

ELISA SERTÓRIO VIEIRA

**ANÁLISE COMPARATIVA DE SISTEMA DE IMPERMEABILIZAÇÃO
INCORPORANDO COMO ESTRUTURANTE FIBRAS DE SISAL E DE POLIÉSTER**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil. Área de Concentração: Tecnologia da Construção.

Orientador: Prof. ANA LÚCIA TORRES SEROA DA MOTTA, PhD.

Niterói

2008

Ficha Catalográfica elaborada pela Biblioteca da Escola de Engenharia e Instituto de
Computação da UFF

V658 Vieira, Elisa Sertório.

Análise comparativa de sistema de impermeabilização incorporando
como estruturante fibras de sisal e de poliéster / Elisa Sertório Vieira.
– Niterói, RJ : [s.n.], 2008.

187 f.

Orientador: Ana Lúcia Torres Seroa da Motta.
Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal
Fluminense, 2008.

1. Impermeabilização. 2. Engenharia dos materiais. 3. Material
alternativo. 4. Edificação – Manutenção. 5. Construção civil –
Tecnologia I. Título.

CDD 693.892

ELISA SERTÓRIO VIEIRA

**ANÁLISE COMPARATIVA DE SISTEMA DE IMPERMEABILIZAÇÃO
INCORPORANDO COMO ESTRUTURANTE FIBRAS DE SISAL E DE
POLIÉSTER**

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil da Universidade
Federal Fluminense, como requisito
parcial para obtenção do Grau de
Mestre em Engenharia Civil. Área de
Concentração: Tecnologia da
Construção.

Aprovada em 2 de junho de 2008

BANCA EXAMINADORA

Prof^a Ana Lúcia Torres Seroa da Motta, Ph.D. (Orientadora)
Universidade Federal Fluminense

Prof. Fathi Aref Ibrahim Darwish, Ph.D
Universidade Federal Fluminense

Prof. Miguel Aloysio Sattler, Ph.D
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Niterói
2008

Este trabalho é dedicado
aos meus pais Mario e Kátia,
aos meus familiares e amigos
pelo apoio e incentivo constantes.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelas oportunidades e inspirações.

Aos meus familiares, pelo apoio e incentivo.

À Professora Ana Lúcia Torres Seroa da Motta, cuja orientação e conhecimento foram essenciais para o desenvolvimento da dissertação.

Ao Professor Francisco José Varejão Marinho, cuja orientação e conhecimentos foram essenciais para o desenvolvimento da dissertação.

Ao Engenheiro Químico Alexander Lima Thomaz Gonçalves, pela orientação e incentivo.

À empresa Tecmia Construções e Projetos Ltda, pela orientação especializada.

Aos professores do Curso de Mestrado em Engenharia Civil da UFF, pelos ensinamentos prestados.

A CAPES pelo apoio financeiro.

Há momentos que devemos ser humildes, dentro da nossa imperfeição.

E há momentos em que devemos demonstrar nossa grandiosidade de
coração,

grandiosidade nos atos e grandiosidade ao dar o melhor de nós.

ELISA S. V. (abril de 2008)

Oh meu Jesus perdoai-nos,

livrai-nos do fogo do inferno,

levai as almas todas para o céu e

socorrei principalmente as que

mais precisarem da sua infinita misericórdia.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	5
SUMÁRIO	7
LISTA DE TABELAS	11
LISTA DE GRÁFICOS	13
RESUMO	14
ABSTRACT	15
1 INTRODUÇÃO	16
1.1 MOTIVAÇÃO	16
1.2 RELEVÂNCIA E JUSTIFICATIVA DA PESQUISA	17
1.3 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	18
1.4 OBJETIVOS	18
1.4.1 Objetivos Gerais	18
1.4.2 Objetivos Específicos	18
1.5 HIPÓTESES	19
1.6 METODOLOGIA E ESTRATÉGIA DE AÇÃO	19
1.7 TIPO DE PESQUISA	19
1.8 FONTES DE PESQUISA	20
1.9 RESULTADOS E IMPACTOS ESPERADOS	20
1.10 ESTRUTURA DO TEXTO	20
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
2.1 PANORAMA DE PESQUISAS ACADÊMICAS SOBRE O USO DE FIBRAS VEGETAIS (FOCO NA FIBRA DE SISAL) NA CONSTRUÇÃO CIVIL	22
2.2 IMPERMEABILIZAÇÃO EM EDIFICAÇÕES	25
2.2.1 Definição de Impermeabilização	25
2.2.2 Tipos de Impermeabilizações	26
2.2.3 Recomendações para Impermeabilizações	29
2.2.4 Composição dos Sistemas de Impermeabilização	35
2.3 PATOLOGIAS RELATIVAS À IMPERMEABILIZAÇÃO	36
2.3.1 Origens dos Defeitos (falhas) em Impermeabilização	36
2.3.1.1 Defeitos Devido ao Projeto	37
2.3.1.2 Defeitos Devido à Qualidade dos Materiais	37
2.3.1.3 Defeitos Devido à Execução	38
2.3.1.4 Defeitos Devido à Má Utilização e/ ou Manutenção	39
2.3.2 Exemplos de Falhas de Manifestações Patológicas	40

