMPÓSITOS DE GESSO

Em uma primeira etapa, foram preparadas pastas de gesso controle, pastas de gesso com a adição de impermeabilizante ou superplastificante e pastas de gesso com adição de mucilagem de cacto.

A pasta de gesso controle foi baseada no trabalho de Delgado e Pires Sobrinho (1997), que propôs um fator água/gesso de 0,6 (a/g 0,60).

A pasta de gesso com impermeabilizante Chapix Ar foi preparada com fator de 0,6, somados a água e o impermeabilizante. Foram preparadas pastas com adição de duas diferentes proporções de impermeabilizante: 10% e, conforme recomendação do fabricante, 50%, ambas em relação à água adicionada. A pasta de gesso com superplastificante Glenium 51 foi preparada com fator de 0,50, somados a água e a adição de 0,5% de superplastificante em relação à massa do gesso, conforme recomendado pelo fabricante.

As pastas de gesso com mucilagem, em forma de gel, foram preparadas com 50% e 100% da água de amassamento, conforme descrito por Chandra *et al.* (1998). As pastas de gesso com mucilagem, em pó, foram preparadas com a adição de 0,35% e 1,0% de pó fino de cacto sobre a massa de gesso, conforme descrito por Noriega *et al.* (2005), Torres-Acosta *et al.* (2005) e Torres-Acosta e Cano Barrita (2007).

E, em uma segunda etapa, foram preparados os compósitos de gesso. Os compósitos são misturas contendo a matriz (pasta de gesso), e o reforço (fibras vegetais). Foram preparados compósitos de gesso controle, compósitos de gesso com adição de superplastificante, e compósitos de gesso com adição de mucilagem de cacto.

Todas as misturas foram realizadas diretamente com espátulas de plástico, para evitar oxidação com o gesso. Os materiais colocados em uma bandeja de mistura seguiram a seguinte ordem: água, impermeabilizante ou superplastificante ou mucilagem em gel, quando o caso, seguido do gesso, do cacto em pó, quando adicionado, e por último, nos compósitos, foram adicionadas as fibras. Em todas as pastas ou compósitos, procurou-se obter uma mistura homogênea e de fácil manipulação e que permitisse a moldagem

de três corpos-de-prova (dimensões indicadas na página 59), antes que ocorresse o endurecimento do material (Figura 37).



Figura 37 – Mistura homogênea da pasta com mucilagem em gel.

Para a preparação dos compósitos, a massa unitária da pasta foi calculada antes de adicionar as fibras de coco e sisal. A quantidade de polpa de bambu foi calculada em relação à massa do gesso. A massa unitária da pasta foi medida e calculada conforme o cálculo descrito para a medição da massa unitária do gesso (página 57), medindo a pasta de gesso em vez de apenas gesso. Depois de medida a massa unitária da pasta e sabendo-se a relação água/gesso (a/g) ou água e mucilagem/gesso (am/g) pôde-se calcular a quantidade de gesso e água, em dm^3 do compósito. A porcentagem de fibras adicionada, em volume, no compósito é calculada a partir da massa unitária da fibra (Tabela 01, página 09).

$$\frac{\text{massa unitária da pasta (g/dm}^3\text{)}}{\text{Traço (1 + a/g ou am/g)}} = \text{quantidade de gesso (g/dm}^3\text{) da pasta}$$

$$\text{a/g} \times \text{quantidade de gesso (g/dm}^3\text{) da pasta} = \text{quantidade de água (g/dm}^3\text{) da pasta}$$

$$2\% \text{ de volume da pasta em fibras} = 0,02 \times \text{massa unitária da fibra (g/dm}^3\text{)}$$

O traço do compósito será:

$$\text{gesso (g/dm}^3\text{) da pasta} : \text{água (g/dm}^3\text{) da pasta} : 2\% \text{ massa unitária da fibra (g/dm}^3\text{)}$$

2.5 – PREPARAÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA

Os corpos-de-prova foram confeccionados sobre um compensado revestido por um plástico, sendo suas dimensões (300 mm x 300 mm x 15 mm) delimitadas por pequenas ripas de madeira, todas impermeabilizadas com verniz, para evitar a absorção da água (Figura 38). Estas dimensões foram definidas a partir da NBR 14717/01 – Chapas de Gesso Acartonado – Determinação das Características Físicas. Para cada mistura foram moldados três corpos-de-prova. No dia seguinte à moldagem, os corpos-de-prova foram retirados das fôrmas e colocados sobre prateleiras de compensado revestidas por plásticos e protegidas do sol. Diariamente os corpos-de-prova foram virados para que a cura fosse homogênea de ambos os lados (Figura 39).



Figura 38 – Molde para a confecção dos corpos-de-prova: compensado, plástico e madeira envernizada. Figura 39 - Prateleiras revestidas por plástico onde foram colocados os corpos-de-prova e diariamente virados para cura homogênea.

Após sete dias de serem retirados da fôrma, os corpos-de-prova foram pesados em balança digital e depois empilhados verticalmente por mais cinco dias. Os ensaios de absorção foram realizados depois de transcorridos 14 dias de moldagem dos corpos-de-prova. Depois do ensaio de absorção, os mesmos corpos-de-prova, novamente secos (com aproximadamente 90 dias de moldagem), foram submetidos ao ensaio de flexão estática.

2.6 – ENSAIO DE ABSORÇÃO

A norma NBR 14717/01 – Chapas de Gesso Acartonado – Determinação das Características Físicas - estabelece que, para os ensaios de absorção de água, nos corpos-de-prova do gesso acartonado (resistente à umidade – RU), seja determinada sua massa inicial para, em seguida, serem submergidos em um tanque com água durante 120 minutos (Figuras 40 e 41). Decorridos esse tempo, os corpos-de-prova são retirados da água e removidos o excesso de água com um pano úmido, e determinada sua massa final. A porcentagem de absorção do corpo-de-prova é determinada pelo cálculo:

$$a = \frac{mf - m_i}{m_i} \times 100$$

Sendo: a – absorção de água (%)
mf – massa final do corpo-de-prova (g)
m_i – massa inicial do corpo-de-prova (g)



Figura 40 – Corpos-de-prova colocados em tanque com água, logo após a imersão.

Figura 41 – Corpos-de-prova em tanque após alguns minutos.

Todos os corpos-de-prova permaneceram um dia antes do ensaio de absorção em câmara climatizada com temperatura média de 22°C e umidade relativa do ar de 60%. Foi também realizado ensaio de absorção em corpos-de-prova retirados de uma placa de gesso acartonado Resistente à Umidade.

Nota 07: Os ensaios de absorção foram realizados no Laboratório de Produtos Florestais - LPF do Serviço Florestal Brasileiro – SFB/MMA, em Brasília – Distrito Federal.

2.7 – ENSAIO DE FLEXÃO

Foi realizado ensaio de flexão estática nos corpos-de-prova para verificar se a mucilagem de cacto aumenta ou não a resistência mecânica nas pastas e compósitos de gesso, conforme descrito por Chandra *et al.* (1998), Hernandez Zaragoza (2000), Noriega *et al.* (2005) e Oliveira *et al.* (2005).

Os corpos-de-prova utilizados no ensaio de flexão foram os mesmos utilizados no ensaio de absorção. A resistência obtida pode não significar a máxima resistência do corpo-de-prova, pois o mesmo já teria sido submerso em água. A NBR 14717/01 – Chapas de Gesso Acartonado – Determinação das Características Físicas - foi novamente utilizada como parâmetro.

Para o ensaio de flexão, os corpos-de-prova foram colocados sobre dois apoios cilíndricos de 15 mm de diâmetro, que eram espaçados um do outro por 250 mm. Uma carga progressiva era aplicada por um rolo cilíndrico, idêntico ao apoio, e situado no meio do vão, à velocidade de 250 ± 50 N/min. A força provocada até a ruptura do corpo-de-prova era anotada. A resistência de flexão foi calculada com a equação:

$$f_f = \frac{3}{2} \times \frac{P \times \ell}{b \times h^2}$$

Sendo: f_f – Força de Flexão (MPa)

P – Carga de Ruptura (N)

ℓ – Espaçamento entre os apoios (mm)

b – Base do corpo-de-prova (mm)

h – Altura do corpo-de-prova (mm)

Os corpos-de-prova moldados nesta pesquisa apresentavam dimensões de 300 x 300 x 15 mm, e os corpos-de-prova do gesso acartonado apresentavam as dimensões de 300 x 300 x 12,5 mm.

Nota 08: Os ensaios de flexão foram realizados no Laboratório de Engenharia Civil da Universidade Católica de Goiás, em Goiânia – Goiás, utilizando máquina EMIC DL 30, com capacidade para 30 t e célula de carga para 5.000N.

2.8 – TESTES ESTATÍSTICOS

Foram elaborados vários tipos de misturas de pastas e compósitos. Para cada tipo de mistura, três corpos-de-prova foram moldados, e submetidos aos ensaios de absorção e flexão. Dos resultados de cada mistura foram calculados a média aritmética e o respectivo desvio padrão.

Para análise dos resultados obtidos nos ensaios de absorção e flexão, de cada mistura, foi utilizado o teste estatístico ANOVA - Análise de Variância, com base na comparação entre as médias obtidas. Este método visa testar se os resultados das amostras diferem significativamente entre si, medidos a partir do nível-p. O nível-p representa a probabilidade de erro envolvida em aceitar o resultado observado como válido. Usualmente um nível-p de 0,05 é considerado estatisticamente significativo, porém envolvendo uma probabilidade de 5% de erro. Resultados com nível-p de 0,001 são considerados “altamente” significativos, devido à menor probabilidade de erro, de 1%.

Outro teste estatístico utilizado foi o teste SNK - Student Newman Keuls. Este método indica quais tipos de misturas utilizadas apresentam resultados, de absorção e flexão, estatisticamente diferentes e quais apresentam resultados estatisticamente semelhantes, comparando suas médias duas a duas. Nos ensaios de absorção, as menores taxas indicam os melhores resultados e nos ensaios de flexão, as maiores resistências suportadas indicam os melhores resultados.

3 – RESULTADOS

3.1 – PASTAS DE GESSO

Inicialmente foi calculada a massa unitária do gesso, segundo a norma NBR 12127/91 – Gesso para Construção – Determinação das Propriedades Físicas do Pó - (Tabela 08) e calculada sua média. O gesso utilizado na pesquisa atende as especificações da NBR 13207/94 – Gesso para Construção – Especificações - que exige massa unitária acima de 700 kg/m³.

Tabela 08 – Média da massa unitária do gesso a partir de três medições, NBR 12127/91.

| Massa Unitária (kg/m ³) | Média (kg/m ³) |
|-------------------------------------|----------------------------|
| 745,45 | |
| 741,41 | 744,72 |
| 747,30 | |

Para a extração da mucilagem, em água quente e em água natural, foram pesados 2.000 g de cada cacto (*Opuntia ficus-indica* e *Nopalea cochenillifera*) e medidos 6.000 mL de água natural para cada processo. A massa resultante dos cactos coados é apresentada abaixo (Tabela 09). Os cactos *Opuntia* e *Nopalea* colocados em estufa também foram pesados após 36 horas à 100°C (Tabela 10).

Tabela 09 – Massa resultante dos cactos *Opuntia* e *Nopalea* coados após 30 minutos em água quente e após dois dias de repouso em água natural.

| Tipos | Peso inicial (g) | Peso final retido em peneira (g) | Varição do Peso (g) |
|-----------------------------------|------------------|----------------------------------|---------------------|
| <i>Opuntia</i> Água Quente - OAQ | 2.000 | 1.408 | -592 |
| <i>Nopalea</i> Água Quente - NAQ | 2.000 | 1.990 | -10 |
| <i>Opuntia</i> Água Natural - OAN | 2.000 | 2.232 | +232 |
| <i>Nopalea</i> Água Natural - NAN | 2.000 | 2.398 | +398 |

Tabela 10 – Peso inicial e final dos cactos colocados em estufa, durante 36 horas à 100°C.

| Tipos | Peso inicial (g) | Peso final (g) | Cacto seco/ Cacto verde (%) |
|-------------------------|------------------|----------------|-----------------------------|
| <i>Opuntia</i> (estufa) | 2.000 | 109,50 | 5,47 |
| <i>Opuntia</i> (estufa) | 1.887 | 114,10 | 6,04 |
| <i>Nopalea</i> (estufa) | 2.000 | 222,30 | 11,11 |
| <i>Nopalea</i> (estufa) | 1.236 | 109,30 | 8,84 |

Conforme descrito no esquema da página 52, além da extração da mucilagem em forma de gel, água quente e água natural, foram também colocados o pó dos cactos secos, em estufa, e o pó do cacto seco, naturalmente, em água natural.

Desta forma, os cactos *Opuntia* e *Nopalea* que pesavam inicialmente 2.000 g resultaram, depois de retirados da estufa, triturados e peneirados em 109,50 g de pó fino de *Opuntia* e 222,30 g de pó fino de *Nopalea* (Tabela 10, p. 65). O pó resultante de cada cacto foi colocado em recipiente, separadamente, contendo cada um 6.000 mL de água natural. Uma parte do pó do cacto *Nopalea* seco, naturalmente, 250 g (massa estipulada), também foi colocada em recipiente contendo 6.000 mL de água natural. Todos foram deixados em repouso por 12 horas, em temperatura ambiente.

Decorridas 12 horas de repouso, o pó dos cactos *Opuntia* e *Nopalea*, secos em estufa, estavam depositados no fundo dos recipientes, como um material inerte, uma “borra”. Pretendia-se, com este processo, que o pó fosse diluído em água e uma mistura viscosa, a mucilagem, fosse produzida, o que ocorreu apenas com o pó do cacto *Nopalea* seco, naturalmente.

Extraídas as mucilagens em gel (água quente e água natural), foram preparadas pastas de gesso com 50% e com 100% de substituição da água de amassamento pelo gel; obtido o cacto em pó (estufa ou naturalmente), foram preparadas pastas de gesso com 0,35% e com 1,0% de adição de cacto em pó em relação à massa de gesso; e moldados corpos-de-prova para os ensaios.

Foram também preparadas pastas de gesso controle, utilizando apenas água; pastas de gesso com adição de 10% de impermeabilizante Chapix Ar; e moldados corpos-de-prova. A quantidade de material utilizado em cada mistura é apresentada nas Tabelas 11, 12 e 13, p. 67. Em todas as misturas foi medida a massa unitária de cada pasta (Tabela 14, p. 68).

Houve variação da quantidade de gesso em algumas misturas: sua diminuição devido à quantidade de mucilagem em gel ou em pó disponível, ou seu aumento para melhor moldagem dos corpos-de-prova (Tabelas 11 e 12, p.67, parte sombreada).

Tabela 11 – Quantidade de material utilizado nas pastas contendo mucilagem em gel.

| Tipos | Fator (am/g) | Gesso (g) | Água (mL) | Mucilagem Gel (mL) |
|-------------|--------------|-----------|-----------|--------------------|
| OAQ 50 | 0,50 | 6.000 | 1.500 | 1.500 |
| OAQ 50 (*1) | 0,45 | 4.500 | 1.012,5 | 1.012,5 |
| OAQ 100 | 0,45 | 6.000 | --- | 2.700 |
| NAQ 50 | 0,45 | 6.000 | 1.350 | 1.350 |
| NAQ 100 | 0,45 | 6.000 | --- | 2.700 |
| OAN 50 | 0,40 | 6.000 | 1.200 | 1.200 |
| OAN 100 | 0,40 | 6.000 | --- | 2.400 |
| NAN 50 | 0,40 | 6.500 | 1.300 | 1.300 |
| NAN 100 | 0,40 | 6.500 | --- | 2.600 |
| NPNAN 50 | 0,45 | 6.000 | 1.350 | 1.350 |
| NPNAN 100 | 0,50 | 6.000 | --- | 3.000 |

am/g – quantidade de água e mucilagem sobre o peso do gesso.

(*1) - Redução do fator am/g em virtude do excesso de água apresentado nas placas. Foi possível moldar com a mucilagem restante apenas dois corpos-de-prova.

OAQ – *Opuntia* em Água Quente. NAQ – *Nopalea* em Água Quente.

OAN - *Opuntia* em Água Natural. NAN – *Nopalea* em Água Natural.

NPNAN – *Nopalea* em Pó Natural em Água Natural.

50 – 50% de substituição da água de amassamento pela mucilagem.

100 – 100% de substituição da água de amassamento pela mucilagem.

Tabela 12 – Quantidade de material utilizado nas pastas contendo cacto em pó.

| Tipos | Fator (a/g) | Gesso (g) | Água (mL) | Cacto em pó (g) |
|-------------|-------------|-----------|-----------|-----------------|
| OP 0,35 | 0,60 | 6.000 | 3.600 | 21,0 g |
| OP 0,35(*1) | 0,40 | 2.000 | 800 | 7,0 g |
| OP 1,0 | 0,50 | 6.000 | 3.000 | 60,0 g |
| OP 1,0 (*1) | 0,40 | 2.000 | 800 | 20,0 g |
| NP 0,35 | 0,40 | 6.000 | 2.400 | 21,0 g |
| NP 1,0 | 0,40 | 6.000 | 2.400 | 60,0 g |
| NPN 0,35 | 0,50 | 6.500 | 3.250 | 22,7 g |
| NPN 1,0 | 0,55 | 6.500 | 3.575 | 65,0 g |

a/g – quantidade de água sobre o peso do gesso.

(*1) - Redução de a/g em virtude do excesso de água apresentado nas placas. Foi possível moldar com o pó restante apenas uma placa com 0,35% e uma placa com 1,0% de pó de cacto.

OP – *Opuntia* em Pó (estufa). NP – *Nopalea* em Pó (estufa). NPN – *Nopalea* em Pó Natural.

0,35 – 0,35% de pó de cacto em relação à massa de gesso.

1,0 – 1,0% de pó de cacto em relação à massa de gesso.

Tabela 13 – Quantidade de material utilizado nas pastas controle e com impermeabilizante.

| Tipos | Fator (a/g) | Gesso (g) | Água (mL) | Impermeabilizante (mL) |
|-------|-------------|-----------|-----------|------------------------|
| GC | 0,60 | 6.000 | 3.600 | --- |
| GI 10 | 0,60(*2) | 6.000 | 3.273 | 327 |

a/g – quantidade de água sobre o peso do gesso.

(*2) quantidade de água e impermeabilizante somados.

GC – Gesso controle. GI 10 - Gesso com 10% de impermeabilizante.

Tabela 14 – Massa unitária de cada tipo de pasta misturada.

| Tipos | Fator (am/g) | Massa Unitária (kg/m ³) | Tipos | Fator (a/g) | Massa Unitária (kg/m ³) |
|-------------|--------------|-------------------------------------|--------------|-------------|-------------------------------------|
| OAQ 50 | 0,50 | 1.701,60 | OP 0,35 | 0,60 | 1.593,01 |
| OAQ 50 (*1) | 0,45 | 1.694,52 | OP 0,35 (*1) | 0,40 | 1.741,73 |
| OAQ 100 | 0,45 | 1.746,45 | OP 1,0 | 0,50 | 1.649,66 |
| NAQ 50 | 0,45 | 1.725,21 | OP 1,0 (*1) | 0,40 | 1.729,93 |
| NAQ 100 | 0,45 | 1.725,21 | NP 0,35 | 0,40 | 1.784,23 |
| OAN 50 | 0,40 | 1.777,14 | NP 1,0 | 0,40 | 1.758,26 |
| OAN 100 | 0,40 | 1.762,98 | NPN 0,35 | 0,50 | 1.685,08 |
| NAN 50 | 0,40 | 1.751,18 | NPN 1,0 | 0,55 | 1.559,96 |
| NAN 100 | 0,40 | 1.765,34 | GC | 0,60 | 1.611,11 |
| NPAN 50 | 0,45 | 1.682,71 | GI 10 | 0,60 (*2) | 1.585,93 |
| NPAN 100 | 0,50 | 1.680,35 | | | |

Fator am/g – quantidade de água e mucilagem sobre o peso do gesso.

Fator a/g – quantidade de água sobre o peso do gesso.

*1 - Redução do fator am/g em virtude do excesso de água apresentado nas placas.

(*2) quantidade de água e impermeabilizante somados.

OAQ – *Opuntia* em Água Quente. NAQ – *Nopalea* em Água Quente.

OAN - *Opuntia* em Água Natural. NAN – *Nopalea* em Água Natural.

NPAN – *Nopalea* em Pó Natural em Água Natural.

50 – 50% de substituição da água de amassamento pela mucilagem.

100 – 100% de substituição da água de amassamento pela mucilagem.

OP – *Opuntia* em Pó (estufa). NP – *Nopalea* em Pó (estufa). NPN – *Nopalea* em Pó Natural.

0,35 – 0,35% de pó de cacto em relação à massa de gesso.

1,0 – 1,0% de pó de cacto em relação à massa de gesso.

GC – Gesso controle. GI 10 - Gesso com 10% de impermeabilizante.

Os corpos-de-prova moldados foram submetidos ao mesmo processo descrito anteriormente, p. 61 e 62, para o ensaio de absorção.

Os valores médios da taxa de absorção para cada mistura e o respectivo desvio padrão são apresentados na Tabela 15, p. 69. O peso dos corpos-de-prova com 8 e 14 dias, antes e após ensaio de absorção, a taxa de absorção e a absorção média são apresentados no Anexo A, p. 115 e 116.