3 PROGRAMA EXPERIMENTAL	43
3.1 OBJETIVO E METODOLOGIA DO PROGRAMA EXPERIMENTAL	43
3.2 DESCRIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS.....	44
3.2.1 Água.....	44
3.2.2 Areia.....	44
3.2.3 Brita.....	48
3.2.4 Cimento Portland.....	51
3.2.5 Produto Impermeabilizante.....	55
3.2.6 Sisal.....	56
3.2.7 Tela de Poliéster	68
3.3 DESCRIÇÃO DOS SISTEMAS DE IMPERMEABILIZAÇÃO ADOTADOS NOS ENSAIOS.....	69
3.4 DESCRIÇÃO DOS ENSAIOS REALIZADOS E MÉTODOS EMPREGADOS	72
3.4.1 Programa de Ensaios	72
3.4.1.1 Ensaios de Caracterização dos Agregados.....	73
3.4.1.2 Ensaio de Aderência	78
3.4.1.3 Ensaio de Alongamento	82
3.4.1.4 Ensaio de Câmara Climática	86
3.4.1.5 Ensaio de Envelhecimento Acelerado, com Na ₂ SO ₄	89
3.4.1.6 Ensaio de Absorção por Imersão	91
3.4.1.7 Ensaio de Absorção por Capilaridade	95
3.4.1.8 Ensaio de Resistência à Tração por Compressão Diametral	98
3.4.1.9 Ensaio de Resistência à Compressão Axial	100
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	102
4.1 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS.....	102
4.2 ENSAIO DE ADERÊNCIA	106
4.3 ENSAIO DE ALONGAMENTO	110
4.4 ENSAIO DE CÂMARA CLIMÁTICA	110
4.5 ENSAIO DE ENVELHECIMENTO ACELERADO, COM Na ₂ SO ₄	111
4.6 ENSAIO DE ABSORÇÃO POR IMERSÃO	124
4.7 ENSAIO DE ABSORÇÃO POR CAPILARIDADE.....	126
4.8 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL	129
4.9 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL.....	130
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	132
5.1 CONCLUSÕES DO PROGRAMA EXPERIMENTAL	132
5.2 SUGESTÃO PARA FUTUROS TRABALHOS.....	133
OBRAS CITADAS	135
OBRAS CONSULTADAS	144

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 – Detalhe do encaixe da impermeabilização para dentro do cômodo interno e o desnível entre as áreas interna e externa – MORAES (2002).....	32
Figura 2.2 – Detalhe do encontro da impermeabilização com uma mureta – THOMAZ (2001).....	34
Figura 2.3 – Problema de transpasse em manta asfáltica – MORAES (2002).	41
Figura 2.4 – Infiltração junto à viga de concreto armado – MORAES (2002)...	41
Figura 2.5 - Formação de mofo e degradação da pintura e do revestimento – MORAES (2002).	41
Figura 2.6 – Obstáculos para a impermeabilização – MORAES (2002).....	41
Figura 2.7 – Fixação de luminária após a execução da impermeabilização – MORAES (2002).	42
Figura 3.1 - Peneiramento da brita 1.....	51
Figura 3.2 - Folhas do Sisal, recolhidas e transportadas no lombo de jumento.	57
Figura 3.3 – Fibras provenientes da: espécie Agave Sisalana (sisal) – 5 mm.	67
Figura 3.4 – Fibras provenientes da: espécie Agave Sisalana (sisal) – 1,5 cm.	67
Figura 3.5 – Tela de poliéster.....	68
Figura 3.6 –Tela de poliéster cortada – 5 mm.	68
Figura 3.7 - Corpos-de-prova prismático com estruturante em tela de poliéster	71
Figura 3.8 - Corpos-de-prova prismático com estruturante em sisal.....	71
Figura 3.9 - Corpos-de-prova cilíndricos com adição de fibras de poliéster picados.....	71
Figura 3.10 - Corpos-de-prova cilíndricos com fibras de sisal cortadas.....	71
Figura 3.11 - Frasco de Chapman.....	74
Figuras 3.12 – Equipamentos e etapas no Método para Determinar a massa específica através do frasco de Chapman.	75
Figura 3.13 – Aparelho de “Sppedy”.	77
Figura 3.14 - Caixote de Madeira.....	79
Figura 3.15 - Adensamento e nivelamento da concretagem.....	79
Figura 3.16 - Caixotes apresentando revestimento, após corte.....	80
Figura 3.17 - Equipamento usado no Ensaio de Aderência.....	80
Figura 3.18 – Caixote utilizado para o ensaio de aderência.....	82
Figura 3.19 - Forma de ruptura dos corpos-de-prova (ruptura na interface impermeabilizante/ substrato (concreto)	82

Figura 3.20 - Não foi possível retirar o sistema de impermeabilização aplicado diretamente sobre o vidro.....	83
Figura 3.21 – Falha na remoção do sistema de impermeabilização aplicado sobre o vidro com <i>free coat</i> (vaselina)	83
Figura 3.22 – Aplicação de sistema de impermeabilização sobre plástico.....	84
Figura 3.23 – Corte para confecção de amostras para o ensaio de alongamento.....	84
Figura 3.24 - Amostras sem estruturação	85
Figura 3.25 - Amostras com estruturação em tela de poliéster	85
Figura 3.26 - Amostras com estruturação em sisal.	85
Figura 3.27 – Medidas do molde (Modelo I – NBR 7462 (1992)).	85
Figura 3.28 – Corpos-de-prova confeccionados conforme a NBR 7462 (1992).	85
Figura 3.29 – Corpo-de-prova no equipamento de ensaio.	86
Figura 3.30 – Corpo-de-prova sendo ensaiado.	86
Figura 3.31 – Equipamento do ensaio de alongamento.	86
Figura 3.32 – Equipamento do ensaio e demais equipamentos de registro de dados.	86
Figura 3.33 – Corpos-de-Prova em imersão em solução salina.....	90
Figura 3.34 – Estufa	90
Figura 3.35 – Corpos-de-prova em estufa.....	90
Figura 3.36 - Misturador mecânico.....	92
Figura 3.37 – Adensamento com soquete padrão.....	92
Figura 3.38 - Corpos-de-prova em molde com parte superior protegida por vidro plano.	93
Figura 3.39 - Corpos-de-prova em cura úmida.....	93
Figura 3.40 - Recipiente utilizado nos ensaios de absorção por imersão e capilaridade.....	94
Figura 3.41 – Pesagem de corpo-de-prova em balança eletrônica	96
Figura 3.42 – Medição do corpo-de-prova com auxílio de paquímetro	96
Figura 3.43 – Corpos-de-prova, após ensaio de absorção por capilaridade. ...	97
Figura 3.44 – Corpo-de-prova posicionado na prensa do ensaio de resistência à tração por compressão diametral.....	98
Figura 3.45 – Corpo-de-prova rompido após o ensaio de resistência à tração por compressão diametral	98
Figura 3.46 - Verificação da altura de percolação d'água	98
Figura 3.47 - Execução do capeamento em corpo-de-prova.....	101
Figura 3.48 – Ensaio de resistência à compressão axial	101
Figura 4.1- Corpos-de-Prova após execução do ensaio em Câmara Climática.	111
Figura 4.2 – Corpos-de-prova após 14 ^o ciclo.	122
Figura 4.3 – Plano de ruptura bem definido.	131
Figura 4.4 – Ruptura taça cone.	131

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Tipos de impermeabilização conforme a solicitação de água.	28
Tabela 3.1 – Classificação das areias em relação ao módulo de finura.....	46
Tabela 3.2 - Limites granulométricos para agregado miúdo.	46
Tabela 3.3 – Classificação do limite de utilização, em relação ao módulo de finura.	47
Tabela 3.4 - Classificação de acordo com as dimensões nominais.	48
Tabela 3.5 - Limites granulométricos de agregado graúdo.	49
Tabela 3.6 – Limites de composição granulométrica do agregado graúdo.	50
Tabela 3.7- Composição química típica do cimento Portland (NEVILLE, 1988)	53
Tabela 3.8 - Características físicas e mecânicas da fibra de sisal.	58
Tabela 3.9 – Propriedades mecânicas da fibra de sisal.	58
Tabela 3.10 – Valores típicos das propriedades das fibras de sisal.....	59
Tabela 3.11 – Composição da fibra de sisal.....	60
Tabela 3.12 – Usos possíveis do sisal (GUIMARÃES, et al.,2006).....	62
Tabela 3.13 - Produção brasileira de sisal, por unidade da Federação, 2002 e 2003	64
Tabela 3.14 – Programa de ensaios.	73
Tabela 3.15 – Amostra significativa para o método de “Sppedy”.	78
Tabela 3.16 – Traço adotado no ensaio de aderência.	79
Tabela 3.17 - Taxas de carregamento para a seção circular de 50 mm de diâmetro.	81
Tabela 3.18 – Dados higrotérmicos das etapas	88
Tabela 3.19 – Identificação e pesagem dos corpos-de-prova (Ensaio de Câmara Climática).....	89
Tabela 3.20 – Identificação e pesagem dos corpos-de-prova (Ensaio de envelhecimento acelerado)	91
Tabela 4.1 – Resultados do ensaio de granulometria da areia.	102
Tabela 4.2 – Cálculo da massa específica pelo frasco de Chapman.....	103
Tabela 4.3 – Resistência à Aderência.....	107
Tabela 4.4 - Resistência à tração para os corpos-de-prova que possuem forma de ruptura “a”.....	109
Tabela 4.5 - Análise dos Resultados dos registros fotográficos. Erro! Indicador não definido.	
Tabela 4.6 - Valores médios das diferenças de massa (g) para os compósitos ensaiados após os ciclos de imersão e secagem.	123

Tabela 4.7 – Valores de absorção de água por imersão, expressos em porcentagens.....	124
Tabela 4.8 – Valores médios de absorção de água por imersão em %.	125
Tabela 4.9 – Valores de absorção de água por capilaridade, expressos em porcentagens.....	126
Tabela 4.10 – Valores médios de absorção de água por capilaridade em %.	127
Tabela 4.11 – Ruptura por compressão diametral e altura de percolação d'água.	128
Tabela 4.12 – Resistência à tração por compressão diametral.....	129
Tabela 4.13 – Resistência à compressão axial.	130

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 3.1 – Análises termogravimétrica e térmica diferencial da fibra de sisal (ALBANO et al. 1999).....	59
Gráfico 3.2 – Perímetro do gráfico que a Câmara Climática consegue controlar a temperatura e a umidade.	88
Gráfico 4.1 - Curva Granulométrica da Areia.	103
Gráfico 4.2 - Resistência à aderência média para os corpos-de-prova com ruptura “a”.....	110
Gráfico 4.3 - Diferenças de massa dos corpos-de-prova submetidos a ciclos alternados de imersão e secagem.	123
Gráfico 4.4 - Valores médios de absorção de água por imersão em %.	125
Gráfico 4.5 - Valores médios de absorção de água por capilaridade em %...	127

RESUMO

O objetivo deste trabalho é avaliar a importância do estudo e analisar a eficiência, por meio de ensaios laboratoriais, de sistemas de impermeabilização a base polimérica, com substituição do estruturante de tela de poliéster por fibras de sisal. Para este trabalho foram adotados: (i) o ensaio de aderência, (ii) ensaio de alongamento, (iii) ensaio na câmara climática, (iv) ensaio de envelhecimento acelerado com Na_2SO_4 , (v) ensaio de absorção por imersão, (vi) ensaio de absorção por capilaridade, (vii) ensaio de resistência à tração por compressão diametral e (viii) resistência à compressão axial. A realização deste trabalho confirma, experimentalmente, a possibilidade de obtenção de uma nova estruturação dos sistemas de impermeabilização, substituindo a base polimérica pelo uso de fibra de sisal. Os resultados indicaram que o sisal aumenta a aderência do impermeabilizante com o substrato, aumenta a resistência mecânica satisfatoriamente e apresenta pouca variabilidade de absorção d'água, em relação ao impermeabilizante com tela de poliéster.

Palavras-chave: Impermeabilização; Estanqueidade; Conservação de Edificações..

ABSTRACT

The aim of the research was to compare the efficiency of waterproof's systems containing a polymeric base and the ones having the polyester mesh structure replaced by sisal fibers. The analyzes was made through laboratory tests For this work were carried out: (i) adhesion test, (ii) stretching test, (iii) climate chamber simulation test, (iv) age accelerating test with Na₂SO₄, (v) water absorption by immersion test, (vi) water absorption by capillary test, (vii) diametrical compression resistance test (viii) axial compression resistance test. Moreover, the experimental work confirmed the possibility of exchanging the polymeric base by the new structure of sisal fibers. The results indicated that sisal fibers increase the adherence of waterproof systems, increases the mechanical strength satisfactorily and presents little variability on water absorption capacity when compared to the traditional waterproof with polyester mesh.

Key words: Waterproof systems; Water tightness; Buildings retrofit

1 INTRODUÇÃO

1.1 MOTIVAÇÃO

É necessário inspecionar o real estado de conservação de uma edificação, visando identificar danos e anomalias, a partir de programas de manutenção que contemplam recuperações, com vistas à garantia das suas habitabilidade e durabilidade.

Acrescente-se a isso que a água é um fluido atuante numa construção sendo que sua ação sobre os elementos e componentes de uma edificação pode ser muito prejudicial, afetando diretamente a sua durabilidade.