Tabela 15 – Média da Absorção de Água dos corpos-de-prova com 14 dias de moldagem.

| | Tipo | Fator (am/g) | Absorção Média (%) | Desvio Padrão |
|-------------------|-----------|-----------------|-----------------------|------------------|
| Água Quente | OAQ 50 | 0,45 | 17,13 | 0,288 |
| | OAQ 100 | 0,45 | 17,14 | 0,372 |
| | NAQ 50 | 0,45 | 17,52 | 0,415 |
| | NAQ 100 | 0,45 | 16,66 | 0,088 |
| Água Natural | OAN 50 | 0,40 | 14,33 | 0,091 |
| | OAN 100 | 0,40 | 13,77 | 0,180 |
| | NAN 50 | 0,40 | 14,02 | 0,227 |
| | NAN 100 | 0,40 | 13,14 | 0,111 |
| | NPNAN 50 | 0,45 | 15,01 | 0,161 |
| | NPNAN 100 | 0,50 | 16,17 | 0,122 |
| | Tipo | Fator (a/g) | Absorção Média (%) | Desvio Padrão |
| <i>Opuntia</i> Pó | OP 0,35 | 0,40 | 13,30 | Nc |
| | OP 1,0 | 0,40 | 12,10 | Nc |
| <i>Nopalea</i> Pó | NP 0,35 | 0,40 | 13,50 | 0,174 |
| | NP 1,0 | 0,40 | 12,59 | 0,166 |
| | NPN 0,35 | 0,50 | 19,91 | 0,287 |
| | NPN 1,0 | 0,55 | 20,64 | 0,200 |
| Controle | GC | 0,60 | 27,64 | 0,056 |
| | GI 10 | 0,60 | 28,67 | 0,565 |

am/g – quantidade de água e mucilagem sobre o peso do gesso.

a/g – quantidade de água sobre o peso do gesso.

OAQ – *Opuntia* em Água Quente. NAQ – *Nopalea* em Água Quente.

OAN - *Opuntia* em Água Natural. NAN – *Nopalea* em Água Natural.

NPNAN – *Nopalea* em Pó Natural em Água Natural.

50 – 50% de substituição da água de amassamento pela mucilagem.

100 – 100% de substituição da água de amassamento pela mucilagem.

OP – *Opuntia* em Pó (estufa). NP – *Nopalea* em Pó (estufa). NPN – *Nopalea* em Pó Natural.

0,35 – 0,35% de pó de cacto em relação à massa de gesso.

1,0 – 1,0% de pó de cacto em relação à massa de gesso.

GC – Gesso controle. GI 10 - Gesso com 10% de impermeabilizante.

Nc – Não calculado devido a moldagem de apenas uma placa.

Obs.: A absorção de água média em corpos-de-prova retirados de placas de gesso acartonado Resistente à Umidade, com dimensões de 300 x 300 x 12,5 mm, foi de 4,35%, entretanto não é conhecida sua composição nem a quantidade dos materiais impermeabilizantes ou hidrofugantes utilizados.

Conforme descrito por Chandra *et al.* (1998), na estação quente e seca há maior produção de mucilagem nos cactos. Os cactos, desta primeira etapa, foram colhidos em outubro de 2.008. Segundo o INMET – Instituto Nacional de Meteorologia (2009), no mês de outubro em Brasília, foram registradas a média das temperaturas máximas de 30°C e da umidade relativa do ar, no período mais quente do dia, de 34%.

Em uma segunda etapa, foram preparadas pastas de gesso com 50% de impermeabilizante Chapix Ar, tendo em vista o baixo desempenho deste produto na primeira etapa e atendendo a quantidade recomendada pelo fabricante, e também, pastas de gesso com superplastificante Glenium 51, devido ao seu uso nos compósitos e para comparação com as demais pastas.

Juntamente com as pastas anteriormente mencionadas, foram preparadas pastas de gesso com mucilagem em gel, obtida a partir de uma segunda extração. Verificou-se, visualmente, que os cactos coados em peneira, após dois dias de repouso em água natural, ainda continham gel, mucilagem. Sendo assim, buscou-se verificar se a mucilagem obtida em uma segunda extração seria tão eficiente como a mucilagem obtida na primeira extração, tendo como parâmetro os ensaios de absorção e flexão.

Desta forma, os cactos da espécie *Nopalea*, coados, foram novamente colocados em recipiente contendo água natural, na proporção de 1:3 (cacto:água), para uma segunda extração da mucilagem. O recipiente permaneceu em repouso por quatro dias, sendo posteriormente, os cactos peneirados. Da mucilagem extraída foram preparadas pastas com 50% e com 100% de substituição da água de amassamento.

A quantidade de material utilizado nas pastas com impermeabilizante, superplastificante e mucilagem (2ª extração) é apresentada na Tabela 16 e a massa unitária de cada pasta na Tabela 17, p. 71.

Tabela 16 – Quantidade de material utilizado nas pastas de gesso com 50% de impermeabilizante, gesso com superplastificante e gesso com mucilagem em gel (2ª extração).

| Tipos | Fator (a/g) | Gesso (g) | Água (mL) | Impermeab. (mL) | Plastificante (mL) |
|-------|-------------|-----------|-----------|-----------------|--------------------|
| GI 50 | 0,60 | 6.000 | 2.400 | 1.200 | --- |
| GP | 0,50 | 6.000 | 2.970 | --- | 30 |

| Tipos | Fator (am/g) | Gesso (g) | Água (mL) | Mucilagem (mL) |
|----------|--------------|-----------|-----------|----------------|
| NAN2 50 | 0,40 | 6.500 | 1.300 | 1.300 |
| NAN2 100 | 0,40 | 6.500 | --- | 2.600 |

a/g – quantidade de água/ peso do gesso. am/g – quantidade de água e mucilagem/peso do gesso.

GI 50 – Gesso com 50% da água de amassamento de impermeabilizante. GP – Gesso superplastificante.

NAN2 - *Nopalea* em Água Natural, segunda extração.

50 – 50% de substituição da água de amassamento pela mucilagem.

100 – 100% de substituição da água de amassamento pela mucilagem.

Tabela 17 – Massa unitária das pastas de gesso com impermeabilizante, superplastificante e mucilagem em gel (2ª extração).

| Tipos | Fator (a/g) | Massa Unitária (kg/m³) | Tipos | Fator (am/g) | Massa Unitária (kg/m³) |
|-------|-------------|------------------------|----------|--------------|------------------------|
| GI 50 | 0,60 | 1.577,44 | NAN2 50 | 0,40 | 1.757,57 |
| GP | 0,50 | 1.683,50 | NAN2 100 | 0,40 | 1.742,42 |

a/g – quantidade de água/ peso do gesso. am/g – quantidade de água e mucilagem/peso do gesso.

GI 50 – Gesso com 50% da água de amassamento de impermeabilizante. GP – Gesso superplastificante.

NAN2 - *Nopalea* em Água Natural, segunda extração.

50 – 50% de substituição da água de amassamento pela mucilagem.

100 – 100% de substituição da água de amassamento pela mucilagem.

Os corpos-de-prova moldados a partir das pastas com impermeabilizante, superplastificante e com mucilagem (2ª extração) foram submetidos ao mesmo processo descrito para o ensaio de absorção (p. 61 e 62). Os valores médios da taxa de absorção para cada mistura e o respectivo desvio padrão são apresentados na Tabela 18.

O período de 14 dias proposto para a realização do ensaio de absorção não foi suficiente para que os corpos-de-prova estivessem totalmente secos, verificado quando os mesmos foram pesados com 90 dias de moldagem, sendo esse peso considerado para o cálculo da absorção.

O peso dos corpos-de-prova com 8 e 14 dias (antes e após ensaio de absorção), peso com 90 dias, absorção de água de cada corpo-de-prova e a absorção média são apresentados no Anexo B, p. 117.

Tabela 18 – Média da Absorção de Água dos corpos-de-prova das pastas de gesso contendo 50% de impermeabilizante, superplastificante e mucilagem em gel (2ª extração).

| | Tipo | Fator (a/g) | Absorção Média (%) | Desvio Padrão |
|--------------------------|-------|-------------|--------------------|---------------|
| Gesso Impermeabilizante | GI 50 | 0,60 | 20,75 | 0,472 |
| Gesso Superplastificante | GP | 0,50 | 23,38 | 0,271 |

| | Tipo | Fator (am/g) | Absorção Média (%) | Desvio Padrão |
|-------------------------------------------|----------|--------------|--------------------|---------------|
| <i>Nopalea</i> Água Natural (2ª extração) | NAN2 50 | 0,40 | 15,21 | 0,162 |
| | NAN2 100 | 0,40 | 14,66 | 0,094 |

a/g – quantidade de água/ peso do gesso. am/g – quantidade de água e mucilagem/peso do gesso.

GI 50 – Gesso com 50% da água de amassamento de impermeabilizante. GP – Gesso superplastificante.

NAN2 - *Nopalea* em Água Natural, segunda extração.

50 – 50% de substituição da água de amassamento pela mucilagem.

100 – 100% de substituição da água de amassamento pela mucilagem.

Os corpos-de-prova das pastas de gesso utilizados no ensaio de absorção são os mesmos corpos-de-prova utilizados no ensaio de flexão. A resistência à flexão média e o desvio padrão dos mesmos foram medidos e calculados (Tabela 19). A carga de ruptura e a resistência à flexão de cada corpo-de-prova e a média das resistências são apresentadas nos Anexos C e D p. 118 e 119.

Tabela 19 – Média da Resistência à Flexão dos corpos-de-prova das pastas de gesso.

| | Tipo | Fator (am/g) | Resistência à Flexão Média (MPa) | Desvio Padrão |
|----------------------------|-----------|--------------|----------------------------------|---------------|
| Água Quente | OAQ 50 | 0,45 | 3,53 | 0,628 |
| | OAQ 100 | 0,45 | 2,00 | 0,295 |
| | NAQ 50 | 0,45 | 1,79 | 0,072 |
| | NAQ 100 | 0,45 | 1,99 | 0,435 |
| Água Natural | OAN 50 | 0,40 | 4,62 | 0,592 |
| | OAN 100 | 0,40 | 4,46 | 0,415 |
| | NAN 50 | 0,40 | 4,49 | 0,319 |
| | NAN 100 | 0,40 | 3,70 | 0,238 |
| | NPNAN 50 | 0,45 | 2,29 | 0,212 |
| | NPNAN 100 | 0,50 | 1,85 | 0,124 |
| Água Natural (2ª extração) | NAN2 50 | 0,40 | 4,69 | 0,380 |
| | NAN2 100 | 0,40 | 4,31 | 0,435 |
| | Tipo | Fator (a/g) | Resistência à Flexão Média (MPa) | Desvio Padrão |
| <i>Opuntia</i> Pó | OP 0,35 | 0,40 | 4,69 | Nc |
| | OP 1,0 | 0,40 | 2,75 | Nc |
| <i>Nopalea</i> Pó | NP 0,35 | 0,40 | 3,66 | 0,243 |
| | NP 1,0 | 0,40 | 2,28 | 0,033 |
| | NPN 0,35 | 0,50 | 2,98 | 0,023 |
| | NPN 1,0 | 0,55 | 1,21 | 0,151 |
| Controle | GC | 0,60 | 2,37 | 0,156 |
| | GI 50 | 0,60 | 3,73 | 0,428 |
| | GP | 0,50 | 3,66 | 0,355 |

a/g – quantidade de água/ peso do gesso. am/g – quantidade de água e mucilagem/peso do gesso.

OAQ – *Opuntia* em Água Quente. NAQ – *Nopalea* em Água Quente.

OAN - *Opuntia* em Água Natural. NAN – *Nopalea* em Água Natural.

NPNAN – *Nopalea* em Pó Natural em Água Natural. NAN2 - *Nopalea* em Água Natural, (2ª extração).

50 – 50% de substituição da água de amassamento pela mucilagem.

100 – 100% de substituição da água de amassamento pela mucilagem.

OP – *Opuntia* em Pó (estufa). NP – *Nopalea* em Pó (estufa). NPN – *Nopalea* em Pó Natural.

0,35 – 0,35% de pó de cacto em relação à massa de gesso.

1,0 – 1,0% de pó de cacto em relação à massa de gesso.

GC – Gesso controle. GI 50 – Gesso com 50% de impermeabilizante. GP – Gesso superplastificante.

Nc – Não calculado devido a moldagem de apenas uma placa.

Obs.: A Resistência à flexão nas placas de gesso acartonado Resistente à Umidade, com dimensões de 300 x 300 x 12,5 mm, foi de 2,21 MPa para a resistência transversal e de 4,95 MPa para a resistência longitudinal.

3.1.1 – Testes Estatísticos do Ensaio de Absorção das Pastas

Os resultados do ensaio de absorção dos corpos-de-prova moldados com pastas de gesso (Tabela 15, p. 69 e Tabela 18, p. 71), foram analisados utilizando o teste estatístico ANOVA - Análise de Variância. Os corpos-de-prova analisados foram elaborados com as seguintes pastas de gesso:

a) Pastas de gesso com mucilagem dos cactos *Opuntia* e *Nopalea* (50% e 100% de substituição da água de amassamento). Pasta de gesso com mucilagem do cacto *Nopalea* obtida na segunda extração (50% e 100% de substituição da água de amassamento).

b) Pastas de gesso com pó do cacto *Nopalea* (0,35% e 1,0% de cacto em pó em relação à massa de gesso). Não foram incluídas nos testes as pastas contendo *Opuntia* em pó (0,35% e 1,0% de cacto em pó em relação à massa de gesso) e fator 0,40, em virtude de ter sido moldado um único corpo-de-prova para cada mistura.

c) Pasta de gesso controle, pastas de gesso com impermeabilizante (10% e 50% da água de amassamento) e pasta de gesso com superplastificante.

Segundo o teste estatístico ANOVA, foram verificadas diferenças altamente significativas ($F = 933,329$; e nível- $p < 0,001$), na comparação dos resultados de absorção de água dos corpos-de-prova.

Os mesmos resultados do ensaio de absorção, dos corpos-de-prova moldados com pastas de gesso, foram analisados segundo outro teste estatístico: o teste SNK - Student Newman Keuls. O teste SNK possibilita verificar quais resultados são estatisticamente diferentes ou semelhantes, a partir do nível de significância (Tabela 20, p. 74). As menores taxas de absorção indicam os melhores resultados, verificados do lado esquerdo e superior da tabela, parte sombreada.

Tabela 20 – Resultado estatístico da Absorção de Água (%) dos corpos-de-prova moldados com pastas de gesso, utilizando o teste SNK.

| Tipo | Fator | Teste Student Newman Keuls | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|-------|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | Subset for alpha = 0,05 | | | | | | | | | | | | | | | |
| NP 1,0 | 0,40 | 12,59 | | | | | | | | | | | | | | | |
| NAN 100 | 0,40 | | 13,14 | | | | | | | | | | | | | | |
| NP 0,35 | 0,40 | | 13,50 | 13,50 | | | | | | | | | | | | | |
| OAN 100 | 0,40 | | | 13,77 | | | | | | | | | | | | | |
| NAN 50 | 0,40 | | | 14,02 | 14,02 | | | | | | | | | | | | |
| OAN 50 | 0,40 | | | | 14,33 | 14,33 | | | | | | | | | | | |
| NAN2 100 | 0,40 | | | | | 14,66 | 14,66 | | | | | | | | | | |
| NPNAN 50 | 0,45 | | | | | | 15,01 | 15,01 | | | | | | | | | |
| NAN2 50 | 0,40 | | | | | | | 15,21 | | | | | | | | | |
| NPNAN 100 | 0,50 | | | | | | | | 16,17 | | | | | | | | |
| NAQ 100 | 0,45 | | | | | | | | | 16,66 | | | | | | | |
| OAQ 50 | 0,45 | | | | | | | | | 17,13 | 17,13 | | | | | | |
| OAQ 100 | 0,45 | | | | | | | | | 17,14 | 17,14 | | | | | | |
| NAQ 50 | 0,45 | | | | | | | | | | 17,52 | | | | | | |
| NPN 0,35 | 0,50 | | | | | | | | | | | 19,91 | | | | | |
| NPN 1,0 | 0,55 | | | | | | | | | | | | 20,64 | | | | |
| GI 50 | 0,60 | | | | | | | | | | | | 20,75 | | | | |
| GP | 0,50 | | | | | | | | | | | | | 23,38 | | | |
| GC | 0,60 | | | | | | | | | | | | | | 27,64 | | |
| GI 10 | 0,60 | | | | | | | | | | | | | | | 28,67 | |
| | Sig. | 1,000 | ,105 | ,057 | ,156 | ,135 | ,114 | ,356 | 1,000 | ,082 | ,186 | 1,000 | ,591 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 |

OAQ – *Opuntia* em Água Quente. NAQ – *Nopalea* em Água Quente. OAN - *Opuntia* em Água Natural. NAN – *Nopalea* em Água Natural.

NPNAN – *Nopalea* em Pó Natural em Água Natural. NAN2 - *Nopalea* em Água Natural, segunda extração.

50 – 50% de substituição da água de amassamento pela mucilagem. 100 – 100% de substituição da água de amassamento pela mucilagem.

OP – *Opuntia* em Pó (estufa). NP – *Nopalea* em Pó (estufa). NPN – *Nopalea* em Pó Natural.

0,35 – 0,35% de pó de cacto em relação à massa de gesso.

1,0 – 1,0% de pó de cacto em relação à massa de gesso.

GC – Gesso controle. GP – Gesso superplastificante.

GI 10 - Gesso com 10% de impermeabilizante. GI 50 – Gesso com 50% da água de amassamento de impermeabilizante.

3.1.2 – Testes Estatísticos do Ensaio de Flexão das Pastas

Os resultados do ensaio de resistência à flexão nos corpos-de-prova moldados com pastas de gesso (Tabela 19, p. 72), foram analisados utilizando o teste estatístico ANOVA - Análise de Variância, sendo verificadas diferenças altamente significativas ($F = 31,907$; e nível- $p < 0,001$).

Os mesmos resultados do ensaio de flexão, dos corpos-de-prova moldados com pastas de gesso, foram analisados segundo outro teste estatístico: o teste SNK - Student Newman Keuls (Tabela 21). As maiores resistências indicam os melhores resultados, verificados do lado direito e inferior da tabela, parte sombreada.

Tabela 21 – Resultado estatístico da Resistência à Flexão (MPa) dos corpos-de-prova moldados com pastas de gesso, utilizando o teste SNK.

| Tipo | Fator | Teste Student-Newman-Keuls Subset for alpha = 0.05 | | | | | | |
|----------|-------|-------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| NPN 1,0 | 0,55 | 1,21 | | | | | | |
| NAQ 50 | 0,45 | 1,79 | 1,79 | | | | | |
| NPAN 100 | 0,50 | 1,85 | 1,85 | | | | | |
| NAQ 100 | 0,45 | 1,99 | 1,99 | | | | | |
| OAQ 100 | 0,45 | 2,00 | 2,00 | | | | | |
| NP 1,0 | 0,40 | | 2,28 | 2,28 | | | | |
| NPAN 50 | 0,45 | | 2,29 | 2,29 | | | | |
| GC | 0,60 | | 2,37 | 2,37 | | | | |
| NPN 0,35 | 0,50 | | | 2,98 | 2,98 | | | |
| OAQ 50 | 0,45 | | | | 3,53 | 3,53 | | |
| GP | 0,50 | | | | 3,66 | 3,66 | 3,66 | |
| NP 0,35 | 0,40 | | | | 3,66 | 3,66 | 3,66 | |
| NAN 100 | 0,40 | | | | 3,70 | 3,70 | 3,70 | |
| GI 50 | 0,60 | | | | 3,73 | 3,73 | 3,73 | |
| NAN2 100 | 0,40 | | | | | 4,31 | 4,31 | |
| OAN 100 | 0,40 | | | | | | 4,46 | |
| NAN 50 | 0,40 | | | | | | 4,49 | |
| OAN 50 | 0,40 | | | | | | 4,62 | |
| NAN2 50 | 0,40 | | | | | | 4,69 | |
| | Sig. | ,072 | ,443 | ,088 | ,132 | ,100 | ,093 | ,700 |

OAQ – *Opuntia* em Água Quente. NAQ – *Nopalea* em Água Quente.

OAN - *Opuntia* em Água Natural. NAN – *Nopalea* em Água Natural.

NPAN – *Nopalea* em Pó Natural em Água Natural. NAN2 - *Nopalea* em Água Natural, (2ª extração).

50 – 50% de substituição da água de amassamento pela mucilagem.

100 – 100% de substituição da água de amassamento pela mucilagem.

OP – *Opuntia* em Pó (estufa). NP – *Nopalea* em Pó (estufa). NPN – *Nopalea* em Pó Natural.

0,35 – 0,35% de pó de cacto em relação à massa de gesso.

1,0 – 1,0% de pó de cacto em relação à massa de gesso.

GC – Gesso controle. GI 50 – Gesso com 50% de impermeabilizante. GP – Gesso superplastificante.

3.2 – COMPÓSITOS DE GESSO

Foram elaborados compósitos de gesso com fibras de bambu, compósitos de gesso com fibras de sisal e compósitos de gesso com fibras de coco. Para cada tipo de fibra adicionada nos compósitos, foram elaborados compósitos controle, compósitos com adição de mucilagem e compósitos com adição de superplastificante.