Por isso é importante observar as recomendações da norma NBR 9575 (2003), em relação à elaboração do projeto de impermeabilização, a fim de se evitar a passagem indesejável de fluidos, proteger as estruturas e componentes construtivos contra a ação de agentes agressivos presentes na atmosfera, proteger o meio ambiente de possíveis vazamentos ou contaminações, possibilitar, sempre que possível, a realização de manutenções da impermeabilização e proporcionar conforto ao usuário.

Segundo MORAES (2002), a falta de um projeto de impermeabilização gera dificuldades na fiscalização dos serviços, na definição dos materiais a serem utilizados e nos detalhes da preparação do substrato, ocasionando infiltração em estruturas de concreto armado, corrosão em armaduras, comprometimento da habitabilidade, custos e transtornos aos usuários.

PORCELLO (2003) ressalta que existem no Brasil diversos produtos impermeabilizantes, de qualidade e desempenho variáveis, de diversas origens e

métodos de aplicação, normalizados ou não, que devem ter suas características profundamente estudadas para a escolha de um sistema adequado de impermeabilização.

Os defeitos podem ser devido à má qualidade dos materiais ou porque os técnicos não seguem corretamente as normas, utilizando materiais inadequados, adulterados e sem controle de qualidade.

Diante desse cenário, se tem, portanto a necessidade de verificar, por meio de ensaios experimentais, a qualidade dos sistemas de impermeabilização.

1.2 RELEVÂNCIA E JUSTIFICATIVA DA PESQUISA

A relevância do assunto da dissertação deve-se ao fato de serem as impermeabilizações sistemas protetores das edificações, inserindo-se na área de pesquisa intitulada “Patologia, Materiais, Recuperação e Reforço de Estruturas”, constante do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal Fluminense.

Outro ponto relevante seria discutir temas referentes aos sistemas de impermeabilização, para geração de edificações habitáveis e duradouras. A impermeabilização é um aliado importante na busca de conforto ambiental, ou seja, uma melhor qualidade de vida para seu usuário. As infiltrações devido a um sistema defeituoso geram patologias, que chegam a comprometer a saúde humana, devido aos fungos e microorganismos.

Os tratamentos impermeabilizantes estão relacionados ao bem estar, à saúde dos usuários das edificações e ao patrimônio das sociedades, como um todo, pois visam impedir a proliferação de enfermidades nas pessoas, e evitar a instauração e proliferação de anomalias nas estruturas e demais elementos constituintes das edificações.

O tema justifica-se, pois este estudo contribuirá para atestar a eficiência das impermeabilizações à base de polimérica, garantindo um maior controle na sua utilização. O estudo está diretamente associado ao atendimento da garantia na

aplicação dos sistemas de impermeabilização, para posterior proteção à funcionalidade do conjunto de edificações.

1.3 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

Há dificuldades em se conseguir selecionar produtos impermeabilizantes necessários para uma adequada proteção da edificação, logo o estudo desses diversos materiais para a construção civil, torna-se de importância vital para a melhor caracterização dos mesmos e, conseqüentemente, para um aumento da durabilidade das edificações.

Esta pesquisa também terá seu foco na substituição da tela de poliéster, normalmente utilizada na estruturação desses sistemas de impermeabilização, por fibras de sisal, a fim de obter respostas dessa substituição através de estudos comparativos das vantagens e / ou desvantagens.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivos Gerais

Esta pesquisa tem como objetivo estudar o sistema de impermeabilização à base polimérica, visando o aproveitamento de fibras de sisal.

Também haverá o intuito de contribuir para o bem estar de seus usuários, na medida em que seu uso visa impedir a proliferação de enfermidades nas pessoas, evitando a instauração e proliferação de anomalias causadas pela infiltração de água nas estruturas e demais elementos constituintes da edificação. Promover, também, a discussão sobre as vantagens relativas ao uso de resíduos orgânicos, juntamente com a questão da preservação do meio ambiente.

1.4.2 Objetivos Específicos

- a) Verificar por meio de ensaios experimentais, o comportamento dos diferentes tipos de impermeabilizantes à base polimérica, selecionados para a pesquisa;
- b) Estudar as vantagens ou desvantagens que o sistema de impermeabilização com estruturante em fibras de sisal, pode ter em

relação aos sistemas convencionais, no âmbito do atendimento aos requisitos mínimos necessários para aceitação da execução e econômicos para o usuário.

1.5 HIPÓTESES

Atribuiu-se para a execução deste trabalho que a substituição da estruturação em véu de poliéster (estruturante, normalmente utilizado nos sistemas de impermeabilização à base polimérica) pela fibra de sisal pode influenciar diretamente na qualidade do sistema em geral. Logo, cabe aqui tratar de se considerar as questões relativas à manutenção das características necessárias para uma boa estruturação com o processo alternativo, ou seja, as fibras de sisal devem atuar como um elemento flexível, de forma plana, destinado a absorver esforços, conferindo resistência mecânica aos diferentes tipos de impermeabilizações.

1.6 METODOLOGIA E ESTRATÉGIA DE AÇÃO

Fez-se a inclusão do material orgânico de fibras de sisal como material estruturante na confecção dos sistemas.

Neste trabalho avaliou-se o comportamento dos sistemas de impermeabilização à base polimérica, segundo, a avaliação quantitativa do tema, ou seja, com intuito de se avaliar o atendimento dos materiais constituintes, no que se refere às propriedades físico-químicas e mecânicas, que são obtidas por meio de ensaios laboratoriais, elaborados segundo exemplares de materiais, conforme o processo de amostragem. Ensaios esses que determinam a aderência, elasticidade, estanqueidade à água, resistência e durabilidade.

1.7 TIPO DE PESQUISA

A pesquisa, quanto à ciência, será empírica, pois produz e analisa dados pela via do controle empírico e factual da realidade. A pesquisa, quanto à natureza, será aplicada, pois busca a solução de problemas através do método tecnológico, visando possíveis aplicações práticas. Quanto à forma, será quantitativa. Quanto aos fins, será exploratória, descritiva, explicativa, metodológica e intervencionista (ao

propor algo diferente, como o uso de fibras de sisal). Quanto aos meios, será bibliográfica, documental e experimental.

1.8 FONTES DE PESQUISA

As fontes de pesquisa sobre impermeabilizações e ensaios normativos incluirão: bibliotecas, Internet e consulta à bibliografia técnica sobre o assunto constante das referências bibliográficas apresentadas. E, ainda, dados registrados em pesquisas, obtidos em obras de construção, recuperação e impermeabilização.

1.9 RESULTADOS E IMPACTOS ESPERADOS

Espera-se que os resultados apresentados levem ao desenvolvimento de técnicas e materiais alternativos, que proporcionem ao usuário a diminuição das infiltrações provenientes da ação da água, que age em várias formas na edificação (água de capilaridade que ascende pelo solo, da água que vaza e se infiltra devido a problemas nas instalações hidráulicas, da água de lavagem, da água de condensação e da água de chuva que passa pelas vedações exteriores), visando o conforto ambiental da edificação e a relevância econômico-ambiental para as comunidades.

É esperado, ainda, que a pesquisa leve à conscientização das empresas de construção civil sobre a importância destes estudos, e lhes proporcione subsídios adequados a futuras ações voltadas ao conforto ambiental das edificações.

Sendo assim, espera-se que os resultados desta pesquisa, assim como a apresentação de suas diversas etapas de realização e desenvolvimento sejam de importância para as organizações, outros pesquisadores e profissionais ligados à área, resultando, então, em benefício para toda a comunidade.

1.10 ESTRUTURA DO TEXTO

No Capítulo 1 são apresentadas uma breve introdução ao tema a ser desenvolvido, descrição da motivação, relevância e justificativa, caracterização do problema, objetivos gerais e específicos, hipóteses, metodologia e estratégia de ação, tipo de pesquisa, fontes de pesquisa e respectivos resultados e impactos esperados.

No Capítulo 2 é apresentada uma revisão bibliográfica, abordando um panorama de pesquisas acadêmicas sobre o uso de materiais orgânicos (sisal) na construção civil. Neste também são abordadas as definições relativas à impermeabilização de edifícios e construções, os tipos de impermeabilização existentes, recomendações para a impermeabilização, a composição dos sistemas de impermeabilização e descreve os sistemas de impermeabilização adotados nos ensaios da presente dissertação. E são apresentadas as patologias relativas à impermeabilização e exemplos ilustrativos de algumas dessas patologias.

O Capítulo 3 faz referência ao programa experimental, no qual são abordados seus objetivos, metodologia, descrição e caracterização dos materiais utilizados e apresenta resumo dos ensaios realizados e métodos empregados.

A seguir, no Capítulo 4, são apresentados e analisados os resultados.

Finalmente, no Capítulo 5, são demonstradas as considerações finais, conclusões e propostas para futuros trabalhos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 PANORAMA DE PESQUISAS ACADÊMICAS SOBRE O USO DE FIBRAS VEGETAIS (FOCO NA FIBRA DE SISAL) NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Dentre as fibras vegetais, o sisal mostra-se promissor no desenvolvimento de materiais compósitos, devido ao seu baixo custo, boas propriedades mecânicas, disponibilidade no mercado e possibilidade de agregar valor a um dos produtos agrícolas do Nordeste do Brasil.

De acordo com GUIMARÃES (1990), os primeiros trabalhos no Brasil empregando fibras como materiais de reforço do compósito cimentício foram realizados a partir de 1980, no Centro de Pesquisa do Governo do Estado da Bahia, utilizando materiais naturais, como as fibras vegetais provenientes das culturas de sisal, piaçava, coco, bambu e cana-de-açúcar.

Pesquisas têm sido direcionadas ao aperfeiçoamento das propriedades dos concretos com adição de fibras, sintéticas e naturais. São adotadas fibras descontínuas distribuídas randomicamente, de forma a exercer a função de atravessar as fissuras que se formam no concreto, seja quando sob a ação de cargas externas ou quando sujeito à mudança na temperatura ou na umidade do meio ambiente. As fibras provocam certa ductibilidade após a fissuração. Se as fibras forem suficientemente resistentes, bem aderidas à matriz cimentícia, e em bastante quantidade, elas ajudarão a manter pequena a abertura das fissuras (THOMAZ, 2006).

CHATVEERA e NIMITYONGSKUL (1992) relataram aumentos da durabilidade de compósitos com fibras de sisal e matriz composta por 70% de cimento Portland comum e 30% de cinzas de casca de arroz, em massa.

De acordo com SARMIENTO (1997) a utilização de fibras, naturais ou artificiais, como reforço em concretos, tem se revelado de grande importância, pois permite a obtenção de produtos com menor massa específica aparente e valores satisfatórios de resistência à tração e ao impacto, além de maior controle da fissuração e comportamento dúctil na ruptura. Com adição de fibras às matrizes é possível melhorar suas propriedades mecânicas, como a resistência à tração, à flexão e ao impacto.

Faz-se uso das fibras vegetais, também, como reforço em argamassas. O estudo do CEPED (1982) contemplou o desenvolvimento de argamassas reforçadas com fibras de coco, piaçava e sisal, de volumes e comprimentos variáveis. Os pesquisadores desenvolveram uma telha tipo canal, chamada telão, moldada em duas camadas de argamassa, com fibras colocadas manualmente entre as camadas. A moldagem foi realizada sobre uma folha plástica com um esquadro de madeira e, em seguida, a tela era colocada suspensa em dois cavaletes, adquirindo, assim, o formato de canal.

O CEPED (1984b), ao analisar o comportamento das fibras de coco e sisal em argamassas relatou que a adição de fibra de sisal nas argamassas aumentou a resistência à flexão do compósito. Quanto a prensagem das vigas de compósitos, durante sua moldagem, obteve-se maiores valores de massa específica aparente e resistência à flexão, menores valores de porosidade e absorção d'água. Em relação à trabalhabilidade não se observou melhoria.

BERALDO E VIEIRA (2003) analisaram o efeito de três teores de adições de fibras de sisal (1,8%, 3,6% e 10,8%) em argamassa de cimento e areia. As fibras de comprimento inferior a 1,5 cm, foram submetidas a diversos tratamentos visando melhorar sua compatibilidade química com o cimento Portland (CPII-E-32). Além do ensaio de compressão simples, avaliou-se a velocidade do pulso ultra-sônico, através de corpos-de-prova cilíndricos. As fibras de sisal se mostraram inibitórias à

pega do cimento apenas quando foram empregadas na dosagem mais elevada (10,8%).