A mucilagem adicionada aos compósitos, nesta segunda etapa, foi definida em função dos resultados do ensaio de absorção dos corpos-de-prova das pastas de gesso (Tabela 20, p. 74, parte sombreada). Nestes resultados, a mucilagem em gel extraída em água natural, e a mucilagem em pó obtida através da desidratação do cacto, em estufa, adicionadas às pastas de gesso, permitiram as menores taxas de absorção nos corpos-de-prova, principalmente a mucilagem do cacto *Nopalea*. Em função destes resultados, foram selecionadas a mucilagem em gel, extraída em água natural, e o pó desidratado em estufa, ambos do cacto *Nopalea cochenillifera*, para adição nos compósitos de gesso e fibras vegetais.

Para a execução da segunda etapa, novas raquetes do cacto *Nopalea cochenillifera* foram colhidas. Uma parte destes cactos, 5.400 g, foi cortada em pequenos pedaços, e dividida em dois recipientes, sendo 2.700 g de cacto e 8.100 mL de água natural em cada um. Outra parte, 4.000 g de cactos foram colocados em estufa, durante 36 horas à 100°C. A extração da mucilagem em gel e o pó obtido pela desidratação do cacto em estufa seguiram os mesmos procedimentos descritos anteriormente (p. 53 e 54). A massa resultante do cacto coado em água natural (Tabela 22), após dois dias em repouso, e a massa resultante do cacto em estufa, são apresentadas (Tabela 23, p. 77).

Tabela 22 – Massa do cacto *Nopalea* coado após dois dias de repouso em água natural.

| Tipos | Peso inicial (g) | Peso final retido em peneira (g) | Varição do Peso (g) |
|-----------------------------|------------------|----------------------------------|---------------------|
| <i>Nopalea</i> Água Natural | 2.700 | 3.422 | +722 |
| <i>Nopalea</i> Água Natural | 2.700 | 3.352 | +652 |

Tabela 23 – Peso inicial e final do cacto colocado em estufa, durante 36 horas à 100 °C.

| Tipos | Peso inicial (g) | Peso final (g) | cacto seco/ cacto verde (%) |
|-------------------------|---------------------|-------------------|--------------------------------|
| <i>Nopalea</i> (estufa) | 4.000 | 435,0 | 10,87 |

Foram preparados compósitos de gesso, com fibras vegetais e mucilagem em gel, com 50% e 100% de substituição da água de amassamento, compósitos de gesso com fibras vegetais e mucilagem em pó, com adição de 0,35% e 1,0% de pó de cacto em relação à massa de gesso, compósitos de gesso controle com fibras vegetais e, compósitos de gesso com fibras vegetais e adição de superplastificante Glenium 51. Para cada tipo de mistura foram moldados corpos-de-prova.

A quantidade de material utilizado em cada compósito é apresentada na tabela 24, e nas Tabelas 25 e 26 p. 79. Em todas as misturas foi medida a massa unitária de cada pasta (Tabela 27, p. 80). A diminuição da quantidade de gesso, em algumas misturas, ocorreu para evitar o desperdício de material, visto que com quantidades menores era possível a moldagem dos três corpos-de-prova necessários.

Tabela 24 – Quantidade de material utilizado nos compósitos contendo mucilagem em gel.

| Tipos | Fator (am/g) | Gesso (g) | Fibras (g) | Água (mL) | Mucilagem Gel (mL) |
|----------------|-----------------|--------------|---------------|--------------|-----------------------|
| NAN 50 B | 0,60 | 6.000 | 480 | 1.800 | 1.800 |
| NAN 50 S | 0,60 | 6.000 | 165 | 1.800 | 1.800 |
| NAN 50 S (*1) | 0,55 | 5.000 | 130 | 1.375 | 1.375 |
| NAN 50 C | 0,60 | 5.500 | 130 | 1.650 | 1.650 |
| NAN 50 C (*2) | 0,65 | 5.000 | 127 | 1.625 | 1.625 |
| NAN 100 B | 0,60 | 5.500 | 440 | --- | 3.300 |
| NAN 100 S | 0,60 | 5.000 | 138 | --- | 3.000 |
| NAN 100 S (*1) | 0,55 | 5.000 | 133 | --- | 2.750 |
| NAN 100 C | 0,70 | 5.000 | 131 | --- | 3.500 |
| NAN 100 C (*1) | 0,65 | 5.000 | 127 | --- | 3.250 |

am/g – quantidade de água e mucilagem sobre o peso do gesso.

(*1) Redução do fator am/g obtendo, ainda, uma mistura homogênea e de fácil manipulação.

(*2) Aumento do fator am/g para melhor manipulação do compósito.

NAN 50 – *Nopalea* em Água Natural com 50% de substituição da água de amassamento pela mucilagem.

NAN 100 – *Nopalea* em Água Natural com 100% de substituição da água de amassamento pela mucilagem.

B – Fibra de Bambu. S – Fibra de Sisal. C – Fibra de Coco.

Houve variação do fator água e mucilagem em relação à quantidade de gesso nos compósitos contendo mucilagem em gel e com fibras de sisal e de coco (Tabela 24, p. 77). Nos compósitos com sisal, foi possível reduzir o fator de 0,60 para 0,55 e ainda obter uma mistura homogênea e plástica (Figuras 42 e 43). Nos compósitos com coco, verificou-se que o fator de 0,60 apresentava uma mistura mais seca e com 0,70 uma mistura mais rala, observando-se que o fator 0,65 para o compósito com coco era o mais adequado (Figuras 44 e 45).

Para a mistura dos compósitos com mucilagem em gel e os fatores mais adequados, citados anteriormente, foram utilizados 3.100 g de cacto *Nopalea* que haviam sido colhidos para a segunda etapa e armazenados por 10 dias em recipientes plásticos. Estes cactos foram picados e colocados em recipiente contendo 9.300 mL de água natural, permanecendo em repouso por dois dias, em temperatura ambiente.

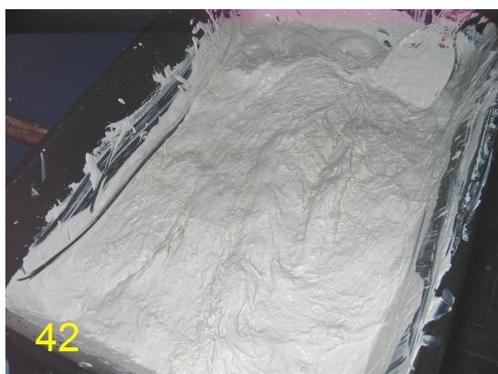


Figura 42 – NAN 50 S e fator am/g 0,60.



Figura 43 - e NAN 50 S e fator am/g 0,55.



Figura 44 - NAN 50 C e fator am/g 0,60.



Figura 45 - NAN 50 C e fator am/g 0,65.

Houve necessidade de variação do fator água/gesso (a/g) dos compósitos contendo cacto em pó e fibras vegetais, resultando nos compósitos com fibras de bambu (a/g 0,60), compósitos com fibras de sisal (a/g 0,55) e compósitos com fibras de coco (a/g 0,65) (Tabela 25).

Tabela 25 – Quantidade de material utilizado nos compósitos contendo cacto em pó (estufa).

| Tipos | Fator (a/g) | Gesso (g) | Fibras (g) | Mucilagem Pó (g) | Água (ml) |
|---------------|-------------|-----------|------------|------------------|-----------|
| NP 0,35 B | 0,60 | 5.000 | 400g | 17,50 | 3.000 |
| NP 0,35 S | 0,55 | 5.000 | 131 | 17,50 | 2.750 |
| NP 0,35 C | 0,65 | 5.000 | 124 | 17,50 | 3.250 |
| NP 1,0 B | 0,55 | 5.000 | 400 | 50,00 | 2.750 |
| NP 1,0 B (*2) | 0,60 | 5.000 | 400 | 50,00 | 3.000 |
| NP 1,0 S | 0,55 | 5.000 | 131 | 50,00 | 2.750 |
| NP 1,0 C | 0,65 | 5.000 | 124 | 50,00 | 3.250 |

a/g – quantidade de água sobre o peso do gesso.

(*2) Aumento do fator a/g para melhor homogeneização e manipulação do compósito.

NP 0,35 – *Nopalea* em Pó (estufa) com 0,35% de pó de cacto em relação à massa de gesso.

NP 1,0 – *Nopalea* em Pó (estufa) com 1,0% de pó de cacto em relação à massa de gesso.

B – Fibra de Bambu. S – Fibra de Sisal. C – Fibra de Coco.

Tabela 26 – Quantidade de material utilizado no compósito controle e no compósito com adição de superplastificante.

| Tipos | Fator (a/g) | Gesso (g) | Fibras (g) | Água (mL) | Plastificante (mL) |
|-----------------------------|-------------|-----------|------------|-----------|--------------------|
| GB | 0,50 | 6.000 | 480 | 3.000 | --- |
| GB (*2) | 0,60 | 5.000 | 400 | 3.000 | --- |
| GB (*2) | 0,70 | 5.000 | 400 | 3.500 | --- |
| GS | 0,50 | 6.000 | 147 | 3.000 | --- |
| GCc – Obs ¹ | 0,6 | 6.000 | 140 | 3.600 | --- |
| GCc (*2) - Obs ¹ | 0,75 | 5.000 | 137 | 3.750 | --- |
| GCc (*2) | 0,85 | 5.000 | 148 | 4.250 | --- |
| GPB | 0,60 (*3) | 5.000 | 400 | 2.975 | 25 |
| GPB (*1) | 0,45 (*3) | 5.000 | 400 | 2.225 | 25 |
| GPS | 0,50 (*3) | 5.000 | 122 | 2.475 | 25 |
| GPS (*1) | 0,40 (*3) | 5.000 | 110 | 1.975 | 25 |
| GPC | 0,60 (*3) | 5.000 | 119 | 2.975 | 25 |
| GPC (*1) | 0,50 (*3) | 5.000 | 105 | 2.475 | 25 |

a/g – quantidade de água sobre o peso do gesso.

(*1) Redução do fator a/g em virtude do excesso de água apresentado nas placas.

(*2) Aumento do fator a/g para melhor homogeneização e manipulação do compósito para moldagem de três corpos-de-prova.

(*3) Quantidade de água e plastificante, somados, em relação ao gesso

Obs¹ - Não foi possível moldar três corpos-de-prova devido ao reduzido tempo de pega da mistura.

GB – Gesso e fibra de bambu. GS – Gesso e fibra de sisal. GCc – Gesso e fibra de coco.

GPB – Gesso, superplastificante e bambu. GPS – Gesso, superplastificante e sisal.

GPC – Gesso, superplastificante e coco.

No compósito de gesso controle com fibras de bambu foi necessário um fator água/gesso de 0,70 para a moldagem e nivelamento dos corpos-de-prova, e no compósito de gesso controle com fibras de coco foi necessário um fator água/gesso de 0,85 para a moldagem dos corpos-de-prova necessários (Figura 46).

Nos compósitos de gesso com superplastificante e fibras vegetais foi possível a redução do fator água/gesso, com todas as fibras, e permitiu que as fibras de sisal e de coco não ficassem segregadas, mas incorporadas na mistura, favorecendo uma moldagem mais homogênea (Figura 47).



Figura 46 – Compósito de gesso e fibras de coco, fator a/g de 0,85. Figura 47 – Compósito de gesso, superplastificante Glenium 51 e fibras de sisal, fator a/g de 0,40, mistura homogênea.

Tabela 27 – Massa unitária das pastas preparadas para os compósitos.

| Tipos | Fator (am/g) | Massa Unitária (kg/m³) | Tipos | Fator (a/g) | Massa Unitária (kg/m³) |
|---------|--------------|------------------------|---------|-------------|------------------------|
| NAN 50 | 0,55 | 1.631,31 | NP 0,35 | 0,55 | 1.621,21 |
| NAN 50 | 0,60 | 1.590,91 | NP 0,35 | 0,60 | 1.589,22 |
| NAN 50 | 0,65 | 1.528,62 | NP 0,35 | 0,65 | 1.563,97 |
| NAN 100 | 0,55 | 1.595,95 | NP 1,0 | 0,55 | 1.616,16 |
| NAN 100 | 0,60 | 1.582,49 | NP 1,0 | 0,65 | 1.562,29 |
| NAN 100 | 0,65 | 1.530,30 | G | 0,50 | 1.676,76 |
| NAN 100 | 0,70 | 1.526,93 | G | 0,60 | 1.611,11 |
| | | | G | 0,75 | 1.505,05 |
| | | | G | 0,85 | 1.469,69 |
| | | | GP | 0,40(*) | 1.735,69 |
| | | | GP | 0,50(*) | 1.683,50 |
| | | | GP | 0,60(*) | 1.582,49 |

am/g – quantidade de água e mucilagem/peso do gesso. a/g – quantidade de água/ peso do gesso.

(*) Quantidade de água e plastificante, somados, em relação ao gesso.

NAN 50 – *Nopalea* em Água Natural com 50% de substituição da água de amassamento pela mucilagem.

NAN 100 – *Nopalea* em Água Natural com 100% de substituição da água de amassamento pela mucilagem.

NP 0,35 – *Nopalea* em Pó (estufa) com 0,35% de pó de cacto em relação à massa de gesso.

NP 1,0 – *Nopalea* em Pó (estufa) com 1,0% de pó de cacto em relação à massa de gesso.

G – Gesso. GP – Gesso e superplastificante.

Os corpos-de-prova dos compósitos moldados foram submetidos ao mesmo processo descrito anteriormente para o ensaio de absorção (p. 61 e 62). A taxa de absorção média para cada mistura e o desvio padrão são apresentados na Tabela 28.

Foi observado novamente que, o período de 14 dias proposto para a realização do ensaio de absorção não foi suficiente para que os corpos-de-prova estivessem totalmente secos, verificado quando os mesmos foram pesados com 90 dias de moldagem, sendo esse peso considerado para o cálculo da absorção.

O peso dos corpos-de-prova com 8 e 14 dias (antes e após ensaio de absorção), peso com 90 dias, absorção de água de cada corpo-de-prova e a absorção média são apresentados nos Anexos E e F, p. 120 e 121.

Tabela 28 – Média da Absorção de Água dos corpos-de-prova dos compósitos.

| | Tipo | Fator (am/g) | Absorção Média (%) | Desvio Padrão |
|-----------------------------|-----------|-----------------|-----------------------|------------------|
| <i>Nopalea</i> Água Natural | NAN 50 B | 0,60 | 29,64 | 0,110 |
| | NAN 50 S | 0,55 | 26,01 | 0,183 |
| | NAN 50 C | 0,65 | 33,77 | 0,261 |
| | NAN 100 B | 0,60 | 29,02 | 0,081 |
| | NAN 100 S | 0,55 | 24,80 | 0,153 |
| | NAN 100 C | 0,65 | 31,49 | 0,246 |
| <i>Nopalea</i> Pó (estufa) | Tipo | Fator (a/g) | Absorção Média (%) | Desvio Padrão |
| | NP 0,35 B | 0,60 | 28,11 | 0,456 |
| | NP 0,35 S | 0,55 | 24,41 | 0,414 |
| | NP 0,35 C | 0,65 | 32,31 | 0,209 |
| | NP 1,0 B | 0,60 | 29,14 | 0,309 |
| | NP 1,0 S | 0,55 | 24,05 | 0,141 |
| Gesso Controle | NP 1,0 C | 0,65 | 29,25 | 1,888 |
| | GB | 0,70 | 35,68 | 0,368 |
| | GS | 0,50 | 22,73 | 0,179 |
| Gesso Superplastificante | GCc | 0,85 | 48,93 | 2,961 |
| | GPB | 0,45 | 20,82 | 0,041 |
| | GPS | 0,40 | 15,92 | 0,069 |
| | GPC | 0,50 | 23,18 | 0,205 |

am/g – quantidade de água e mucilagem/peso do gesso. a/g – quantidade de água/ peso do gesso.

NAN 50 – *Nopalea* em Água Natural com 50% de substituição da água de amassamento pela mucilagem.

NAN 100 – *Nopalea* em Água Natural com 100% de substituição da água de amassamento pela mucilagem.

NP 0,35 – *Nopalea* em Pó (estufa) com 0,35% de pó de cacto em relação à massa de gesso.

NP 1,0 – *Nopalea* em Pó (estufa) com 1,0% de pó de cacto em relação à massa de gesso.

B – Fibra de Bambu. S – Fibra de Sisal. C – Fibra de Coco.

GB – Gesso e fibra de bambu. GS – Gesso e fibra de sisal. GCc – Gesso e fibra de coco.

GPB, GPS e GPC – Gesso, superplastificante e bambu, sisal e coco, respectivamente.

Os cactos, da segunda etapa, foram colhidos em novembro de 2.008. Segundo o INMET – Instituto Nacional de Meteorologia (2009), no mês de novembro em Brasília, foram registradas a média das temperaturas máximas de 27°C e da umidade relativa do ar, no período mais quente do dia, de 60%.

Os corpos-de-prova dos compósitos de gesso utilizados no ensaio de absorção foram os mesmos corpos-de-prova utilizados no ensaio de flexão. A resistência à flexão média e o respectivo desvio padrão dos mesmos foram medidos e calculados (Tabela 29). A carga de ruptura e a resistência à flexão de cada corpo-de-prova e a média das resistências são apresentadas no Anexo G, p. 122 e 123.

Tabela 29 – Média da Resistência à Flexão dos corpos-de-prova dos compósitos.

| | Tipo | Fator (am/g) | Resistência à Flexão Média (MPa) | Desvio Padrão |
|--------------------------------|-----------|-----------------|-------------------------------------|------------------|
| <i>Nopalea</i> Água Natural | NAN 50 B | 0,60 | 2,60 | 0,120 |
| | NAN 50 S | 0,55 | 2,06 | 0,249 |
| | NAN 50 C | 0,65 | 1,66 | 0,304 |
| | NAN 100 B | 0,60 | 2,66 | 0,245 |
| | NAN 100 S | 0,55 | 1,26 | 0,166 |
| | NAN 100 C | 0,65 | 1,60 | 0,179 |
| | Tipo | Fator (a/g) | Resistência à Flexão Média (MPa) | Desvio Padrão |
| <i>Nopalea</i> Pó (estufa) | NP 0,35 B | 0,60 | 2,24 | 0,207 |
| | NP 0,35 S | 0,55 | 1,39 | 0,167 |
| | NP 0,35 C | 0,65 | 1,68 | 0,085 |
| | NP 1,0 B | 0,60 | 1,33 | 0,133 |
| | NP 1,0 S | 0,55 | 1,22 | 0,112 |
| | NP 1,0 C | 0,65 | 0,78 | 0,114 |
| Gesso Controle | GB | 0,70 | 2,07 | 0,237 |
| | GS | 0,50 | 2,58 | 0,217 |
| | GCc | 0,85 | 0,93 | 0,203 |
| Gesso Superplastificante | GPB | 0,45 | 2,96 | 0,314 |
| | GPS | 0,40 | 3,08 | 0,893 |
| | GPC | 0,50 | 2,64 | 0,130 |

am/g – quantidade de água e mucilagem/peso do gesso. a/g – quantidade de água/ peso do gesso.

NAN 50 – *Nopalea* em Água Natural com 50% de substituição da água de amassamento pela mucilagem.

NAN 100 – *Nopalea* em Água Natural com 100% de substituição da água de amassamento pela mucilagem.

NP 0,35 – *Nopalea* em Pó (estufa) com 0,35% de pó de cacto em relação à massa de gesso.

NP 1,0 – *Nopalea* em Pó (estufa) com 1,0% de pó de cacto em relação à massa de gesso.

B – Fibra de Bambu. S – Fibra de Sisal. C – Fibra de Coco.

GB – Gesso e fibra de bambu. GS – Gesso e fibra de sisal. GCc – Gesso e fibra de coco.

GPB, GPS e GPC – Gesso, superplastificante e bambu, sisal e coco, respectivamente.

3.2.1 – Testes Estatísticos do Ensaio de Absorção dos Compósitos

Os resultados do ensaio de absorção de água, nos corpos-de-prova dos compósitos de gesso com fibras vegetais (Tabela 28, p. 81), foram analisados utilizando o teste estatístico ANOVA - Análise de Variância. Segundo o ANOVA, foram verificadas diferenças altamente significativas ($F = 204,722$; e nível- $p < 0,001$), na comparação dos resultados do ensaio de absorção dos corpos-de-prova de todos os compósitos elaborados.

Na comparação dos resultados do ensaio de absorção dos corpos-de-prova dos compósitos com fibras de bambu, segundo o ANOVA, houve diferença altamente significativa ($F = 877,942$; e nível- $p < 0,001$).

Na comparação dos resultados do ensaio de absorção dos corpos-de-prova dos compósitos com fibras de sisal, segundo o ANOVA, também houve diferença altamente significativa ($F = 824,454$; e nível- $p < 0,001$).

E, finalmente, na comparação dos resultados do ensaio de absorção dos corpos-de-prova dos compósitos com fibras de coco, segundo o ANOVA, houve diferença altamente significativa ($F = 105,399$; e nível- $p < 0,001$).

Os mesmos resultados do ensaio de absorção, dos corpos-de-prova dos compósitos de gesso com todas as fibras utilizadas, foram analisados segundo outro teste estatístico: o teste SNK - Student Newman Keuls (Tabela 30, p. 84). E, posteriormente foram analisados, separadamente os compósitos com fibras de bambu, compósitos com fibras de sisal e compósitos com fibras de coco (Tabelas 31, 32 e 33, p. 84 e 85). As menores taxas de absorção indicam os melhores resultados, verificados do lado esquerdo e superior das tabelas, parte sombreada.