TOLEDO FILHO et al. (2004) utilizaram fibras curtas de sisal e coco em compósitos com argamassa de cimento e verificaram que a adição de 0,2%, em volume, de fibras de 25 mm de sisal e de coco retarda o início do processo de fissura, pela contenção da contração plástica, conseguindo, desta forma, controlar o desenvolvimento de fissuras em compósitos com pouco tempo de uso.

SAVASTANO et al. (1999) obtiveram compósitos de argamassa de escória de alto-forno, reforçados com fibras naturais, com o objetivo de produzir telhas de baixo consumo energético. Obtiveram bons resultados para testes de resistência nos compósitos, onde foram usadas polpas de eucalipto, fibras de coco ou mistura de fibras de sisal e polpa de eucalipto. Analogamente, as telhas obtidas com tais compósitos tiveram performances que atenderam às exigências internacionais.

MACHADO (2007) analisou o desempenho de argamassas de cal contendo aditivos e materiais orgânicos, como açúcar mascavo, açúcar refinado, fibra de sisal, bagaço de cana-de-açúcar, casca de arroz.

GUIMARÃES (1990) e AGOPYAN (1991) relataram diversas experiências sobre o uso de matrizes à base de cimento reforçado com fibras naturais, no Brasil, para produção de componentes construtivos, como telhas, painéis de vedação vertical, caixas d'água e pias de cozinha. Em todo o mundo, esses fibrocimentos alternativos já fazem parte de programas de transferência tecnológica, especialmente no que se refere a sistemas de cobertura de baixo custo, como reportado por SAXENA et al. (1992), GRAM & GUT (1994) e DELVASTO et al. (1995).

LIMA et al. (2007) realizaram a caracterização mecânica de laminados cimentícios esbeltos, reforçados com fibras de sisal, considerando a proibição progressiva do uso de fibras de asbesto na fabricação de laminados à base de cimento e os objetivos de reduzir custos com transporte e fabricação, visto que há possibilidade de fabricação dos produtos nas regiões produtoras de fibras; além disso, os materiais fabricados com a utilização de fibras vegetais e seus derivados conseguem reduzir a condutividade térmica das placas, gerando maior conforto

térmico nas construções rurais para criação animal, objetivos esses formulados por PADILHA et al. (2001).

Em TEZUKA (1999) foram analisadas as características do concreto armado com fibras naturais, como as de coco, de juta, de sisal, etc. Segundo esta autora, na produção de chapas e placas para uso em coberturas e paredes de baixo custo, o volume ótimo e o comprimento adequado para a grande maioria das fibras naturais estão ao redor de 3% e 25 mm, respectivamente.

VELASCO (2002) confeccionou um concreto de alto desempenho reforçado com fibras de polipropileno e sisal, submetendo-o a altas temperaturas (400, 650 e 900°C).

Em STANCATO (2006) foram caracterizados os compósitos à base de resíduos vegetais e argamassa cimentícia, modificada pela adição de polímeros para confecção de blocos vazados. As misturas foram compostas pelos resíduos provenientes das espécies: *Eucalyptus grandis*, *Pinus caribaea*, *Oriza sativa* (casca de arroz) e *Agave sisalana* (sisal); cimentos Portland dos tipos II, III e V; agregado miúdo mineral (areia lavada), pó de pedra; aditivo acelerador de pega cloreto de cálcio (CaCl_2); os polímeros estireno-butadieno (SBR) e acetato versatato (PAV22) e teor de água adequado às misturas.

Não foram encontrados trabalhos científicos relatando o emprego de fibras de sisal em sistemas de impermeabilização.

2.2 IMPERMEABILIZAÇÃO EM EDIFICAÇÕES

2.2.1 Definição de Impermeabilização

SABBATINI et al. (2003) citando a norma NBR 9575 (2003), definem impermeabilização como sendo o conjunto de operações e técnicas construtivas (serviços), que objetivam proteger as construções contra a ação deletéria de fluidos, vapores e da umidade. Também pode ser definida como produto (conjunto de componentes ou o elemento) resultante destes serviços.

A impermeabilização também objetiva proteger as construções contra gases de substâncias agressivas, presentes na atmosfera, no solo, estocados em depósitos naturais ou artificiais e fumaças poluentes.

Como exemplos de substâncias agressivas podemos citar a água, sais, cloretos, sulfatos, sulfetos, amônia, ácidos, entre outras.

Segundo JORDY (2002), a impermeabilização pode ser caracterizada por duas hipóteses: falha ou sucesso, ou seja, não existe meio termo. Deve-se garantir 100 % de sucesso, com eficácia do tratamento protetor para a edificação num determinado período, coincidente ao tempo estimado para a garantia do sistema de impermeabilização, que, por lei, na atualidade no Brasil, é de 5 (cinco) anos, prazo que pode ser entendido, desde que sejam implementados programas de manutenção predial.

Geralmente, a impermeabilização é composta de um conjunto de camadas, com funções específicas.

2.2.2 Tipos de Impermeabilizações

Os sistemas impermeabilizantes podem ser classificados como:

1. Rígidos: Possuem baixa capacidade de absorver deformações da base, principalmente deformações concentradas (fissuras e trincas);
2. Flexíveis: Suportam deformações da base com amplitudes variáveis (em função do sistema de impermeabilização, inclusive em fissuras e trincas).

Os materiais que compõem o sistema rígido de impermeabilização são: concreto impermeável (com ou sem aditivos impermeabilizantes), argamassa impermeável (com hidrofugantes ou polimérica), cimentos poliméricos e cristalizantes e membranas epoxídicas.

Já, o sistema flexível é composto por: membranas asfálticas (moldadas no local) ou poliméricas e mantas (pré-moldadas) asfálticas ou poliméricas.