Tabela 30 – Resultado estatístico da Absorção de Água (%) dos corpos-de-prova dos compósitos, utilizando o teste SNK.

| Tipo | Fator | Teste Student-Newman-Keuls Subset for alpha = 0.05 | | | | | | | | | |
|-----------|-------|-------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| GPS | 0,40 | 15,93 | | | | | | | | | |
| GPB | 0,45 | | 20,83 | | | | | | | | |
| GS | 0,50 | | | 22,74 | | | | | | | |
| GPC | 0,50 | | | 23,18 | 23,18 | | | | | | |
| NP 1,0 S | 0,55 | | | 24,06 | 24,06 | | | | | | |
| NP 0,35 S | 0,55 | | | 24,41 | 24,41 | 24,41 | | | | | |
| NAN 100 S | 0,55 | | | | 24,81 | 24,81 | | | | | |
| NAN 50 S | 0,55 | | | | | 26,02 | | | | | |
| NP 0,35 B | 0,60 | | | | | | 28,11 | | | | |
| NAN 100 B | 0,60 | | | | | | 29,02 | | | | |
| NP 1,0 B | 0,60 | | | | | | 29,14 | | | | |
| NP 1,0 C | 0,65 | | | | | | 29,26 | | | | |
| NAN 50 B | 0,60 | | | | | | 29,65 | | | | |
| NAN 100 C | 0,65 | | | | | | | 31,50 | | | |
| NP 0,35 C | 0,65 | | | | | | | 32,31 | | | |
| NAN 50 C | 0,65 | | | | | | | | 33,78 | | |
| GB | 0,70 | | | | | | | | | 35,68 | |
| GC | 0,85 | | | | | | | | | | 48,94 |
| | Sig. | 1,000 | 1,000 | ,098 | ,113 | ,070 | ,209 | ,255 | 1,000 | 1,000 | 1,000 |

NAN 50 – *Nopalea* em Água Natural com 50% de substituição da água de amassamento pela mucilagem.

NAN 100 – *Nopalea* em Água Natural com 100% de mucilagem.

NP 0,35 – *Nopalea* em Pó (estufa) com 0,35% de pó de cacto em relação à massa de gesso.

NP 1,0 – *Nopalea* em Pó (estufa) com 1,0% de pó de cacto em relação à massa de gesso.

B – Fibra de Bambu. S – Fibra de Sisal. C – Fibra de Coco.

GB – Gesso e fibra de bambu. GS – Gesso e fibra de sisal. GCc – Gesso e fibra de coco.

GPB, GPS e GPC – Gesso, superplastificante e bambu, sisal e coco, respectivamente.

Tabela 31 – Resultado estatístico da Absorção de Água (%) dos corpos-de-prova dos compósitos com fibras de bambu, utilizando o teste SNK.

| Tipo | Fator | Teste Student-Newman-Keuls Subset for alpha = 0.05 | | | | |
|-----------|-------|-------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| GPB | 0,45 | 20,83 | | | | |
| NP 0,35 B | 0,60 | | 28,11 | | | |
| NAN 100 B | 0,60 | | | 29,02 | | |
| NP 1,0 B | 0,60 | | | 29,14 | | |
| NAN 50 B | 0,60 | | | | 29,65 | |
| GB | 0,70 | | | | | 35,68 |
| | Sig. | 1,000 | 1,000 | ,607 | 1,000 | 1,000 |

NAN 50 – *Nopalea* em Água Natural com 50% de substituição da água de amassamento pela mucilagem.

NAN 100 – *Nopalea* em Água Natural com 100% de mucilagem.

NP 0,35 – *Nopalea* em Pó (estufa) com 0,35% de pó de cacto em relação à massa de gesso.

NP 1,0 – *Nopalea* em Pó (estufa) com 1,0% de pó de cacto em relação à massa de gesso.

B – Fibra de Bambu.

GB – Gesso e fibra de bambu.

GPB – Gesso, superplastificante e bambu.

Tabela 32 – Resultado estatístico da Absorção de Água (%) dos corpos-de-prova dos compósitos com fibras de sisal, utilizando o teste SNK.

| Tipo | Fator | Teste Student-Newman-Keuls Subset for alpha = 0.05 | | | | |
|-----------|-------|-------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| GPS | 0,40 | 15,93 | | | | |
| GS | 0,50 | | 22,74 | | | |
| NP 1,0 S | 0,55 | | | 24,06 | | |
| NP 0,35 S | 0,55 | | | 24,41 | | |
| NAN 100 S | 0,55 | | | | 24,81 | |
| NAN 50 S | 0,55 | | | | | 26,02 |
| | Sig. | 1,000 | 1,000 | ,070 | 1,000 | 1,000 |

NAN 50 – *Nopalea* em Água Natural com 50% de substituição da água de amassamento pela mucilagem.

NAN 100 – *Nopalea* em Água Natural com 100% de mucilagem.

NP 0,35 – *Nopalea* em Pó (estufa) com 0,35% de pó de cacto em relação à massa de gesso.

NP 1,0 – *Nopalea* em Pó (estufa) com 1,0% de pó de cacto em relação à massa de gesso.

S – Fibra de Sisal.

GS – Gesso e fibra de sisal.

GPS – Gesso, superplastificante e sisal.

Tabela 33 – Resultado estatístico da Absorção de Água (%) dos corpos-de-prova dos compósitos com fibras de coco, utilizando o teste SNK.

| Tipo | Fator | Teste Student-Newman-Keuls Subset for alpha = 0.05 | | | |
|-----------|-------|-------------------------------------------------------|-------|-------|-------|
| GPC | 0,50 | 23,18 | | | |
| NP 1,0 C | 0,65 | | 29,26 | | |
| NAN 100 C | 0,65 | | 31,50 | 31,50 | |
| NP 0,35 C | 0,65 | | 32,31 | 32,31 | |
| NAN 50 C | 0,65 | | | 33,78 | |
| GC | 0,85 | | | | 48,94 |
| | Sig. | 1,000 | ,057 | ,174 | 1,000 |

NAN 50 – *Nopalea* em Água Natural com 50% de substituição da água de amassamento pela mucilagem.

NAN 100 – *Nopalea* em Água Natural com 100% de mucilagem.

NP 0,35 – *Nopalea* em Pó (estufa) com 0,35% de pó de cacto em relação à massa de gesso.

NP 1,0 – *Nopalea* em Pó (estufa) com 1,0% de pó de cacto em relação à massa de gesso.

C – Fibra de Coco.

GCc – Gesso e fibra de coco.

GPC – Gesso, superplastificante e coco.

3.2.2 – Testes Estatísticos do Ensaio de Flexão dos Compósitos

Os resultados do ensaio de resistência à flexão nos corpos-de-prova dos compósitos de gesso com fibras vegetais (Tabela 29, p. 82), foram analisados utilizando o teste estatístico ANOVA - Análise de Variância. Segundo o ANOVA, foram verificadas diferenças altamente significativas ($F = 17,249$; e nível- $p < 0,001$), na comparação dos resultados do ensaio de flexão dos corpos-de-prova de todos os compósitos elaborados.

Na comparação dos resultados do ensaio de flexão dos corpos-de-prova dos compósitos com fibras de bambu, segundo o ANOVA, houve diferença altamente significativa ($F = 20,658$; e nível- $p < 0,001$).

Na comparação dos resultados do ensaio de flexão dos corpos-de-prova dos compósitos com fibras de sisal, segundo o ANOVA, também houve diferença altamente significativa ($F = 11,099$; e nível- $p < 0,001$).

E, finalmente, na comparação dos resultados do ensaio de flexão dos corpos-de-prova dos compósitos com fibras de coco, segundo o ANOVA, houve diferença altamente significativa ($F = 33,472$; e nível- $p < 0,001$).

Os mesmos resultados do ensaio de flexão, dos corpos-de-prova dos compósitos de gesso com todas as fibras utilizadas, foram analisados segundo outro teste estatístico: o teste SNK - Student Newman Keuls (Tabela 34, p. 87). E, posteriormente foram analisados, separadamente os compósitos com fibras de bambu, compósitos com fibras de sisal e compósitos com fibras de coco (Tabelas 35, 36 e 37, p. 87 e 88). As maiores resistências indicam os melhores resultados, verificados do lado direito e inferior das tabelas, parte sombreada.

Tabela 34 – Resultado estatístico da Resistência à Flexão (MPa) dos corpos-de-prova dos compósitos, utilizando o teste SNK.

| Tipo | Fator | Teste Student Newman Keuls | | | | | |
|-----------|-------|----------------------------|------|------|------|------|------|
| | | Subset for alpha = 0.05 | | | | | |
| NP 1,0 C | 0,65 | 0,78 | | | | | |
| GCc | 0,85 | 0,93 | 0,93 | | | | |
| NP 1,0 S | 0,55 | 1,22 | 1,22 | | | | |
| NAN 100 S | 0,55 | 1,26 | 1,26 | | | | |
| NP 1,0 B | 0,60 | 1,33 | 1,33 | 1,33 | | | |
| NP 0,35 S | 0,55 | 1,39 | 1,39 | 1,39 | | | |
| NAN 100 C | 0,65 | | 1,60 | 1,60 | 1,60 | | |
| NAN 50 C | 0,65 | | 1,66 | 1,66 | 1,66 | | |
| NP 0,35 C | 0,65 | | 1,68 | 1,68 | 1,68 | | |
| NAN 50 S | 0,55 | | | 2,06 | 2,06 | 2,06 | |
| GB | 0,70 | | | 2,07 | 2,07 | 2,07 | |
| NP 0,35 B | 0,60 | | | | 2,24 | 2,24 | |
| GS | 0,50 | | | | | 2,58 | |
| NAN 50 B | 0,60 | | | | | 2,60 | |
| GPC | 0,50 | | | | | 2,64 | |
| NAN 100 B | 0,60 | | | | | 2,66 | |
| GPB | 0,45 | | | | | 2,96 | |
| GPS | 0,40 | | | | | 3,08 | |
| | Sig. | ,135 | ,062 | ,053 | ,108 | ,187 | ,322 |

NAN 50 – *Nopalea* em Água Natural com 50% de substituição da água de amassamento pela mucilagem.

NAN 100 – *Nopalea* em Água Natural com 100% de mucilagem.

NP 0,35 – *Nopalea* em Pó (estufa) com 0,35% de pó de cacto em relação à massa de gesso.

NP 1,0 – *Nopalea* em Pó (estufa) com 1,0% de pó de cacto em relação à massa de gesso.

B – Fibra de Bambu. S – Fibra de Sisal. C – Fibra de Coco.

GB – Gesso e fibra de bambu. GS – Gesso e fibra de sisal. GCc – Gesso e fibra de coco.

GPB, GPS e GPC – Gesso, superplastificante e bambu, sisal e coco, respectivamente.

Tabela 35 – Resultado estatístico da Resistência à Flexão (MPa) dos corpos-de-prova dos compósitos com fibras de bambu, utilizando o teste SNK.

| Tipo | Fator | Teste Student Newman Keuls | | | |
|-----------|-------|----------------------------|------|------|------|
| | | Subset for alpha = 0.05 | | | |
| NP 1,0 B | 0,60 | 1,33 | | | |
| GB | 0,70 | | 2,07 | | |
| NP 0,35 B | 0,60 | | 2,24 | 2,24 | |
| NAN 50 B | 0,60 | | | 2,60 | 2,60 |
| NAN 100 B | 0,60 | | | 2,66 | 2,66 |
| GPB | 0,45 | | | | 2,96 |
| | Sig. | 1,000 | ,361 | ,085 | ,152 |

NAN 50 – *Nopalea* em Água Natural com 50% de substituição da água de amassamento pela mucilagem.

NAN 100 – *Nopalea* em Água Natural com 100% de mucilagem.

NP 0,35 – *Nopalea* em Pó (estufa) com 0,35% de pó de cacto em relação à massa de gesso.

NP 1,0 – *Nopalea* em Pó (estufa) com 1,0% de pó de cacto em relação à massa de gesso.

B – Fibra de Bambu.

GB – Gesso e fibra de bambu.

GPB – Gesso, superplastificante e bambu.

Tabela 36 – Resultado estatístico da Resistência à Flexão (MPa) dos corpos-de-prova dos compósitos com fibras de sisal, utilizando o teste SNK.

| Tipo | Fator | Teste Student Newman Keuls Subset for alpha = 0.05 | | |
|-----------|-------|-------------------------------------------------------|------|------|
| NP 1,0 S | 0,55 | 1,22 | | |
| NAN 100 S | 0,55 | 1,26 | | |
| NP 0,35 S | 0,55 | 1,39 | | |
| NAN 50 S | 0,55 | 2,06 | 2,06 | |
| GS | 0,50 | | 2,58 | 2,58 |
| GPS | 0,40 | | | 3,08 |
| | Sig. | ,100 | ,141 | ,157 |

NAN 50 – *Nopalea* em Água Natural com 50% de substituição da água de amassamento pela mucilagem.

NAN 100 – *Nopalea* em Água Natural com 100% de mucilagem.

NP 0,35 – *Nopalea* em Pó (estufa) com 0,35% de pó de cacto em relação à massa de gesso.

NP 1,0 – *Nopalea* em Pó (estufa) com 1,0% de pó de cacto em relação à massa de gesso.

S – Fibra de Sisal.

GS – Gesso e fibra de sisal.

GPS – Gesso, superplastificante e sisal.

Tabela 37 – Resultado estatístico da Resistência à Flexão (MPa) dos corpos-de-prova dos compósitos com fibras de coco, utilizando o teste SNK.

| Tipo | Fator | Teste Student Newman Keuls Subset for alpha = 0.05 | | |
|-----------|-------|-------------------------------------------------------|------|-------|
| NP 1,0 C | 0,65 | 0,78 | | |
| GCc | 0,85 | 0,93 | | |
| NAN 100 C | 0,65 | | 1,60 | |
| NAN 50 C | 0,65 | | 1,66 | |
| NP 0,35 C | 0,65 | | 1,68 | |
| GPC | 0,50 | | | 2,64 |
| | Sig. | ,377 | ,890 | 1,000 |

NAN 50 – *Nopalea* em Água Natural com 50% de substituição da água de amassamento pela mucilagem.

NAN 100 – *Nopalea* em Água Natural com 100% de mucilagem.

NP 0,35 – *Nopalea* em Pó (estufa) com 0,35% de pó de cacto em relação à massa de gesso.

NP 1,0 – *Nopalea* em Pó (estufa) com 1,0% de pó de cacto em relação à massa de gesso.

C – Fibra de Coco.

GCc – Gesso e fibra de coco.

GPC – Gesso, superplastificante e coco.

4 – ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 - MUCILAGEM E ABSORÇÃO DE ÁGUA DAS PASTAS

No processo de extração da mucilagem dos cactos *Opuntia ficus indica* e *Nopalea cochenillifera*, em água quente, verificou-se que a massa da *Opuntia* retida em peneira, após 30 minutos de fervura, diminuiu, enquanto que a massa da *Nopalea* ficou pouco reduzida (Tabela 09, p. 65). A diminuição da massa da *Opuntia* pode indicar uma melhor “diluição” da mucilagem em água, em decorrência da maior espessura de suas raquetes (Figuras 48 e 49). Esse fato pode induzir à conclusão de que esse tipo de extração, principalmente no cacto *Opuntia*, é o mais eficiente, o que não se verifica nos resultados (Tabela 20, p. 74). Os corpos-de-prova das pastas de gesso com mucilagem, extraída em água quente, apresentaram os piores resultados de absorção, em comparação com aqueles de pastas com mucilagem em gel.



Figura 48 – Cacto *Opuntia* cortado transversalmente. Figura 49 - Cacto *Nopalea* cortado em pequenos fragmentos.

No processo de extração em água natural, foi verificado o aumento da massa dos cactos retidos em peneira, após dois dias de repouso, indicando uma absorção da água pelos cactos (Tabela 09, p. 65). Essa absorção, maior no cacto *Nopalea*, não impediu que a mucilagem fosse extraída na água e os corpos-de-prova (CPs) das pastas de gesso com esse tipo de mucilagem apresentassem os melhores resultados no ensaio de absorção, em

comparação com os resultados dos CPs das pastas com mucilagem em gel (Tabela 20, p. 74).

No ensaio de absorção, os resultados dos CPs corpos-de-prova das pastas de gesso elaboradas com mucilagem em gel do cacto *Nopalea*, obtida em segunda extração, foram inferiores se comparados com os resultados daqueles de pastas elaboradas com mucilagem obtida na primeira extração, porém, foram superiores se comparados com os resultados daqueles de pastas elaboradas com mucilagem extraída em água quente (Tabela 20, p. 74). Esses resultados indicam a existência da mucilagem nos cactos coados, após a primeira extração, ou seja, há necessidade de melhorar, de tornar mais eficaz, a extração desta mucilagem em água natural.

Os CPs das pastas de gesso com mucilagem em gel, obtida em segunda extração, foram os de melhor aspecto, apresentando superfície mais lisa (Figuras 50 e 51), em comparação com todos os CPs das pastas com mucilagem.

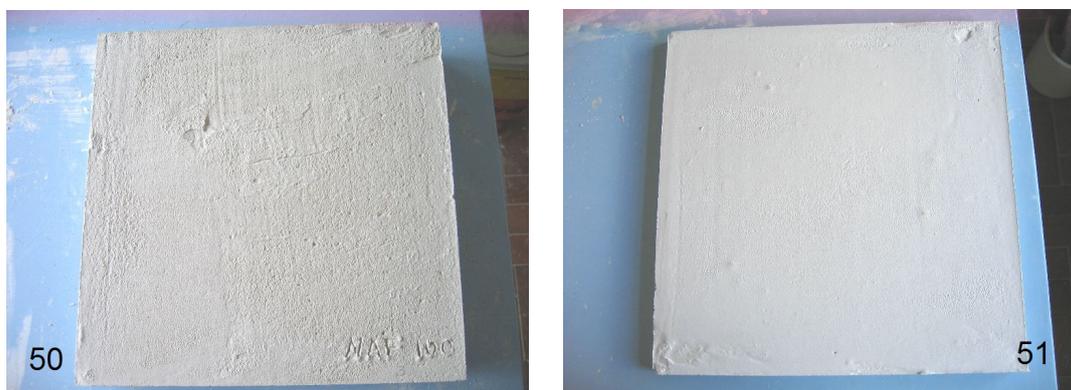


Figura 50 – Corpo-de-prova com 100% de *Nopalea* em Água Natural, primeira extração.

Figura 51 – Corpo-de-prova com 50% de *Nopalea* em Água Natural, segunda extração.

O pó dos cactos *Opuntia* e *Nopalea*, secos em estufa, foram colocados em recipientes com água natural para que diluídos formassem um gel viscoso. Inicialmente se supôs que o pó resultante de cada cacto era “inerte”, em vista do resíduo depositado no fundo dos recipientes (“borra”), e por este motivo não foram preparadas as respectivas pastas. Porém, os resultados dos CPs das pastas com adição direta de cada pó, corrigiram a suposição equivocada quanto à sua inércia, e serão abordados mais adiante.

Os resultados do ensaio de absorção dos CPs elaborados com mucilagem em gel, a partir do cacto em pó naturalmente seco, foram intermediários se comparados com os resultados dos CPs de todas as pastas preparadas, porém, se comparados com os CPs das pastas com mucilagem em gel, esses foram os piores resultados (Tabela 20, p. 74).

Nas pastas de gesso com mucilagem em gel houve variação no traço. Nas pastas, com mucilagem em água quente, o traço adequado foi de 1:0,45 (gesso:água e mucilagem) e nas pastas com mucilagem em água natural, o traço adequado foi de 1:0,40 (gesso:água e mucilagem), inclusive nas pastas com mucilagem obtida em segunda extração (Tabela 11, p. 67 e Tabela 16, p. 70). Nas pastas de gesso com mucilagem em gel, obtida a partir do pó do cacto *Nopalea* naturalmente seco, o traço adequado foi de 1:0,45 (gesso:água e mucilagem) para 50% de substituição da água de amassamento pela mucilagem e traço de 1:0,50 (gesso:mucilagem) para 100% de substituição da água de amassamento pela mucilagem.

Nos cactos desidratados em estufa, foi verificada maior perda de água e, conseqüentemente, menor porcentagem de cacto seco/cacto verde, na espécie *Opuntia* (Tabela 10, p. 65). A perda maior de água ocorre em função da maior espessura deste cacto e maior quantidade de água nele existente. Cabe ressaltar que, para a desidratação de ambos os cactos em estufa, o cacto *Nopalea* perde menos água, resultando em maior porcentagem de cacto seco/cacto verde, quase duas vezes mais, se comparada essa porcentagem em relação ao cacto *Opuntia* (Tabela 10, p. 65).

Os CPs das pastas com pó do cacto *Nopalea*, estufa, apresentaram os melhores resultados no ensaio de absorção, menores taxas, na comparação com os resultados daqueles de todas as pastas preparadas (Tabela 20, p. 74). Os resultados das pastas com pó do cacto *Opuntia*, estufa, não foram incluídos nos resultados estatísticos em função da moldagem de apenas um CP para cada proporção (de 0,35% e de 1,0%, em relação à massa de gesso) e fator água/gesso de 0,40. O CP de cada pasta apresentou reduzida taxa de absorção, sendo necessária sua repetição para confirmação dos resultados (Tabela 15, p. 69).

Os resultados do ensaio de absorção dos CPs das pastas com pó do cacto naturalmente seco foram os piores, se comparados com os resultados dos CPs de todas as pastas preparadas com mucilagem em gel ou em pó.

Nas pastas de gesso com pó de cacto, também houve variação no traço (Tabela 12, p. 67). Nas pastas de gesso com cacto em pó obtido em estufa, o traço adequado foi de 1:0,40 (gesso:água). Nas pastas de gesso com cacto em pó naturalmente seco, espécie *Nopalea*, o traço adequado foi de 1:0,50 (gesso:água) para a adição de 0,35% de pó em relação à massa de gesso, e traço de 1:0,55 (gesso:água) para a adição de 1,0% de pó em relação à massa de gesso.

O traço 1:0,40 obtido nas pastas com mucilagem em gel (*Opuntia* e *Nopalea* em água natural) e nas pastas com cacto em pó (*Opuntia* e *Nopalea* em estufa) indicam que a adição dos cactos permitiu a diminuição de água de amassamento, funcionando como um plastificante, além de retardar o tempo de pega do gesso. Os resultados do ensaio de absorção, nos CPs destas pastas, foram significativamente melhores (Tabela 20, p. 74), se comparado com os resultados dos CPs de todas as pastas preparadas. Segundo Chandra *et al.* (1998) são os polissacarídeos presentes na mucilagem que aumentam sua trabalhabilidade, possibilitando a redução da água de amassamento, além de retardar o endurecimento da mistura. Não seria possível moldar CPs de pasta de gesso com traço 0,40 tendo em vista a rapidez com que o gesso endurece.

O aumento da proporção de mucilagem, em gel (50% para 100% de substituição), e em pó (0,35% para 1,0% em relação à quantidade de gesso), nas pastas de gesso, resultou em melhoria significativa do resultado de absorção dos CPs, conforme descrito por Chandra *et al.* (1998) e Torres-Acosta e Cano Barrita (2007). Já nas pastas com mucilagem do cacto *Nopalea* naturalmente seco, tanto em gel como em pó, o que ocorreu foi o inverso (Tabela 20, p. 74). A adição desta mucilagem e o aumento de sua proporção nas pastas acarretaram o aumento do traço e, conseqüentemente, piora nos resultados do ensaio de absorção. Segundo Sáenz (2006), o pó do cacto contém além da mucilagem, fibras solúveis e insolúveis, o que poderia explicar o aumento do traço das pastas. Entretanto, a mesma explicação não se aplica ao pó obtido pela desidratação em estufa, apesar de também conter casca e

fibras. Segundo Torres-Acosta e Cano Barrita (2007), a adição de cacto em pó diminui a trabalhabilidade, sendo necessário o aumento da quantidade de água nas misturas, porém, verificou-se que essa quantidade de água depende da forma de desidratação do cacto para a obtenção do pó (natural ou em estufa), e a explicação desta variação não foi ainda esclarecida.

Entre os cactos *Opuntia ficus-indica* e *Nopalea cochenillifera* foi possível realizar uma comparação entre os resultados de absorção dos CPs das pastas com mucilagem em gel, obtidas pela extração em água quente e em água natural. Pode-se verificar que não houve diferença significativa entre os resultados dos CPs das pastas de gesso com 50% e 100% de mucilagem, em água quente. Apenas os CPs das pastas de gesso com 100% de mucilagem do cacto *Nopalea*, em água natural, apresentaram resultados significativamente melhores em suas taxas de absorção (Tabela 20, p. 74).

Foram também preparadas pasta de gesso controle, com traço de 1:0,60 (gesso:água), pastas de gesso com impermeabilizante (10% e 50% de substituição da água de amassamento), com traço de 1:0,60 (gesso:água e impermeabilizante), e pasta de gesso com superplastificante, com traço de 1:0,50 (gesso:água e superplastificante).

Os CPs da pasta controle apresentaram grande absorção de água, e somente foram superados pelos CPs da pasta de gesso com 10% de impermeabilizante que apresentaram os piores resultados quando comparados com as demais pastas preparadas. Os resultados dos CPs das pastas de gesso com adição de 50% de impermeabilizante permitiram uma melhora significativa no ensaio de absorção de água, porém abaixo dos resultados dos CPs de todas as pastas com mucilagem em gel e em pó (Tabela 20, p. 74). Portanto, o aumento da proporção de impermeabilizante diminuiu a absorção de água nos CPs, porém não foi mais eficaz que a adição de mucilagem em gel e em pó nas pastas de gesso.

A adição de superplastificante na pasta de gesso com traço de 1:0,50 (gesso:água e superplastificante) não resultou em uma taxa de absorção significativamente melhor, se comparada com os resultados dos CPs de outras pastas de mesmo traço. A taxa de absorção nos CPs com superplastificante foi inclusive maior que os resultados dos CPs da pasta com 50% de

impermeabilizante e traço de 1:0,60 (gesso:água e impermeabilizante) e de todas as pastas preparadas com mucilagem em gel e em pó. O efeito benéfico da adição do superplastificante foi a redução da quantidade de água na mistura e um maior tempo para sua manipulação, antes do tempo de pega do gesso.

Resumindo, a adição da mucilagem de cacto nas pastas de gesso permitiu reduzir em mais da metade a absorção da água nos CPs quando comparada com a absorção dos CPs da pasta controle. Os CPs do gesso acartonado apresentaram reduzida absorção de água, porém não é conhecida a sua composição e por isso mesmo não foram incluídos nos resultados estatísticos realizados. A combinação da mucilagem com outros materiais pode vir a se tornar um material competitivo no mercado, com a vantagem de ser um material orgânico e de baixo custo.

4.2 – RESISTÊNCIA À FLEXÃO DAS PASTAS

Os CPs moldados para o ensaio de absorção de água foram os mesmos utilizados para o ensaio de flexão, após 90 dias de moldagem. Conforme descrito anteriormente, p. 63, a resistência obtida pode não significar a máxima resistência do CP, pois o mesmo já teria sido submerso em água.

Os resultados estatísticos do ensaio de flexão indicaram que os CPs das pastas com 50% e com 100% de mucilagem obtida na segunda extração, das pastas com 50% e com 100% de mucilagem em gel obtida em água natural (*Opuntia*) e da pasta com 50% de mucilagem em gel obtida em água natural (*Nopalea*), apresentaram significativamente os melhores resultados (Tabela 21, p. 75). Os resultados dos CPs das pastas com mucilagem obtida em segunda extração, novamente confirmam a necessidade de aprimorar a extração desta mucilagem em água natural.

A adição da mucilagem de cacto nas pastas de gesso permitiu aumentar em quase 100% a resistência à flexão dos CPs quando comparada com a resistência à flexão dos CPs da pasta controle.

Não apresentaram diferença significativa os resultados dos CPs, no ensaio de flexão, da pasta com 50% de impermeabilizante, da pasta com 100% de mucilagem em gel obtida em água natural (*Nopalea*), da pasta com 0,35% de pó do cacto *Nopalea* (estufa) e da pasta de gesso com superplastificante (Tabela 21, p. 75).

Foi verificado em todos os CPs das pastas com mucilagem em gel (água quente ou natural) e das pastas com cacto em pó (estufa ou naturalmente seco) que, o aumento da proporção de mucilagem resultou em uma piora significativa dos resultados no ensaio de flexão. O aumento da quantidade de mucilagem não proporcionou aumento da resistência à flexão nos CPs de pastas de gesso (Tabela 21, p. 75). Esse fato talvez explique os resultados encontrados por Cárdenas (1998), que incorporou em pastas de cal comercial e de hidróxido de cálcio grande quantidade de mucilagem liofilizada, resultando em diminuição de sua resistência.

Os CPs da pasta elaborada com 50% de mucilagem em gel obtida em água quente da espécie *Opuntia*, foram os únicos a apresentar diferença significativa entre os resultados dos CPs das pastas com mucilagem do cacto *Nopalea*, nos demais resultados, não houve diferença significativa entre os resultados dos CPs das pastas com mucilagem em gel de ambos os cactos (Tabela 21, p. 75).

Não houve diferença significativa entre os resultados dos CPs das pastas com 0,35% e com 1,0% de pó de cacto *Nopalea*, estufa, da pasta com 0,35% de pó de cacto *Nopalea*, naturalmente seco, e da pasta de gesso controle (Tabela 21, p. 75).

Os resultados das pastas preparadas com pó do cacto *Opuntia*, estufa, não foram incluídos nos resultados estatísticos em função da moldagem de apenas um CP para cada proporção (de 0,35% e de 1,0%, em relação à massa de gesso) e fator água/gesso de 0,40. O resultado do CP da pasta com 0,35% de cacto em pó apresentou grande resistência à flexão, sendo necessária sua repetição posterior para esta confirmação (Tabela 19, p. 72).

Os painéis de gesso acartonado com espessura de 12,5 mm e, de acordo com a norma NBR 14715/01 – Chapas de Gesso Acartonado –

Requisitos, devem suportar 4,40 MPa para cargas longitudinais e 1,68 MPa para cargas transversais. Os CPs das pastas preparadas com 50% de mucilagem em gel obtida na segunda extração, das pastas com 50% e com 100% de mucilagem em gel obtida em água natural do cacto *Opuntia* e da pasta com 50% de mucilagem em gel obtida em água natural do cacto *Nopalea*, ou seja, os melhores resultados no ensaio de flexão (Tabela 19, p. 72), estão acima do limite exigido para resistência à flexão com cargas longitudinais das placas de gesso acartonado (4,40 MPa). Cabe salientar que o gesso acartonado RU – Resistente à Umidade, possui em seu revestimento papel *Kraft* que lhe confere maior reforço e estabilidade e, os CPs deste trabalho, que não possuem tal revestimento, são ainda assim mais resistentes.

No ensaio de flexão, foi verificada a deformação nos CPs do gesso acartonado, não havendo a separação das partes após ruptura, devido ao papel *Kraft* (Figuras 52 e 53). Ao contrário dos CPs das pastas de gesso, preparados nesta dissertação, que sofreram ruptura total após a carga máxima de resistência (Figuras 54 e 55).

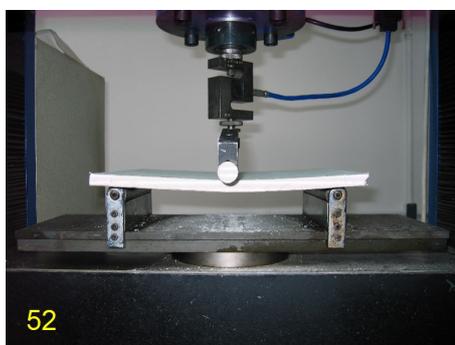
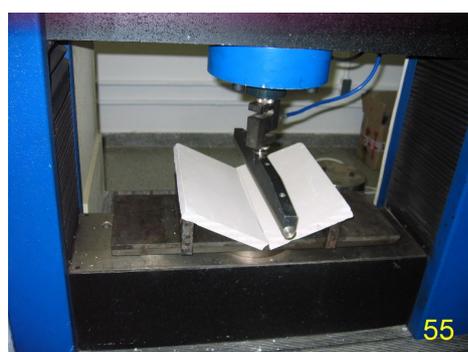
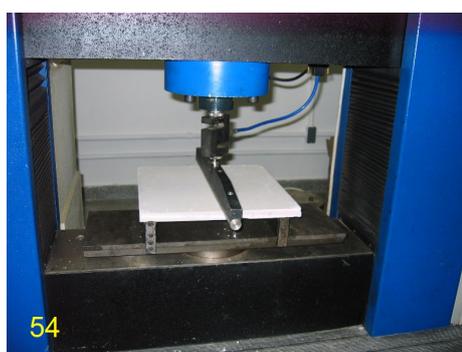


Figura 52 – Ensaio de flexão em corpo-de-prova do gesso acartonado e sua deformação.

Figura 53 – Linha de fratura na parte posterior do corpo-de-prova do gesso acartonado.



Figuras 54 e 55 – Corpo-de-prova da pasta OAQ 50 antes e após ensaio de flexão.

Comparando os resultados dos ensaios de absorção e flexão (Tabelas 20 e 21, p. 74 e 75), pode-se observar que a mucilagem adicionada em pastas de gesso permite reduzir a absorção de água e aumentar a resistência à flexão dos CPs, em comparação com os resultados dos CPs da pasta de gesso controle. O aumento da quantidade desta mucilagem nas pastas de gesso favorece a diminuição da absorção de água nos CPs, porém, não favorece o aumento da resistência à flexão nos mesmos. Como exemplo, pode-se citar os CPs da pasta de gesso com 1,0% de pó do cacto *Nopalea* (estufa), que apresentaram o melhor resultado no ensaio de absorção (Tabela 20, p. 74), enquanto que, no ensaio de flexão os CPs da mesma pasta apresentaram resultado não significativo (Tabela 21, p. 75).

Os CPs das pastas com mucilagem em gel extraída em água natural de ambos os cacto (*Opuntia* e *Nopalea*), das pastas com mucilagem obtida na segunda extração (*Nopalea*), ambas com 50% e 100% de mucilagem em gel, e da pasta de gesso com 0,35% de cacto *Nopalea* em pó (estufa) foram os que obtiveram os resultados mais significativos, nos ensaios de absorção e flexão (Tabelas 20 e 21, p. 74 e 75).

4.3 – ABSORÇÃO DE ÁGUA DOS COMPÓSITOS

Em função dos resultados obtidos na primeira etapa, foram preparados compósitos de gesso, fibras vegetais e mucilagem em gel, extraída em água natural, e compósitos de gesso, fibras vegetais e cacto em pó, obtido pela desidratação em estufa, ambos do cacto *Nopalea cochenillifera*. Foram também preparados compósitos de gesso controle e fibras vegetais, e compósitos de gesso, fibras vegetais e adição de superplastificante.

Nas misturas realizadas com mucilagem em gel, foi encontrado para os compósitos com fibras de bambu o traço adequado de 1:0,60 (gesso:água e mucilagem em gel), para os compósitos com fibras de sisal o traço adequado de 1:0,55, e para os compósitos com fibras de coco o traço adequado de 1:0,65 (Tabela 24, p. 77).

Nas misturas realizadas com adição do cacto em pó (estufa), foi encontrado para os compósitos com fibras de bambu o traço adequado de 1:0,60 (gesso:água), para os compósitos com fibras de sisal o traço adequado de 1:0,55, e para os compósitos com fibras de coco, o traço adequado de 1:0,65 (Tabela 25, p. 79).

Foi encontrado para os compósitos de gesso controle e fibras de bambu o traço adequado de 1:0,70 (gesso:água), para os compósitos controle com fibras de sisal o traço adequado de 1:0,50, e para os compósitos controle com fibras de coco o traço adequado de 1:0,85 (Tabela 26, p. 79). Compósitos de gesso controle com fibras de bambu ou de coco, com traços inferiores não permitiram uma moldagem satisfatória dos CPs tendo em vista o rápido tempo de pega do gesso (Figuras 56, 57 e 58). Os compósitos de gesso controle e fibras de coco apresentaram segregação das fibras, devido à grande relação água/gesso, conforme ilustrado anteriormente (Figura 46, p. 80).



Figura 56 – Compósitos de gesso com fibras de bambu e traço 1:0,50 (gesso:água).

Figura 57 – Compósito de gesso com fibras de bambu e traço 1:0,60.

Figura 58 – Compósito de gesso com fibras de bambu e traço adequado de 1:0,70.

Para os compósitos de gesso, superplastificante e fibras de bambu foi encontrado o traço adequado de 1:0,45 (gesso:água e superplastificante), nos compósitos com fibras de sisal o traço adequado de 1:0,40, e nos compósitos com fibras de coco o traço adequado de 1:0,50 (Tabela 26, p. 79). O superplastificante possibilitou uma grande redução da quantidade de água nas misturas, evitando a segregação das fibras nas pastas e permitindo, ainda, a moldagem dos corpos-de-prova antes do início do tempo de pega do gesso.

Desta forma, foi observado que, dentre as três fibras pesquisadas, a fibra de sisal é a fibra que absorve menos água da mistura, seguida pela fibra de bambu e por último a fibra de coco, que mais absorve água, ao contrário do que foi identificado por CEPED (1982) e Guimarães (1982), onde a fibra de coco é apresentada como a fibra que apresentou menor índice de absorção nos compósitos, comparada às fibras de bambu e de sisal. Nesse sentido, ensaios dessa natureza devem ser repetidos a fim de sanar essa divergência.

Os CPs dos compósitos com adição de superplastificante e fibras de bambu, de sisal e de coco, apresentaram os resultados mais significativos no ensaio de absorção, ou seja, a menor taxa de absorção de água (Tabelas 30, 31, 32 e 33, p. 84 e 85).

Na comparação entre os resultados do ensaio de absorção de todos os CPs dos compósitos, os CPs do compósito de gesso controle com fibra de sisal apresentaram resultados significativos devido ao reduzido traço da mistura, superior apenas aos resultados dos CPs do compósito de sisal com superplastificante (Tabelas 30 e 32, p. 84 e 85). Foi possível a moldagem destes CPs com traço reduzido tendo em vista a menor absorção da água de amassamento por esta fibra. Já os CPs dos compósitos de gesso controle com fibras de bambu e coco, apresentaram os piores resultados (Tabelas 30, 31 e 33, p.84 e 85).

Os CPs dos compósitos com fibras de bambu e de coco e mucilagem em gel ou em pó, apresentaram resultados intermediários, quando comparados com os resultados dos demais CPs (Tabelas 31 e 33, p. 84 e 85). Os resultados dos CPs dos compósitos com fibras de sisal e mucilagem em gel ou em pó não apresentaram melhoria significativa em relação aos resultados dos CPs do compósito de gesso controle (Tabela 31, p. 85).

4.4 – RESISTÊNCIA À FLEXÃO DOS COMPÓSITOS

Os CPs dos compósitos com adição de superplastificante e fibras de bambu, de sisal e de coco, apresentaram os resultados mais significativos no ensaio de flexão, ou seja, a maior Resistência à Flexão (Tabelas 34, 35, 36 e 37, p. 87 e 88). Estes resultados se devem em função do menor traço, favorecido pela ação do superplastificante.

Os CPs dos compósitos de fibras de bambu com 50% e com 100% de mucilagem obtida em água natural da espécie *Nopalea* e os CPs do compósito de gesso controle com fibras de sisal obtiveram resultados significativamente semelhantes aos dos CPs dos compósitos com superplastificantes e fibras vegetais (Tabelas 35 e 36, p. 87 e 88).

Foi verificada melhoria significativa, comparado ao compósito controle, os resultados dos CPs dos compósitos de fibras de bambu com mucilagem em gel (50% e 100%), dos CPs dos compósitos de fibras de coco com mucilagem em gel (50% e 100%) e dos CPs dos compósitos de fibras de coco com 0,35% de cacto em pó (Tabelas 35 e 37, p. 87 e 88). Porém, não foi verificada melhoria significativa nos resultados dos CPs dos compósitos de fibras de sisal mucilagem em gel ou em pó (Tabela 36, p. 88).

Nos CPs dos compósitos com fibras de bambu, compósitos com fibras de sisal e compósitos com fibras de coco, foi verificado, no ensaio de flexão, que após a carga de ruptura, apenas era visível uma fissura, sem que as duas partes do CP se desprendessem uma da outra (Figuras 59 e 60, p.101). Foi necessário usar força muscular para que a fissura nos CPs aumentassem (Figuras 61 e 62, p. 101) ou para que os CPs quebrassem totalmente, separando-se em duas partes (Figura 63, p. 101).



Figura 59 – Fissura em corpo-de-prova de compósito com fibras de bambu, após ensaio.

Figura 60 – Corpo-de-prova de compósito com fibras de bambu quebrado por força muscular.



Figura 61 – Corpo-de-prova de compósito com fibras de sisal, aumento da trinca por força muscular, após ensaio.

Figura 62 – Corpo-de-prova de compósito com fibra de coco, após ensaio de flexão, a fissura foi aumentada por força muscular.

Figura 63 – Corpo-de-prova de compósito com fibras de sisal, quebrada em duas partes, por força muscular.

5 - CONCLUSÕES

No trabalho realizado, pode-se constatar a importância das fibras vegetais, da mucilagem de cacto e do gesso para a elaboração de materiais de construção alternativos. O estudo desses materiais visa a preservação do meio ambiente, a redução do impacto gerado pelo setor da construção civil no consumo de matéria-prima e na geração de resíduos, além de possibilitar a redução do custo, favorecendo habitações de interesse social.

A mucilagem existente nos cactos *Opuntia ficus-indica* e *Nopalea cochenillifera* aumentou a resistência das pastas de gesso em função de suas propriedades aditivas (impermeabilidade e aumento da resistência mecânica). A forma de extração da mucilagem, em gel ou em pó, e, posteriormente sua adição em pastas de gesso, influenciou nos resultados.

A adição da mucilagem em pó, obtido através da desidratação dos cactos em estufa, e também a adição da mucilagem em gel, extraída em água natural, nas pastas de gesso propiciou aos CPs preparados, os resultados mais significativos no ensaio de absorção. O aumento da quantidade de mucilagem nas pastas de gesso favoreceu a diminuição da taxa de absorção de água nos CPs moldados.

A adição da mucilagem em gel, extraída em água natural, e a adição de 0,35% de mucilagem em pó, obtida pela desidratação dos cactos em estufa, nas pastas de gesso propiciou aos CPs preparados, melhorias significativas na resistência à flexão. O aumento da quantidade de mucilagem nas pastas de gesso não favoreceu o aumento da resistência nos CPs, pelo contrário, resultou na diminuição desta resistência.