Segundo a norma NBR 9575 (2003), o tipo adequado de impermeabilização a ser empregado na construção civil deve ser determinado segundo a solicitação imposta pelo fluido nas partes construtivas que requeiram estanqueidade. A solicitação pode ocorrer de quatro formas distintas, conforme descrito a seguir:

- Imposta pela água de percolação – É a água que atua em terraços e coberturas, empenas e fachadas, onde existe o livre escoamento, não exercendo pressão hidrostática sobre os elementos da construção superior a 1kPa;
- Imposta pela água de condensação – É a água de condensação de vapor (umidade) que aparece em ambientes como banheiros, cozinhas, garagens de pouca ventilação, presente sobre a superfície de um elemento construtivo;
- Imposta pela água do solo – É a umidade por capilaridade, que é a ação da água sobre os elementos das construções que estão em contato com bases alagadas ou solo úmido;
- Imposta pelo fluido sob pressão unilateral ou bilateral – É a água que atua em subsolos, caixas d'água, piscinas, exercendo força hidrostática.

Esta mesma norma apresenta os tipos de impermeabilização a serem adotados para cada solicitação, diante das várias opções apresentadas e que podem ser facilmente encontradas, apresenta-se as mais usuais, como segue:

Tabela 2.1 – Tipos de impermeabilização conforme a solicitação de água.

SOLICITAÇÃO DE ÁGUA	SISTEMA RÍGIDO DE IMPERMEABILIZAÇÃO	SISTEMA FLEXÍVEL DE IMPERMEABILIZAÇÃO
PERCOLAÇÃO	Argamassa impermeável com aditivo hidrófugo; argamassa modificada com polímero; argamassa polimérica; cimento modificado com polímero; membrana epoxídica. (A)	Membrana acrílica; membrana de polímero modificado com cimento; membrana de asfalto elastomérico em solução; membrana de asfalto modificado, sem adição de polímero; membrana de asfalto modificado com adição de polímero elastomérico; membrana elastomérica de estireno-butadieno-estireno (SBS); membrana elastomérica de policloropreno e polietileno clorossulfonado; membrana elastomérica de poliisobutileno-isopreno (IIR) em solução; membrana de emulsão asfáltica; membrana de poliuretano; membrana de poliuretano modificado com asfalto; membranas de poliuréia; manta asfáltica; manta de acetato de etilvinila (EVA); manta elastomérica de etilenopropilenodieno-monômetro (EPDM); manta elastomérica de poliisobutileno-isopreno (IIR); manta de policloreto de vinila (PVC); manta de polietileno de alta densidade (PEAD). (B)
CONDENSAÇÃO	(A)	(B) MAIS: membrana de asfalto elastomérico em solução. (C)
SOLO	(A)	(C) MENOS: membrana acrílica, membrana elastomérica de estireno-butadieno-estireno (SBS); membrana elastomérica de policloropreno e polietileno clorossulfonado; manta de acetato de etilvinila (EVA). (D)
PRESSÃO UNILATERAL OU BILATERAL	(A) MAIS: cimento cristalizante para pressão negativa.	(D)

Existem também sistemas semi-rígidos e semi-elásticos, os quais acompanham pequenas deformações das estruturas, sem apresentarem fissuras ou

rupturas. São recomendados para estruturas pouco flexíveis, após tratamento com sistema rígido.

Como sistema semi-rígido, pode-se citar o cimento Portland com adições minerais e emulsões de base acrílica (cimento-polímero) e, como sistema semi-elástico, é citado o epóxi-uretano (epóxi flexibilizado).

2.2.3 Recomendações para Impermeabilizações

A impermeabilização deve ser projetada de modo a:

- evitar a passagem indesejável de fluidos nas construções, pelas partes que requeiram estanqueidade, podendo integrar, ou não, outros sistemas construtivos, desde que observadas normas específicas de desempenho, que proporcionem as mesmas condições de impermeabilidade;
- proteger as estruturas, bem como componentes construtivos que porventura estejam expostos ao intemperismo, contra a ação de agentes agressivos presentes na atmosfera;
- proteger o meio ambiente de possíveis vazamentos ou contaminações, por meio da utilização de sistemas de impermeabilização;
- possibilitar, sempre que possível, a realização de manutenções da impermeabilização, com o mínimo de intervenção nos revestimentos sobrepostos a ela, de modo a ser evitada, tão logo sejam percebidas falhas nos sistemas impermeáveis, a degradação das estruturas e componentes do concreto, argamassas e revestimentos;
- proporcionar conforto aos usuários, sendo-lhes garantido a salubridade física.

O projeto básico de impermeabilização trata de um conjunto de informações gráficas e descritivas, que definem as soluções de impermeabilização a serem adotadas numa dada construção, de forma a atender as exigências de desempenho em relação à estanqueidade dos elementos construtivos e à durabilidade, frente à ação de fluidos, vapores e umidade. O projeto básico deve compatibilizar os demais

projetos de construção, de modo a equacionar adequadamente as interferências existentes entre todos os elementos e componentes construtivos. Pela sua característica, deve ser feito durante a etapa de coordenação geral das atividades de projeto e deve compor os documentos do projeto básico de arquitetura, definido na norma NBR 13532 (1995) ou, na ausência desses, deve compor o projeto executivo de arquitetura.

O projeto de impermeabilização é constituído de dois projetos que se complementam: projeto básico e projeto executivo.

O projeto básico de impermeabilização consta de informações gráficas, como plantas de locação com a devida identificação das impermeabilizações, e o devido detalhamento construtivo em conformidade com o projeto de arquitetura, de forma a equacionar as interferências existentes entre todos os elementos e componentes construtivos. E informações descritivas dos tipos de impermeabilização selecionados, para os diversos locais que necessitem impermeabilização.

O projeto executivo de impermeabilização consta de um conjunto de informações gráficas e descritivas que, baseado no projeto básico de impermeabilização, detalha genericamente e especifica integralmente e de forma inequívoca, todos os sistemas de impermeabilização a serem empregados numa dada construção, detalhando os materiais e suas camadas, descrevendo os procedimentos de execução e de segurança do trabalho, apresentando planilha de quantitativos de materiais e serviços e planilha de descrição de ensaios de campo e tecnológicos. Pela sua característica é um projeto especializado e pode ser feito após o projeto legal de arquitetura (PL-ARQ, conforme caracterizado na norma NBR 13532 (1995)).