Ainda estão presentes nos cactos coados, após dois dias de repouso para a primeira extração de mucilagem em água natural, substâncias aditivas. Os resultados dos CPs das pastas com mucilagem, obtida em segunda extração, apresentou resultados, no ensaio de absorção, significativos e, no ensaio de flexão, apresentou os mais significativos resultados.

A mucilagem contida nos cactos possui propriedades impermeabilizantes, visto que todos os CPs das pastas com mucilagem em gel e em pó apresentaram as menores taxas de absorção em relação aos resultados dos CPs das pastas de gesso controle e das pastas de gesso com adição de impermeabilizante ou superplastificante. A mucilagem, dependendo de sua forma de adição em pastas de gesso, também funciona como um aditivo, aumentando a resistência à flexão dos CPs preparados.

Na comparação entre os cactos *Opuntia ficus-indica* e *Nopalea cochenillifera*, não houve diferença significativa nos resultados do ensaio de absorção de água dos CPs das pastas com 50% e com 100% de mucilagem em gel, extraída em água quente e dos CPs das pastas com 50% de mucilagem em gel, extraída em água natural. Nos resultados dos CPs das pastas com 100% de mucilagem do cacto *Nopalea* em gel, extraída em água natural, houve diferença significativa nos resultados. Com base nos resultados, o cacto *Nopalea* possui propriedades impermeabilizantes tal qual o cacto *Opuntia*.

Na comparação entre os cactos *Opuntia ficus-indica* e *Nopalea cochenillifera*, não houve diferença significativa nos resultados do ensaio de flexão dos CPs das pastas com 50% e com 100% de mucilagem em gel, extraída em água natural e dos CPs das pastas com 100% de mucilagem em gel, extraída em água quente. Nos resultados dos CPs das pastas com 50% de mucilagem do cacto *Opuntia* em gel, extraída em água quente, houve diferença significativa nos resultados. Acrescenta-se ainda que, os CPs das pastas com mucilagem do cacto *Nopalea* em gel, obtida em segunda extração, apresentaram os melhores resultados de todos os CPs moldados. Sendo assim, o cacto *Nopalea* possui propriedades aditivas tal qual o cacto *Opuntia*.

As menores taxas de absorção ou as maiores resistências à flexão nas pastas de gesso dependem da quantidade e da forma de extração do gel ou da desidratação do cacto.

Algumas modificações na pasta de gesso com a adição de mucilagem de cacto foram verificadas. Dentre estas modificações, estão a possibilidade de redução da quantidade de água da pasta e o aumento do tempo de pega do gesso. Foi possível elaborar uma pasta consistente, desde a

mistura dos materiais com a adição de mucilagem de cacto. Nas pastas de gesso, sem aditivos, o que geralmente ocorre é a mistura do gesso com uma proporção maior de água, para que, após alguns minutos a pasta rala comece a iniciar o tempo de pega e se torne uma pasta com consistência adequada para sua aplicação. Com a adição de mucilagem, a pasta consistente foi obtida no início da mistura dos materiais, favorecido com um tempo de pega maior. O maior tempo de pega para a utilização de pastas de gesso permite a redução da perda deste material, visto que o maior problema na geração de resíduos de gesso ocorre pelo rápido endurecimento da pasta.

Nos ensaios de absorção e de flexão, os CPs dos compósitos de gesso, fibras vegetais e superplastificante foram aqueles que obtiveram os melhores resultados, em todas as fibras pesquisadas (fibras de bambu, de sisal e de coco). A eficácia do superplastificante foi devida à expressiva redução da água de amassamento nos compósitos e um maior tempo de pega da mistura.

Os resultados dos CPs dos compósitos de gesso, fibras de bambu e de coco, e mucilagem, obtiveram resultados no ensaio de absorção e de flexão significativamente melhores apenas em relação aos resultados dos CPs dos compósitos de gesso controle, com as mesmas fibras.

6 - RECOMENDAÇÕES

O objetivo do trabalho foi contribuir para o desenvolvimento de tecnologias construtivas utilizando matéria-prima de reduzido impacto ambiental. A mucilagem de ambos os cactos possui propriedades aditivas (impermeabilidade e aumento da resistência mecânica) e os resultados encontrados com a adição destas mucilagens em pastas de gesso foram bastante interessantes, sendo necessárias novas pesquisas para esclarecimentos das dúvidas aqui levantadas.

Recomenda-se a medição do tempo de pega das pastas de gesso com e sem mucilagem comparando-os entre si. Foi verificado um aumento do tempo de pega do gesso nas misturas com mucilagem apenas empiricamente.

Segundo a bibliografia consultada, no período quente e seco, há maior produção de mucilagem nos cactos. Recomenda-se a comparação desta mucilagem através da colheita dos cactos em períodos diversos, chuvoso, seco, frio e quente, para verificar se existe variação na produção e na concentração desta mucilagem.

Recomenda-se verificar com apuro em pesquisas futuras, a variação da quantidade de água necessária nas pastas com cacto em pó, visto que, houve a necessidade de maior quantidade de água nas pastas contendo cacto em pó, naturalmente seco, e houve a possibilidade da redução desta quantidade nas pastas contendo cacto em pó, desidratado em estufa.

Recomenda-se um aprofundamento da composição química dos cactos e seus efeitos no aumento ou diminuição da taxa de absorção de água e da resistência nas pastas.

Recomenda-se verificar através dos ensaios de absorção acústica e condutibilidade térmica, CPs das pastas e compósitos com mucilagem. E, por fim, recomenda-se o estudo de compósitos com fibras vegetais tratadas, conforme verificado na bibliografia a cerca destas fibras, juntamente com a adição de mucilagem de cacto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGOPYAN, V. Exemplo de Aplicação da Ciência dos Materiais aos Materiais de Construção Civil: O Caso dos Materiais Fibrosos. In: SIMPÓSIO DE DESEMPENHO DE MATERIAIS E COMPONENTES DE CONSTRUÇÃO CIVIL, 1., Florianópolis, 1988. **Anais...** Florianópolis: UFSC, 1988. v. 1, p. 34-41.
- AGOPYAN, V. O Gesso na construção Civil. In: SIMPÓSIO DE DESEMPENHO DE MATERIAIS E COMPONENTES DE CONSTRUÇÃO CIVIL, 2., Florianópolis, 1989. **Anais...** Florianópolis: UFSC, 1989. v. 1, p. 64-75.
- AGUIAR, G. de.; SELMO, S. M. de S. **Estudo de Argamassas com Agregados Reciclados Contaminados por Gesso de Construção**. São Paulo: EPUSP, 2004. 22 p. (Boletim Técnico, BT/PCC/438).
- ALVES, J. D. Influência das Fibras nas Propriedades do Concreto. In: JORNADAS SUL-AMERICANAS DE ENGENHARIA ESTRUTURAL, 18., Salvador, 1976. **Anais...** Salvador: IBRACON, 1976. 25 p.
- ALVES, J. D. **Materiais Alternativos de Construção**. Goiânia: Editora da Universidade Católica de Goiás, 2006. 103 p.
- ANJOS, M. A. S. dos.; GHAVAMI, K.; BARBOSA, N. P. Compósitos à Base de Cimento Reforçados com Polpa Celulósica de Bambu. Parte I: Determinação do Teor de Reforço Ótimo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 339-345, mai./ago. 2003a.
- Compósitos à Base de Cimento Reforçados com Polpa Celulósica de Bambu. Parte II: Uso de Resíduos Cerâmicos na Matriz. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 346-349, mai./ago. 2003b.
- ANTUNES, R. P. do N.; OLIVEIRA, C. T. A.; JOHN, V. M. Trabalhabilidade em Obra, Consistência e Calor de Hidratação das Pastas de Gesso. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 3., Vitória, 1999. **Anais...** Vitória: ANTAC, 1999. v. 1, p. 95-106.
- BALLESTER OLMOS, J. F. **Cactus y Plantas Suculentas**. Espanha: Floraprint, 1995. 144 p.

- BERALDO, A. L. Bambu-Cimento: Alternativa para Construções Rurais. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 1., Canela, 1997. **Anais...** São Paulo: ANTAC, 1997. v. 1, p. 145-150.
- BERALDO, A. L.; AZZINI, A. Efeito de Modificações da Matriz na Resistência à Compressão de Compósitos Bambu-Cimento. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 6., Florianópolis, 1998. **Anais...** São Carlos: IBRAMEM, 1998. v. 4, p. 275-282.
- BERALDO, A. L.; VIEIRA, F. de F. Argamassa com Adição de Fibras de Sisal. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA EM ARGAMASSAS, 5., São Paulo, 2003. **Anais...** São Paulo: Página & Letras Editora e Gráfica, 2003. v. 1, p. 449-454.
- BERALDO, A. L.; PIMENTEL, L. L.; LIMA, L. L.; BARCHET, V. G. Efeito de Tratamentos Físico-Químicos sobre a Resistência à Compressão de Compósitos Madeira-Cimento. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE MADEIRAS E DE ESTRUTURAS EM MADEIRA, 6., Florianópolis, 1998. **Anais...** São Carlos: IBRAMEM, 1998. v. 4, p. 263-271.
- CÁRDENAS, A.; ARGUELLES, W. M.; GOYCOOLEA, F. M. On the Possible Role of Opuntia ficus-indica Mucilage in lime Mortar Performance in the Protection of Historical Buildings. **Journal of the Professional Association for Cactus Development**, USA, v. 3. 1998. 8 p.
- CARVALHO FILHO, A. C.; AGOPYAN, V. **Argamassas Reforçadas com Fibra de Sisal: Comportamento mecânico à Flexão**. São Paulo: EPUSP, 1993. 24 p. (Boletim Técnico, BT/PCC/85).
- CEPED – CENTRO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO. **Utilização de Fibras Vegetais no Fibro-Cimento e no Concreto-Fibra**. Rio de Janeiro: Banco Nacional da Habitação – BNH/Departamento de Estudos e Pesquisas Aplicadas – DEPEA, 1982. 72 p.
- **Utilização de Fibras Vegetais na Construção Civil**. Camaçari: Convênio CEPED/FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos/BNH – Banco Nacional de Habitação, 1984. 61 p. (Relatório nº 94/84).
- CHANDRA, S.; EKLUND, L.; VILLARREAL, R. R. Use of cactus in Mortars and Concrete. **Cement and Concrete Research**, USA, v. 28, n. 01, p. 41-51. 1998.
- CORTEZ, J. B.; INO, A. Utilização do Bambu na Produção de Habitação de Interesse Social – Compilação de Exemplos Construtivos. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 6., Florianópolis, 1998. **Anais...** São Carlos: IBRAMEM, 1998. v. 4, p. 308-318.

- DELGADO, C. B.; PIRES SOBRINHO, C. W. A. Revestimentos de Gesso (Pasta e Argamassa) Determinação das Propriedades Mecânicas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2., Salvador, 1997. **Anais...** Salvador: CEPED/EPUFBA/UCSAL/UEFS, 1997. v. 1, p. 192-202.
- FIORINI, J.; JOHN, V. M.; TANGO, C. E. S. Desenvolvimento de Divisórias de Fibro-Gesso. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, Rio de Janeiro, 1995. **Anais...** Rio de Janeiro. v. 2, p. 462-472.
- FREIRE, W. J.; BERALDO, A. L. (Coord.). **Tecnologias e Materiais Alternativos de Construção**. Campinas: Editora UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas, 2003. 336 p.
- FUJIYAMA, R. T.; DARWISH, F. A.; GHAVAMI, K. **Caracterização do Comportamento em Compressão Uniaxial de Argamassa de Cimento Reforçada por Fibras de Sisal**. SEMENGE, Niterói, 1999. 8 p. (Artigo Técnico).
- FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Déficit Habitacional no Brasil 2005**. Belo Horizonte: Rona Editora e Gráfica Ltda, 2006. 120 p.
- GEMTCHÚJNICOV, I. D. **Manual de Taxonomia Vegetal: Plantas de Interesse Econômico Agrícolas, Ornamentais e Medicinais**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1976.
- GUIMARÃES, S. S. Utilização de Fibras Vegetais como Reforço para argamassa de Cimento. In: SEMINÁRIO LATINOAMERICANO GLARILEM (GRUPO LATINOAMERICANO DE LA RILEM) SOBRE CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS ECONÓMICAS, 2., Monterrey, 1982. **Anais...** Monterrey, 1982. v. 2, p. 181-206.
- HERNANDEZ ZARAGOZA, J. B. **Cuaderno de Trabajo**. México: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, 2000. 41 p.
- JOHN, V. M.; AGOPYAN, V.; PRADO, T. A. Durabilidade de Compósitos de Cimento e Fibras Vegetais. In: WORKSHOP DURABILIDADE DAS CONSTRUÇÕES, 1., São Leopoldo, 1997. **Anais...** São Leopoldo/RS, v. 1, p. 19-30.
- JOHN, V. M.; CINCOTTO, M. A. **Alternativas de Gestão dos Resíduos de Gesso**. Contribuição para Reformulação da Resolução CONAMA 307. São Paulo, 2003. 9 p.
- LENGEN, J. V. **Manual do Arquiteto Descalço**. Porto Alegre: Livraria do Arquiteto; Rio de Janeiro: TIBÁ – Instituto de Tecnologia Intuitiva e Bio-Arquitetura, 2004. 724 p.

- LORENZI, H. **Árvores Brasileiras: Manual de Identificação e Cultivo de Plantas Arbóreas Nativas do Brasil**. 3 ed. São Paulo: Instituto Plantarum de Estudos da Flora Ltda, 2000. v. 1.
- LORENZI, H.; SOUZA, H. M. **Plantas Ornamentais no Brasil: Arbustivas. Herbáceas e Trepadeiras**. 3 ed. São Paulo: Instituto Plantarum de Estudos da Flora Ltda, 2001.
- LOSSO, M. A. F.; SILVA, E. B. V. Gesso Acartonado e Isolamento Acústico: teoria versus prática no Brasil. In: CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, São Paulo, 2004. **Anais...** São Paulo: ENTAC, 2004.
- MARTINS, J. C. L.; SILVA, M. M. C. P.; FREITAS, P. C. B.; BARBOZA, A. S. R.; BARBIRATO, J. C. C. Avaliação do Potencial de Aplicação de Barras de Bambu em Sistemas de Cobertura. CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL, 1., ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10., São Paulo, 2004. **Anais...** São Paulo: SmartSystem Consulting, 2004. v. 1. P. 54301-54310.
- MASTER, R. W. P. Studies in *Nopalea cochinellifera*. **Journal Naturwissenschaften**, Germany, v. 45, n. 23, p. 574-575, 1958.
- MEDINA, J. C. **O Sisal**. São Paulo: Secretaria da Agricultura do Estado de São Paulo, 1954.
- MUNHOZ, F. C. **Utilização do Gesso para Fabricação de Artefatos Alternativos, no Contexto de Produção Mais Limpa**. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção. Universidade Estadual Paulista. Bauru, 2008.
- NASCIMENTO, S. Q.; SOUZA, F. A. M. O Uso do Bambu como Tecnologia Construtiva para Construções de Interesse Social: o Caso de Juvenópolis. In: CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL, 1., ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10., São Paulo, 2004. **Anais...** São Paulo: ENTAC, 2004.
- NITA, C.; PILEGGI, R. G.; CINCOTTO, M. A.; JOHN, V. M. Estudo da Reciclagem do Gesso de Construção. In: CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL, 1, ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10., São Paulo, 2004. **Anais...** São Paulo: ENTAC, 2004.
- NORIEGA MONTES, J.; HERNANDEZ ZARAGOZA, J. B.; JIMÉNEZ ROBLES, H. Aprovechamiento total del nopal em cemento Pórtland. In: CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA, 1., México: Universidad de Querétaro, 2005. **Anais...**

- OLIVEIRA, M. M.; SAWITZKI, R. L.; FONSECA, T. C. C. S. A Seiva de cactos com aditivo de argamassas antigas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS, 6., INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MORTARS TECHNOLOGY, 1., Florianópolis, 2005. **Anais...** SBTA: Florianópolis, 2005.
- OLIVEIRA, M. M. F.; ARAÚJO, V. M. D.; MENDES, J. U. L.; MARINHO, G. S. Isolamento Térmico de coberturas através de Fibra Vegetal. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7., CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA SOBRE CONFORTO E DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES, 3., Curitiba, 2003. **Anais...**
- PETRUCCI, E. G. R. **Materiais de Construção**. 7. ed. Porto Alegre: Editora Globo, 1982.
- PINTO, T. P. (Coord.) **Gestão Ambiental de Resíduos da Construção Civil: a Experiência do SindusCon-SP**. São Paulo: Obra Limpa Comércio e Serviços Ltda, I & T – Informações e Técnicas em Construção Civil S/C Ltda e SindusCon-SP – Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado de São Paulo, 2005.
- RIZZINI, C. T. Cactáceas: os segredos da sobrevivência. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v. 5, nº 30, p. 30-40, abr. 1987.
- SABBATINI, F. H. O Processo de Produção das Vedações Leves de Gesso Acartonado. In: SEMINÁRIO TECNOLOGIA E GESTÃO NA PRODUÇÃO DE EDIFÍCIOS: VEDAÇÕES VERTICAIS, São Paulo, 1998. **Anais...** São Paulo: EPUSP, 1998. v. 1. p. 67-94.
- SÁENZ, C. (Autora principal). **Utilización Agroindustrial del Nopal**. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la alimentación, 2006. (Boletín de Servicios Agrícolas de la FAO – nº 162).
- SALES, A. T. C.; GHAVAMI, K. Retração Plástica em Compósitos Cimentícios Reforçados com Polpa de Bambu. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA DE MATERIAIS E TECNOLOGIAS NÃO-CONVENCIONAIS: HABITAÇÕES E INFRA-ESTRUTURA DE INTERESSE SOCIAL BRASIL-NOCMAT 2004, Pirassununga, 2004. **Anais...**
- SALES, A. T. C.; GHAVAMI, K.; NASCIMENTO, M. F. G. Retração Livre em Compósitos Cimentícios Reforçados com Polpa de Bambu. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA DE MATERIAIS E TECNOLOGIAS NÃO-CONVENCIONAIS: HABITAÇÕES E INFRA-ESTRUTURA DE INTERESSE SOCIAL BRASIL-NOCMAT 2004, Pirassununga, 2004. **Anais...**

- SAVASTANO JÚNIOR, H. **Fibras Vegetais para a Construção Civil – Fibra de Coco**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1986. (Boletim Técnico 04/86).
- SAVASTANO JÚNIOR, H.; AGOPYAN, V. Análise da Influência da Zona de Transição Fibra-Matriz sobre as Propriedades Mecânicas dos Materiais Reforçados com Fibras. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, São Paulo, 1993a. **Anais...** São Paulo: EP-USP/ANTAC, 1993. v. 1. p. 143-152.
- SAVASTANO JÚNIOR, H.; AGOPYAN, V. **Caracterização da Zona de Transição entre Fibras e Pasta de Cimento Portland**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1993b. (Boletim Técnico BT/PCC/88).
- SAVASTANO JÚNIOR, H.; PIMENTEL, L. L. Viabilidade do Aproveitamento de Resíduos de Fibras Vegetais para Fins de Obtenção de Material de Construção. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 04, nº 01, 2000;
- SAVASTANO JÚNIOR, H.; AGOPYAN, V.; OLIVEIRA, L. Estudo da Microestrutura das Fibras Vegetais e de suas Implicações sobre o Desempenho de Compósitos Cimentícios. **Revista Engenheiro Agrícola**, Jaboticabal, v. 17, nº 01, p. 113-124, 1997a;
- SAVASTANO JÚNIOR, H.; LUZ, P. H. C.; NOLASCO, A. M. Seleção de Resíduos de alguns tipos de fibra Vegetal para Reforço de Componentes de Construção. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 1., Porto Alegre, 1997b. **Anais...** Canela: ANTAC/UFRGS, 1997. p. 107-112.
- SILVA, A. M. P.; SLAMA, J. G. Aproveitamento de Fibra de Coco na Composição de Material para Absorção Acústica. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 1., Canela, 1997. **Anais...**
- SILVA, F. A.; GHAVAMI, K.; D`ALMEIDA, J. R. M. Comportamento ao Impacto de Materiais compósitos Cimentícios Reforçados com Polpa de Bambu. In: IAC – NOCMAT 2003 – INTER AMERICAN CONFERENCE ON NON-CONVENTIONAL MATERIALS AND TECHNOLOGIES IN THE ECO-CONSTRUCTION AND INFRASTRUCTURE, João Pessoa, 2003. **Anais...**
- TANIGUTI, E. K.; BARROS, M. M. B. Tecnologias de Produção de Vedação Vertical Interna com o uso de Placas de Gesso Acartonado. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, Florianópolis, 1998. **Anais...**

- Qualidade no Projeto das Divisórias de Gesso Acartonado. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO DA QUALIDADE E ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO, 1., Recife, 1999. **Anais...**
- TORRES-ACOSTA, A. A.; CANO BARRITA, P. F. J. Las Bondades del Nopal. **Revista Construcción y Tecnología, México**: Editado por IMCYC – Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 2007.
- TORRES-ACOSTA, A. A.; MARTÍNEZ-MADRID, M.; LOVEDAY, D. C.; SILSBEE, M. R. Nopal and Aloe Vera Additions in Concrete: Electrochemical Behavior of the Reinforcing Steel. In: ANNUAL CONFERENCE AND EXPOSITION CORROSION/2005, 60., EUA, 2005. **Anais...**
-
- ANCHORTEC. Produtos – Chapix Ar. Boletim Técnico – Janeiro 2007.
Disponível em: <<http://www.fosrocreax.com.br/produtostotal.htm>>.
Acesso: 23 março 2009;
- BASF S.A. – THE CHEMICAL COMPANY. Produtos – Aditivos – Glenium 51.
Disponível em: <http://www.basfcc.com.br/novo/produtos-detahes.asp?ld_Produto=9>. Acesso em 23 março 2009;
- CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Ministério do Meio Ambiente. Resolução nº 307 de 5 de julho de 2002. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30702.html>>.
Acesso em: 23 março 2009;
- GEDSO MONÉA. História do Gesso. Disponível em: <<http://gessomonea.com.br/page2.html>>. Acesso em: 22 março 2009;
- GEDSO TOP LINE. Informações – História. Disponível em: <<http://www.gessotopline.com.br/historia.htm>>. Acesso em: 22 março 2009;
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. Observações – Gráficos – Estação 83377 – Brasília – meses 10/2008, 11/2008 e 12/2008. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/html/observacoes.php?lnk=Gráficos>>.
Acesso em: 15 janeiro 2009;
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Censo Demográfico 2000: características gerais da população: resultados da amostra. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/defaulttab_amos tra.shtm>. Acesso em: 15 julho 2008;

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS – ONU. Relatório 2007: A velocidade e a escala do crescimento urbano exigirão uma “revolução do pensamento”, adverte o UNFPA. Disponível em: <http://www.unfpa.org.br/relatorio2007/swp_pressrelease.htm>. Acesso em: 15 julho 2008;

PESQUISA NACIONAL DE SANEAMENTO BÁSICO – PNSB. Quantidade diária de lixo coletado, por unidade de destino final do lixo coletado, segundo as Grandes Regiões, Unidades da Federação, Regiões Metropolitanas e Municípios das Capitais - 2000. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb/lixo_coletado/defaultlixo.shtm>. Acesso em: 15 julho 2008;

SINDUSGESSO – Sindicato da Indústria do Gesso do Estado de Pernambuco. Pólo Gesseiro. Disponível em <<http://www.sindusgesso.org.br>>. Acesso em: 22 março 2009;

TORRES-ACOSTA, A. A. Nopal. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <anacristvm@uol.com.br> em 12 outubro 2007.

ANEXOS

| | |
|--------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| NBR 12127/91 | Gesso para construção – Determinação das propriedades físicas do pó. |
| NBR 12128/91 | Gesso para construção – Determinação das propriedades físicas da pasta. |
| NBR 12129/91 | Gesso para construção – Determinação das propriedades mecânicas. |
| NBR 12130/91 | Gesso para construção – Determinação da água livre e de cristalização e teores de óxido de cálcio e anidrido sulfúrico. |
| NBR 12775/92 | Placas lisas de gesso para forro - Determinação das dimensões e propriedades físicas. |
| NBR 13207/94 | Gesso para construção – Especificações. |
| NBR 13867/97 | Revestimento interno de paredes e tetos com pastas de gesso – Materiais, preparo, aplicação e acabamento. |
| NBR 14715/01 | Chapas de gesso acartonado - Requisitos. |
| NBR 14716/01 | Chapas de gesso acartonado - Verificação das características geométricas. |
| NBR 14717/01 | Chapas de gesso acartonado - Determinação das características físicas. |
| NBR 15116/04 | Agregados Reciclados de Resíduos Sólidos da Construção Civil Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural. |
| NBR 10004/04 | Resíduos Sólidos – Classificação. |

ANEXO A

Peso dos CPs das pastas de gesso com mucilagem (gel), das pastas com pó de cacto, da pasta controle, da pasta com impermeabilizante e CP do gesso acartonado, com 8 e 14 dias de moldagem, antes e após ensaio de absorção, porcentagem de absorção e média da absorção.

| Tipos | Peso placas c/ 8 dias (g) | Peso placas c/ 14 dias (g) | Placas após absorção (g) | Absorção (%) | Média da Absorção (%) |
|---------------------------|------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-----------------|--------------------------|
| OAQ 50 am/g 0,5 | 1 - 1.843 | 1 - 1.844 | 1 - 2.211 | 1 - 19,90 | 19,60 |
| | 2 - 1.838 | 2 - 1.838 | 2 - 2.209 | 2 - 20,18 | |
| | 3 - 1.868 | 3 - 1.869 | 3 - 2.219 | 3 - 18,73 | |
| OAQ 50 (*1) am/g 0,45 | 1 - 1.995 | 1 - 1.997 | 1 - 2.335 | 1 - 16,92 | 17,13 |
| | 2 - 2.023 | 2 - 2.025 | 2 - 2.376 | 2 - 17,33 | |
| OAQ 100 am/g 0,45 | 1 - 1.890 | 1 - 1.890 | 1 - 2.221 | 1 - 17,51 | 17,14 |
| | 2 - 1.996 | 2 - 1.996 | 2 - 2.338 | 2 - 17,13 | |
| | 3 - 1.938 | 3 - 1.938 | 3 - 2.263 | 3 - 16,77 | |
| NAQ 50 am/g 0,45 | 1 - 1.937 | 1 - 1.937 | 1 - 2.284 | 1 - 17,91 | 17,52 |
| | 2 - 1.960 | 2 - 1.960 | 2 - 2.304 | 2 - 17,55 | |
| | 3 - 1.984 | 3 - 1.984 | 3 - 2.323 | 3 - 17,09 | |
| NAQ 100 am/g 0,45 | 1 - 2.033 | 1 - 2.035 | 1 - 2.376 | 1 - 16,76 | 16,66 |
| | 2 - 1.989 | 2 - 1.990 | 2 - 2.320 | 2 - 16,58 | |
| | 3 - 2.019 | 3 - 2.019 | 3 - 2.355 | 3 - 16,64 | |
| OAF 50 am/g 0,4 | 1 - 2.169 | 1 - 2.171 | 1 - 2.480 | 1 - 14,23 | 14,33 |
| | 2 - 2.131 | 2 - 2.133 | 2 - 2.439 | 2 - 14,35 | |
| | 3 - 2.121 | 3 - 2.123 | 3 - 2.429 | 3 - 14,41 | |
| OAN 100 am/g 0,4 | 1 - 2.152 | 1 - 2.154 | 1 - 2.452 | 1 - 13,83 | 13,77 |
| | 2 - 2.134 | 2 - 2.138 | 2 - 2.428 | 2 - 13,56 | |
| | 3 - 2.140 | 3 - 2.143 | 3 - 2.441 | 3 - 13,91 | |
| NAN 50 am/g 0,4 | 1 - 2.196 | 1 - 2.199 | 1 - 2.513 | 1 - 14,28 | 14,02 |
| | 2 - 2.083 | 2 - 2.086 | 2 - 2.376 | 2 - 13,90 | |
| | 3 - 2.066 | 3 - 2.069 | 3 - 2.356 | 3 - 13,87 | |
| NAN 100 am/g 0,4 | 1 - 2.170 | 1 - 2.172 | 1 - 2.459 | 1 - 13,21 | 13,14 |
| | 2 - 2.210 | 2 - 2.213 | 2 - 2.501 | 2 - 13,01 | |
| | 3 - 2.194 | 3 - 2.197 | 3 - 2.487 | 3 - 13,20 | |
| NPAN 50 am/g 0,45 | 1 - 2.006 | 1 - 2.007 | 1 - 2.312 | 1 - 15,20 | 15,01 |
| | 2 - 2.025 | 2 - 2.026 | 2 - 2.328 | 2 - 14,91 | |
| | 3 - 1.987 | 3 - 1.989 | 3 - 2.286 | 3 - 14,93 | |
| NPAN 100 am/g 0,5 | 1 - 1.922 | 1 - 1.923 | 1 - 2.235 | 1 - 16,22 | 16,17 |
| | 2 - 1.969 | 2 - 1.971 | 2 - 2.287 | 2 - 16,03 | |
| | 3 - 1.923 | 3 - 1.925 | 3 - 2.238 | 3 - 16,26 | |
| OP 0,35 a/g 0,6 | 1 - 1.728 | 1 - 1.730 | 1 - 2.106** | 1 - 21,73 | 21,92 |
| | 2 - 1.741 | 2 - 1.742 | 2 - 2.125 | 2 - 21,99 | |
| | 3 - 1.791 | 3 - 1.793 | 3 - 2.188 | 3 - 22,03 | |
| OP 0,35 (*2) a/g 0,4 | 1 - 2.170 | 1 - 2.172 | 1 - 2.461 | 1 - 13,31 | 13,31 |
| OP 1,0 a/g 0,5 | 1 - 1.988 | 1 - 1.993 | 1 - 2.347 | 1 - 17,76 | 17,19 |
| | 2 - 1.912 | 2 - 1.915 | 2 - 2.242 | 2 - 17,08 | |
| | 3 - 1.971 | 3 - 1.972 | 3 - 2.302 | 3 - 16,73 | |
| OP 1,0 (*2) a/g 0,4 | 1 - 2.056 | 1 - 2.057 | 1 - 2.306 | 1 - 12,10 | 12,10 |
| NP 0,35 a/g 0,4 | 1 - 2.193 | 1 - 2.197 | 1 - 2.498 | 1 - 13,70 | 13,50 |
| | 2 - 2.164 | 2 - 2.168 | 2 - 2.458 | 2 - 13,38 | |
| | 3 - 2.148 | 3 - 2.152 | 3 - 2.441 | 3 - 13,43 | |
| NP 1,0 a/g 0,4 | 1 - 2.084 | 1 - 2.088 | 1 - 2.354 | 1 - 12,74 | 12,59 |
| | 2 - 2.118 | 2 - 2.122 | 2 - 2.390 | 2 - 12,63 | |
| | 3 - 2.163 | 3 - 2.167 | 3 - 2.436 | 3 - 12,41 | |
| NPN 0,35 a/g 0,5 | 1 - 1.916 | 1 - 1.917 | 1 - 2.305 | 1 - 20,24 | 19,91 |
| | 2 - 1.904 | 2 - 1.906 | 2 - 2.283 | 2 - 19,78 | |
| | 3 - 1.885 | 3 - 1.887 | 3 - 2.259 | 3 - 19,71 | |
| NPN 1,0 a/g 0,55 | 1 - 1.798 | 1 - 1.800 | 1 - 2.174 | 1 - 20,78 | 20,64 |
| | 2 - 1.758 | 2 - 1.759 | 2 - 2.118 | 2 - 20,41 | |
| | 3 - 1.760 | 3 - 1.761 | 3 - 2.126 | 3 - 20,73 | |
| GC a/g 0,6 | 1 - 1.644 | 1 - 1.644 | 1 - 2.099 | 1 - 27,68 | 27,64 |
| | 2 - 1.644 | 2 - 1.644 | 2 - 2.099 | 2 - 27,68 | |
| | 3 - 1.656 | 3 - 1.657 | 3 - 2.114 | 3 - 27,58 | |
| GI 10 a/g 0,6 (*3) | 1 - 1.686 | 1 - 1.686 | 1 - 2.164 | 1 - 28,35 | 28,67 |
| | 2 - 1.697 | 2 - 1.697 | 2 - 2.178 | 2 - 28,34 | |
| | 3 - 1.704 | 3 - 1.705 | 3 - 2.205 | 3 - 29,32 | |
| Gesso Acartonado RU | --- | 1 - 730 | 1 - 762 | 1 - 4,38 | 4,35 |
| | | 2 - 737 | 2 - 768 | 2 - 4,21 | |
| | | 3 - 741 | 3 - 774 | 3 - 4,45 | |

am/g – quantidade de água e mucilagem sobre o peso do gesso.

(*1) - Redução do fator am/g em virtude do excesso de água apresentado nas placas. Foi possível moldar com a mucilagem restante apenas dois corpos-de-prova.

OAQ – *Opuntia* em Água Quente. NAQ – *Nopalea* em Água Quente.

OAN - *Opuntia* em Água Natural. NAN – *Nopalea* em Água Natural.

NPAN – *Nopalea* em Pó Natural em Água Natural.

50 – 50% de substituição da água de amassamento pela mucilagem.

100 – 100% de substituição da água de amassamento pela mucilagem.

a/g – quantidade de água sobre o peso do gesso.

** - Placa quebrada no transporte, mesmo assim, foi realizado o ensaio de absorção.

(*2) - Redução de a/g em virtude do excesso de água apresentado nas placas. Foi possível moldar com o pó restante apenas uma placa com 0,35% e uma placa com 1,0%.

OP – *Opuntia* em Pó (estufa). NP – *Nopalea* em Pó (estufa). NPN – *Nopalea* em Pó Natural. 0,35 – 0,35% de pó de cacto em relação à massa de gesso.

1,0 – 1,0% de pó de cacto em relação à massa de gesso.

(*3) quantidade de água e impermeabilizante somados.

GC – Gesso controle. GI 10 - Gesso com 10% de impermeabilizante.

RU – Placa de gesso acartonado RU – Resistente à Umidade.

ANEXO B

Peso dos CPs da pasta de gesso com 50% de impermeabilizante, da pasta com superplastificante e das pastas com mucilagem (gel), segunda extração, com 8, 14 (antes e após ensaio de absorção), e 90 dias de moldagem, taxa de absorção e absorção média.

| Tipos | Peso placas c/ 8 dias (g) | Peso placas c/ 14 dias (g) | Peso placas c/ 90 dias (g) | Placas após absorção (g) | Absorção (%) | Média da Absorção (%) |
|----------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-----------------|--------------------------|
| GI 50 a/g 0,60 | 1 – 2.081 | 1 – 1.922 | 1 – 1.771 | 1 – 2.129 | 1 – 20,21 | 20,75 |
| | 2 – 2.155 | 2 – 1.998 | 2 – 1.850 | 2 – 2.240 | 2 – 21,08 | |
| | 3 – 2.054 | 3 – 1.865 | 3 – 1.731 | 3 – 2.094 | 3 – 20,97 | |
| GP a/g 0,50 | 1 – 2.283 | 1 – 2.102 | 1 – 1.972 | 1 – 2.429 | 1 – 23,17 | 23,38 |
| | 2 – 2.343 | 2 – 2.143 | 2 – 2.035 | 2 – 2.517 | 2 – 23,69 | |
| | 3 – 2.277 | 3 – 2.076 | 3 – 1.981 | 3 – 2.442 | 3 – 23,27 | |
| NAN2 50 am/g 040 | 1 – 2.170 | 1 – 2.165 | 1 – 2.156 | 1 – 2.480 | 1 – 15,03 | 15,21 |
| | 2 – 2.135 | 2 – 2.132 | 2 – 2.121 | 2 – 2.446 | 2 – 15,32 | |
| | 3 – 2.150 | 3 – 2.141 | 3 – 2.132 | 3 – 2.458 | 3 – 15,29 | |
| NAN2 100 am/g 040 | 1 – 2.217 | 1 – 2.200 | 1 – 2.191 | 1 – 2.514 | 1 – 14,74 | 14,66 |
| | 2 – 2.295 | 2 – 2.270 | 2 – 2.260 | 2 – 2.589 | 2 – 14,56 | |
| | 3 – 2.172 | 3 – 2.162 | 3 – 2.152 | 3 – 2.468 | 3 – 14,68 | |

a/g – quantidade de água sobre o peso do gesso.

am/g – quantidade de água e mucilagem sobre o peso do gesso.

GI 50 – Gesso com 50% da água de amassamento de impermeabilizante.

GP – Gesso superplastificante.

NAN2 50 - *Nopalea* em Água Natural, segunda extração, com 50% de substituição da água de amassamento pela mucilagem.

NAN2 100 -- *Nopalea* em Água Natural, segunda extração, com 100% de substituição da água de amassamento pela mucilagem.

ANEXO C

Resistência à Flexão dos CPs das pastas de gesso com mucilagem (gel), carga de ruptura e resistência média.

| Tipo | Fator (am/g) | Carga de Ruptura (N) | Resistência à Flexão (MPa) | Resistência à Flexão Média (MPa) |
|-----------|--------------|----------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| OAQ 50 | 0,45 | 1 – 556,15 2 – 716,29 | 1 – 3,09 2 – 3,97 | 3,53 |
| OAQ 100 | 0,45 | 1 – 322,08 2 - Nm 3 – 397,20 | 1 – 1,79 2 – Nm 3 – 2,20 | 2,00 |
| NAQ 50 | 0,45 | 1 – 331,96 2 – 313,66 3 – Nm | 1 – 1,84 2 – 1,74 3 – Nm | 1,79 |
| NAQ 100 | 0,45 | 1 – 303,16 2 – Nm 3 – 413,98 | 1 – 1,68 2 – Nm 3 – 2,30 | 1,99 |
| OAN 50 | 0,40 | 1 – 950,31 2 – 805,93 3 – 472,22 | 1 – 5,27 2 – 4,47 3 – 4,12 | 4,62 |
| OAN 100 | 0,40 | 1 – 857,11 2 – 835,59 3 – 718,32 | 1 – 4,76 2 – 4,64 3 – 3,99 | 4,46 |
| NAN 50 | 0,40 | 1 – 804,75 2 – 753,74 3 – 868,63 | 1 – 4,47 2 – 4,18 3 – 4,82 | 4,49 |
| NAN 100 | 0,40 | 1 – 651,90 2 – 715,44 3 – 633,60 | 1 – 3,62 2 – 3,97 3 – 3,52 | 3,70 |
| NPNAN 50 | 0,45 | 1 – 372,13 2 – 415,68 3 – 448,21 | 1 – 2,06 2 – 2,31 3 – 2,49 | 2,29 |
| NPNAN 100 | 0,50 | 1 – 354,50 2 – 309,94 3 – 335,18 | 1 – 1,97 2 – 1,72 3 – 1,86 | 1,85 |
| NAN2 50 | 0,40 | 1 – 891,00 2 – 765,94 3 – 876,94 | 1 – 4,94 2 – 4,25 3 – 4,87 | 4,69 |
| NAN2 100 | 0,40 | 1 – 839,32 2 – 689,35 3 – 803,73 | 1 – 4,66 2 – 3,83 3 – 4,46 | 4,31 |

am/g – quantidade de água e mucilagem sobre o peso do gesso.

OAQ – *Opuntia* em Água Quente.

NAQ – *Nopalea* em Água Quente.

OAN - *Opuntia* em Água Natural.

NAN – *Nopalea* em Água Natural.

NPNAN – *Nopalea* em Pó Natural em Água Natural.

NAN2 - *Nopalea* em Água Natural, (2ª extração).

50 – 50% de substituição da água de amassamento pela mucilagem.

100 – 100% de substituição da água de amassamento pela mucilagem.

Nm – Carga não medida devida a problemas ocorridos no transporte da placa.

ANEXO D

Resistência à Flexão dos CPs das pastas de gesso com cacto em pó, da pasta de gesso controle, das pastas de gesso com adição de impermeabilizante e da pasta de gesso com superplastificante e dos CPs do gesso acartonado, carga de ruptura e resistência média.

| Tipo | Fator (a/g) | Carga de Ruptura (N) | Resistência à Flexão (MPa) | Resistência à Flexão Média (MPa) |
|----------|-------------|----------------------|----------------------------|----------------------------------|
| OP 0,35 | 0,40 | 1 – 845,08 | 1 – 4,69 | 4,69 |
| OP 1,0 | 0,40 | 1 – 494,98 | 1 – 2,75 | 2,75 |
| NP 0,35 | 0,40 | 1 – 708,33 | 1 – 3,93 | 3,66 |
| | | 2 – 649,86 | 2 – 3,61 | |
| | | 3 – 622,41 | 3 – 3,45 | |
| NP 1,0 | 0,40 | 1 – 406,02 | 1 – 2,25 | 2,28 |
| | | 2 – 408,22 | 2 – 2,27 | |
| | | 3 – 417,37 | 3 – 2,32 | |
| NPN 0,35 | 0,50 | 1 – 534,97 | 1 – 2,97 | 2,98 |
| | | 2 – 540,90 | 2 – 3,00 | |
| | | 3 – Nm | 3 – Nm | |
| NPN 1,0 | 0,55 | 1 – 230,12 | 1 – 1,28 | 1,21 |
| | | 2 – 236,56 | 2 – 1,31 | |
| | | 3 – 186,57 | 3 – 1,03 | |
| GC | 0,60 | 1 – 437,70 | 1 – 2,43 | 2,37 |
| | | 2 – 394,15 | 2 – 2,19 | |
| | | 3 – 446,86 | 3 – 2,48 | |
| GI 50 | 0,60 | 1 – 583,61 | 1 – 3,24 | 3,73 |
| | | 2 – 723,24 | 2 – 4,01 | |
| | | 3 – 709,85 | 3 – 3,94 | |
| GP | 0,50 | 1 – 610,72 | 1 – 3,39 | 3,66 |
| | | 2 – 732,39 | 2 – 4,06 | |
| | | 3 – 636,82 | 3 – 3,53 | |
| RU* | Nd | 1 – 276,72 | 2,21 | 2,21 |
| RU** | Nd | 1 – 618,35 | 4,95 | 4,95 |

a/g – quantidade de água sobre o peso do gesso.

OP – *Opuntia* em Pó (estufa).

NP – *Nopalea* em Pó (estufa).

NPN – *Nopalea* em Pó Natural.

0,35 – 0,35% de pó de cacto em relação à massa de gesso.

1,0 – 1,0% de pó de cacto em relação à massa de gesso.

GC – Gesso controle.

GI 50 – Gesso com 50% de impermeabilizante.

GP – Gesso superplastificante.

RU – Placa de gesso acartonado Resistente à Umidade. * resistências transversal e ** longitudinal.

Nm – Carga não medida devida a problemas ocorridos no transporte da placa.

Nd – Não divulgado

ANEXO E

Peso dos CPs dos compósitos de gesso com mucilagem (gel) e fibras e dos compósitos de gesso com pó de cacto e fibras, com 8, 14 (antes e após ensaio de absorção), e 90 dias de moldagem, taxa de absorção e absorção média.

| Tipos | Peso placas c/ 8 dias (g) | Peso placas c/ 14 dias (g) | Peso placas c/ 90 dias (g) | Placas após absorção (g) | Absorção (%) | Média da Absorção (%) |
|--------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-----------------|--------------------------|
| NAN 50 B am/g 0,60 | 1 – 2.116 | 1 – 1.984 | 1 – 1.732 | 1 – 2.244 | 1 – 29,56 | 29,65 |
| | 2 – 1.947 | 2 – 1.811 | 2 – 1.601 | 2 – 2.075 | 2 – 29,61 | |
| | 3 – 1.981 | 3 – 1.843 | 3 – 1.666 | 3 – 2.162 | 3 – 29,77 | |
| NAN 50 S am/g 0,60 | 1 – 2.137 | 1 – 1.982 | 1 – 1.768 | 1 – 2.273 | 1 – 28,56 | 28,36 |
| | 2 – 1.994 | 2 – 1.859 | 2 – 1.691 | 2 – 2.166 | 2 – 28,09 | |
| | 3 – 1.931 | 3 – 1.796 | 3 – 1.639 | 3 – 2.105 | 3 – 28,43 | |
| NAN 50 S (*1) am/g 0,55 | 1 – 1.789 | 1 – 1.790 | 1 – 1.777 | 1 – 2.236 | 1 – 25,83 | 26,02 |
| | 2 – 1.702 | 2 – 1.704 | 2 – 1.691 | 2 – 2.134 | 2 – 26,20 | |
| | 3 – 1.763 | 3 – 1.765 | 3 – 1.752 | 3 – 2.208 | 3 – 26,03 | |
| NAN 50 C am/g 0,60 | 1 – 2.022 | 1 – 1.858 | 1 – 1.687 | 1 – 2.176 | 1 – 28,99 | 29,01 |
| | 2 – 2.016 | 2 – 1.893 | 2 – 1.712 | 2 – 2.207 | 2 – 28,91 | |
| | 3 – 2.158 | 3 – 2.020 | 3 – 1.795 | 3 – 2.318 | 3 – 29,14 | |
| NAN 50 C (*2) am/g 0,65 | 1 – 1.522 | 1 – 1.523 | 1 – 1.513 | 1 – 2.025 | 1 – 33,84 | 33,78 |
| | 2 – 1.514 | 2 – 1.515 | 2 – 1.505 | 2 – 2.009 | 2 – 33,49 | |
| | 3 – 1.560 | 3 – 1.561 | 3 – 1.550 | 3 – 2.077 | 3 – 34,00 | |
| NAN 100 B am/g 0,60 | 1 – 2.172 | 1 – 2.006 | 1 – 1.779 | 1 – 2.297 | 1 – 29,12 | 29,02 |
| | 2 – 2.113 | 2 – 1.986 | 2 – 1.784 | 2 – 2.301 | 2 – 28,98 | |
| | 3 – 2.022 | 3 – 1.903 | 3 – 1.705 | 3 – 2.199 | 3 – 28,97 | |
| NAN 100 S am/g 0,60 | 1 – 2.108 | 1 – 1.962 | 1 – 1.761 | 1 – 2.248 | 1 – 27,65 | 27,75 |
| | 2 – 2.075 | 2 – 1.928 | 2 – 1.749 | 2 – 2.236 | 2 – 27,84 | |
| | 3 – 1.986 | 3 – 1.850 | 3 – 1.687 | 3 – 2.155 | 3 – 27,74 | |
| NAN 100 S (*1) am/g 0,55 | 1 – 1.682 | 1 – 1.683 | 1 – 1.670 | 1 – 2.087 | 1 – 24,97 | 24,81 |
| | 2 – 1.665 | 2 – 1.666 | 2 – 1.654 | 2 – 2.064 | 2 – 24,79 | |
| | 3 – 1.657 | 3 – 1.659 | 3 – 1.646 | 3 – 2.052 | 3 – 24,67 | |
| NAN 100 C am/g 0,70 | 1 – 1.987 | 1 – 1.668 | 1 – 1.593 | 1 – 2.161 | 1 – 35,66 | 35,85 |
| | 2 – 1.949 | 2 – 1.691 | 2 – 1.512 | 2 – 2.056 | 2 – 35,98 | |
| | 3 – 1.869 | 3 – 1.684 | 3 – 1.512 | 3 – 2.055 | 3 – 35,91 | |
| NAN 100 C (*1) am/g 0,65 | 1 – 1.603 | 1 – 1.605 | 1 – 1.595 | 1 – 2.102 | 1 – 31,79 | 31,50 |
| | 2 – 1.551 | 2 – 1.552 | 2 – 1.543 | 2 – 2.027 | 2 – 31,37 | |
| | 3 – 1.523 | 3 – 1.525 | 3 – 1.515 | 3 – 1.990 | 3 – 31,35 | |
| NP 0,35 B a/g 0,60 | 1 – 2.029 | 1 – 1.819 | 1 – 1.739 | 1 – 2.219 | 1 – 27,60 | 28,11 |
| | 2 – 1.969 | 2 – 1.805 | 2 – 1.675 | 2 – 2.152 | 2 – 28,48 | |
| | 3 – 1.910 | 3 – 1.757 | 3 – 1.663 | 3 – 2.133 | 3 – 28,26 | |
| NP 0,35 S a/g 0,55 | 1 – 1.997 | 1 – 1.858 | 1 – 1.791 | 1 – 2.220 | 1 – 23,95 | 24,41 |
| | 2 – 1.972 | 2 – 1.841 | 2 – 1.790 | 2 – 2.229 | 2 – 24,52 | |
| | 3 – 1.855 | 3 – 1.707 | 3 – 1.660 | 3 – 2.071 | 3 – 24,76 | |
| NP 0,35 C a/g 0,65 | 1 – 1.917 | 1 – 1.716 | 1 – 1.617 | 1 – 2.136 | 1 – 32,10 | 32,31 |
| | 2 – 1.952 | 2 – 1.758 | 2 – 1.627 | 2 – 2.156 | 2 – 32,51 | |
| | 3 – 1.927 | 3 – 1.718 | 3 – 1.596 | 3 – 2.112 | 3 – 32,33 | |
| NP 1,0 B a/g 0,55 | 1 – 2.098 | 1 – 1.933 | 1 – 1.819 | 1 – 2.285 | 1 – 25,62 | 25,69 |
| | 2 – 1.997 | 2 – 1.878 | 2 – 1.738 | 2 – 2.186 | 2 – 25,78 | |
| | 3 – 2.078 | 3 – 1.949 | 3 – 1.827 | 3 – 2.296 | 3 – 25,67 | |
| NP 1,0 B (*2) a/g 0,60 | 1 – 2.054 | 1 – 1.870 | 1 – 1.764 | 1 – 2.272 | 1 – 28,80 | 29,14 |
| | 2 – 1.903 | 2 – 1.712 | 2 – 1.626 | 2 – 2.104 | 2 – 29,40 | |
| | 3 – 1.939 | 3 – 1.715 | 3 – 1.683 | 3 – 2.175 | 3 – 29,23 | |
| NP 1,0 S a/g 0,55 | 1 – 2.077 | 1 – 1.888 | 1 – 1.788 | 1 – 2.218 | 1 – 24,05 | 24,06 |
| | 2 – 1.973 | 2 – 1.820 | 2 – 1.714 | 2 – 2.124 | 2 – 23,92 | |
| | 3 – 1.958 | 3 – 1.798 | 3 – 1.694 | 3 – 2.104 | 3 – 24,20 | |
| NP 1,0 C a/g 0,65 | 1 – 1.890 | 1 – 1.653 | 1 – 1.608 | 1 – 2.069 | 1 – 28,67 | 29,26 |
| | 2 – 1.945 | 2 – 1.747 | 2 – 1.648 | 2 – 2.105 | 2 – 27,73 | |
| | 3 – 1.751** | 3 – 1.565 | 3 – 1.476 | 3 – 1.939 | 3 – 31,37 | |

am/g – quantidade de água e mucilagem sobre o peso do gesso. a/g – quantidade de água sobre o peso do gesso.

(*1) Redução do fator am/g obtendo, ainda, uma mistura homogênea e de fácil manipulação.

(*2) Aumento do fator para melhor manipulação do compósito.

NAN – *Nopalea* em Água Natural. NP – *Nopalea* em Pó (estufa).

50 – 50% de substituição da água de amassamento pela mucilagem. 100 – 100% de substituição da água de amassamento pela mucilagem. B – Fibra de Bambu. S – Fibra de Sisal. C – Fibra de Coco.

0,35 – 0,35% de pó de cacto em relação à massa de gesso. 1,0 – 1,0% de pó de cacto em relação à massa de gesso.

** - Placa rachada na desmoldagem, porém mesmo assim, foi realizado o ensaio de absorção.

ANEXO F

Peso dos CPs dos compósitos de gesso controle com fibras e dos compósitos de gesso com superplastificante e fibras; com 8, 14 (antes e após ensaio de absorção), e 90 dias de moldagem, taxa de absorção e absorção média.

| Tipos | Peso placas c/ 8 dias (g) | Peso placas c/ 14 dias (g) | Peso placas c/ 90 dias (g) | Placas após absorção (g) | Absorção (%) | Média da Absorção (%) |
|---------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-----------------|--------------------------|
| GB | 1 – 1.952 | 1 – 1.802 | 1 – 1.700 | 1 – 2.143 | 1 – 26,06 | 26,46 |
| a/g 0,50 | 2 – 2.252 | 2 – 2.129 | 2 – 1.960 | 2 – 2.475 | 2 – 26,27 | |
| | 3 – 1.984 | 3 – 1.896 | 3 – 1.782 | 3 – 2.264 | 3 – 27,05 | |
| GB (*2) | 1 – 1.875 | 1 – 1.749 | 1 – 1.734 | 1 – 2.236 | 1 – 28,95 | 29,19 |
| a/g 0,60 | 2 – 1.929 | 2 – 1.756 | 2 – 1.734 | 2 – 2.240 | 2 – 29,18 | |
| | 3 – 1.950 | 3 – 1.777 | 3 – 1.749 | 3 – 2.264 | 3 – 29,44 | |
| GB (*2) | 1 – 1.908 | 1 – 1.688 | 1 – 1.664 | 1 – 2.252 | 1 – 35,34 | 35,68 |
| a/g 0,70 | 2 – 1.639 | 2 – 1.514 | 2 – 1.501 | 2 – 2.036 | 2 – 35,64 | |
| | 3 – 1.761 | 3 – 1.561 | 3 – 1.547 | 3 – 2.105 | 3 – 36,07 | |
| GS | 1 – 2.206 | 1 – 2.064 | 1 – 1.959 | 1 – 2.402 | 1 – 22,61 | 22,74 |
| a/g 0,50 | 2 – 2.066 | 2 – 1.908 | 2 – 1.848 | 2 – 2.272 | 2 – 22,94 | |
| | 3 – 1.995 | 3 – 1.880 | 3 – 1.792 | 3 – 2.198 | 3 – 22,66 | |
| GCC (*2) Obs ¹ | 1 – 1.678 | 1 – 1.508 | 1 – 1.493 | 1 – 2.090 | 1 – 39,99 | 40,56 |
| a/g 0,75 | 2 – 1.700 | 2 – 1.472 | 2 – 1.456 | 2 – 2.055 | 2 – 41,14 | |
| GCC (*2) | 1 – 1.429 | 1 – 1.429 | 1 – 1.416 | 1 – 2.065 | 1 – 45,83 | 48,94 |
| a/g 0,85 | 2 – 1.338 | 2 – 1.338 | 2 – 1.326 | 2 – 1.979 | 2 – 49,25 | |
| | 3 – 1.222* | 3 – 1.223 | 3 – 1.212 | 3 – 1.839 | 3 – 51,73 | |
| GPB | 1 – 1.883 | 1 – 1.727 | 1 – 1.695 | 1 – 2.184 | 1 – 28,85 | 29,06 |
| a/g 0,60 (*3) | 2 – 1.759 | 2 – 1.634 | 2 – 1.613 | 2 – 2.084 | 2 – 29,20 | |
| | 3 – 1.819 | 3 – 1.672 | 3 – 1.654 | 3 – 2.136 | 3 – 29,14 | |
| GPB (*1) | 1 – 1.880 | 1 – 1.881 | 1 – 1.867 | 1 – 2.255 | 1 – 20,78 | 20,83 |
| a/g 0,45 (*3) | 2 – 1.840 | 2 – 1.842 | 2 – 1.827 | 2 – 2.208 | 2 – 20,85 | |
| | 3 – 1.748 | 3 – 1.750 | 3 – 1.736 | 3 – 2.098 | 3 – 20,85 | |
| GPS | 1 – 1.828 | 1 – 1.799 | 1 – 1.787 | 1 – 2.162 | 1 – 20,98 | 20,84 |
| a/g 0,50 (*3) | 2 – 1.900 | 2 – 1.848 | 2 – 1.835 | 2 – 2.222 | 2 – 21,09 | |
| | 3 – 1.914 | 3 – 1.865 | 3 – 1.853 | 3 – 2.232 | 3 – 20,45 | |
| GPS (*1) | 1 – 2.089 | 1 – 2.091 | 1 – 2.075 | 1 – 2.404 | 1 – 15,85 | 15,93 |
| a/g 0,40 (*3) | 2 – 1.995 | 2 – 1.896 | 2 – 1.882 | 2 – 2.183 | 2 – 15,99 | |
| | 3 – 1.663 | 3 – 1.663 | 3 – 1.650 | 3 – 1.913 | 3 – 15,94 | |
| GPC | 1 – 1.690 | 1 – 1.579 | 1 – 1.566 | 1 – 2.036 | 1 – 30,01 | 29,86 |
| a/g 0,60 (*3) | 2 – 1.779 | 2 – 1.641 | 2 – 1.629 | 2 – 2.127 | 2 – 30,57 | |
| | 3 – 1.747 | 3 – 1.656 | 3 – 1.645 | 3 – 2.122 | 3 – 29,00 | |
| GPC (*1) | 1 – 1.922 | 1 – 1.919 | 1 – 1.908 | 1 – 2.346 | 1 – 22,96 | 23,18 |
| a/g 0,50 (*3) | 2 – 1.880 | 2 – 1.869 | 2 – 1.858 | 2 – 2.292 | 2 – 23,36 | |
| | 3 – 1.794 | 3 – 1.792 | 3 – 1.782 | 3 – 2.196 | 3 – 23,23 | |

a/g – quantidade de água sobre o peso do gesso.

(*1) Redução do fator a/g em virtude do excesso de água apresentado nas placas.

(*2) Aumento do fator a/g para melhor homogeneização e manipulação do compósito para moldagem de três corpos-de-prova.

(*3) Quantidade de água e plastificante, somados, em relação ao gesso

Obs¹ - Não foi possível moldar os corpos-de-prova devido ao reduzido tempo de pega da mistura.

Obs² - Foi possível moldar apenas dois corpos-de-prova, devido ao reduzido tempo de pega da mistura.

GB – Gesso e fibra de bambu. GS – Gesso e fibra de sisal. GCC – Gesso e fibra de coco.

GPB – Gesso, superplastificante e bambu. GPS – Gesso, superplastificante e sisal.

GPC – Gesso, superplastificante e coco.

ANEXO G

Resistência à Flexão dos CPs dos compósitos de gesso, fibras vegetais (fibras de bambu, de sisal e de coco) e mucilagem em gel ou em pó, dos compósitos controles e dos compósitos com superplastificante, carga de ruptura e resistência média.

| Tipo | Fator (am/g) | Carga de Ruptura (N) | Resistência à Flexão (MPa) | Resistência à Flexão Média (MPa) |
|-----------|--------------|----------------------|----------------------------|----------------------------------|
| NAN 50 B | 0,60 | 1 – 493,63 | 1 – 2,74 | 2,60 |
| | | 2 – 454,14 | 2 – 2,52 | |
| | | 3 – 458,38 | 3 – 2,54 | |
| NAN 50 S | 0,55 | 1 – 400,42 | 1 – 2,22 | 2,06 |
| | | 2 – 320,10 | 2 – 1,78 | |
| | | 3 – 395,00 | 3 – 2,19 | |
| NAN 50 C | 0,65 | 1 – 253,68 | 1 – 1,41 | 1,66 |
| | | 2 – 285,36 | 2 – 1,58 | |
| | | 3 – 360,26 | 3 – 2,00 | |
| NAN 100 B | 0,60 | 1 – 512,94 | 1 – 2,85 | 2,66 |
| | | 2 – 497,18 | 2 – 2,76 | |
| | | 3 – 429,74 | 3 – 2,38 | |
| NAN 100 S | 0,55 | 1 – 258,93 | 1 – 1,44 | 1,26 |
| | | 2 – 222,50 | 2 – 1,23 | |
| | | 3 – 199,45 | 3 – 1,11 | |
| NAN 100 C | 0,65 | 1 – 321,97 | 1 – 1,79 | 1,60 |
| | | 2 – 257,74 | 2 – 1,43 | |
| | | 3 – 286,38 | 3 – 1,59 | |
| Tipo | Fator (a/g) | Carga de Ruptura (N) | Resistência à Flexão (MPa) | Resistência à Flexão Média (MPa) |
| NP 0,35 B | 0,60 | 1 – 440,76 | 1 – 2,45 | 2,24 |
| | | 2 – 403,98 | 2 – 2,24 | |
| | | 3 – 366,03 | 3 – 2,03 | |
| NP 0,35 S | 0,55 | 1 – 281,30 | 1 – 1,56 | 1,39 |
| | | 2 – 221,14 | 2 – 1,23 | |
| | | 3 – 250,46 | 3 – 1,39 | |
| NP 0,35 C | 0,65 | 1 – 299,26 | 1 – 1,66 | 1,68 |
| | | 2 – 318,58 | 2 – 1,77 | |
| | | 3 – 288,41 | 3 – 1,60 | |
| NP 1,0 B | 0,60 | 1 – 259,95 | 1 – 1,44 | 1,33 |
| | | 2 – 213,01 | 2 – 1,18 | |
| | | 3 – 244,69 | 3 – 1,36 | |
| NP 1,0 S | 0,55 | 1 – 234,52 | 1 – 1,30 | 1,22 |
| | | 2 – 196,91 | 2 – 1,09 | |
| | | 3 – 228,77 | 3 – 1,27 | |
| NP 1,0 C | 0,65 | 1 – 126,24 | 1 – 0,70 | 0,78 |
| | | 2 – 155,22 | 2 – 0,86 | |
| | | | | |
| GB | 0,70 | 1 – 416,86 | 1 – 2,31 | 2,07 |
| | | 2 – 331,63 | 2 – 1,84 | |
| | | 3 – 370,09 | 3 – 2,05 | |
| GS | 0,50 | 1 – 434,48 | 1 – 2,41 | 2,58 |
| | | 2 – 509,38 | 2 – 2,83 | |
| | | 3 – 452,11 | 3 – 2,51 | |
| GCc | 0,85 | 1 – 203,01 | 1 – 1,13 | 0,93 |
| | | 2 – 169,29 | 2 – 0,94 | |
| | | 3 – 129,80 | 3 – 0,72 | |
| GPB | 0,45 | 1 – 576,15 | 1 – 3,20 | 2,96 |
| | | 2 – 555,48 | 2 – 3,08 | |
| | | 3 – 469,56 | 3 – 2,61 | |
| GPS | 0,40 | 1 – 736,12 | 1 – 4,08 | 3,08 |
| | | 2 – 499,39 | 2 – 2,77 | |
| | | 3 – 429,06 | 3 – 2,38 | |
| GPC | 0,50 | 1 – 499,73 | 1 – 2,77 | 2,64 |
| | | 2 – 474,31 | 2 – 2,63 | |
| | | 3 – 452,96 | 3 – 2,51 | |

am/g – quantidade de água e mucilagem sobre o peso do gesso.

a/g – quantidade de água sobre o peso do gesso.

NAN 50 – *Nopalea* em Água Natural com 50% de substituição da água de amassamento pela mucilagem.

NAN 100 – *Nopalea* em Água Natural com 100% de substituição da água de amassamento pela mucilagem.

NP 0,35 – *Nopalea* em Pó (estufa) com 0,35% de pó de cacto em relação à massa de gesso.

NP 1,0 – *Nopalea* em Pó (estufa) com 1,0% de pó de cacto em relação à massa de gesso.

B – Fibra de Bambu. S – Fibra de Sisal. C – Fibra de Coco.

GB – Gesso e fibra de bambu.

GS – Gesso e fibra de sisal.

GCc – Gesso e fibra de coco.

GPB – Gesso, superplastificante e bambu.

GPS – Gesso, superplastificante e sisal.

GPC – Gesso, superplastificante e coco.