O projeto de impermeabilização deve ser desenvolvido conjuntamente com o projeto geral e os projetos setoriais, onde serão indicadas as áreas a serem impermeabilizadas, o tipo de impermeabilização e o material impermeabilizante, levando em consideração os tipos de solicitações que o material irá sofrer e a análise, com precisão, da relação custo-benefício, quando da determinação do material impermeabilizante.

THOMAZ (2001), citando PICCHI (1986), recomenda o estudo preliminar de todas as interferências possíveis com os demais projetos (arquitetônico, estrutural, elétrico, hidráulico etc.) e a previsão de todos os detalhes construtivos necessários. Compatibilizações entre projetos devem ser providenciadas no caso de plantas muito recortadas; canaletas muito estreitas (que dificultam o acesso para os serviços de impermeabilização); tubulações embutidas ou sobrepostas a paredes, nas regiões de dobras da impermeabilização; disposição de tubos ou eletrodutos sobre lajes de cobertura (deixando espaço insuficiente para alojamento da camada de impermeabilização) etc.

MORAES (2002) refere que o detalhamento do projeto é fundamental para o melhor acompanhamento da equipe técnica durante a fase de aplicação, ou seja, o projeto será a linha mestra, tanto para a execução dos serviços, como para a fiscalização.

No caso de lajes de cobertura, segundo THOMAZ (2001), deve-se prever, no projeto, a disposição da isolamento térmica e da proteção da impermeabilização. RIPPER (1996) afirma que o isolamento térmico, além de proporcionar condições agradáveis aos ambientes sob as lajes, protege a laje de concreto armado das variações bruscas de temperatura ou da elevação de temperatura da própria laje, que podem provocar dilatações térmicas e, como consequência, trincas que podem causar ruptura da membrana de impermeabilização. De acordo com o mesmo autor, a camada de isolamento térmico normalmente é executada sob a impermeabilização, mas, quando possível, sua aplicação acima é uma melhor solução, pois protege os componentes da impermeabilização do calor e da radiação solar.

Para as lajes de cobertura, terraços e varandas, MORAES (2002) refere que deve ser previsto no projeto um desnível entre os ambientes internos e externos, além de ralos para escoamento da água da chuva. Contudo, segundo este autor, é muito comum encontrar projetistas que trabalham com cotas de acabamento sem observar as espessuras de regularização e impermeabilização. Essa falta de cuidado leva, geralmente, os ambientes externos (que recebem água de chuva) a ficarem quase na mesma cota das áreas internas, facilitando a infiltração da água. Um exemplo de detalhamento é ilustrado na Figura 2.1.

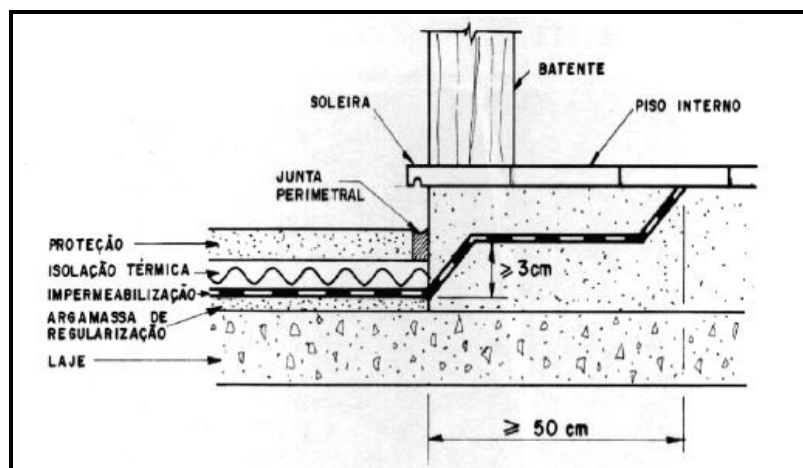


Figura 2.1 – Detalhe do encaixe da impermeabilização para dentro do cômodo interno e o desnível entre as áreas interna e externa – MORAES (2002).

A norma NBR 9575 (2003) recomenda que, nos locais limites entre as áreas externas impermeabilizadas e internas, haja diferença de cota de, no mínimo, 6 cm e seja prevista a execução de barreira física, no limite da linha interna dos contramarcos, caixilhos e batentes, para perfeita ancoragem da impermeabilização, com declividade para a área externa. Deve-se observar a execução de arremates e reforços adequados com o tipo de impermeabilização adotada e suas instalações e selamentos adicionais nos caixilhos, contramarcos, batentes e outros elementos de interferência.

Nas regiões de juntas de dilatação da estrutura, THOMAZ (2001) recomenda a adoção de pontes na impermeabilização (reforço), de forma que as movimentações sejam redistribuídas em áreas maiores.

Para o autor, o principal requisito para o bom desempenho das impermeabilizações é o eficiente sistema de drenagem da água, o que repercute na necessidade da adoção de caimentos adequados para as lajes; THOMAZ (2001), citando PIRONDI (1992), recomenda caimento mínimo de 1% para as lajes de cobertura ou lajes de piso.

De acordo com este mesmo autor, na impermeabilização com mantas sempre devem ser adotados cantos arredondados nos encontros com paredes e pilares, de modo a evitar a fissuração ou o rasgamento da manta. Nas emendas, as

sobreposições devem ser realizadas no sentido do caimento (manta a montante recobre a manta a jusante), com uma sobreposição de, no mínimo, 10cm.

THOMAZ (2001) refere que as infiltrações de água, através das impermeabilizações com mantas asfálticas, ocorrem, principalmente, nas regiões de dobras, concordâncias e emendas das mantas em degraus, soleiras e outros obstáculos. Assim sendo, o projeto deverá prever todos os detalhes construtivos de soleiras, tubos emergentes, rodapés, encontro com ralos e grelhas, encontro com platibandas e outros.

Nos encontros da impermeabilização com platibandas, em lajes expostas, o autor recomenda especial atenção às juntas de movimentação e às juntas de dessolidarização, nos encontros com as paredes, para evitar que a dilatação térmica do piso desloque as paredes laterais, induzindo rasgamento ou descolamento da manta.

A Figura 2.2 mostra o encontro da impermeabilização com uma mureta, onde alguns detalhes podem ser analisados:

- Os cantos arredondados no encontro com a mureta, para evitar a fissuração ou o rasgamento da manta;
- Embutimento da manta na parede;
- Junta de dessolidarização entre o piso e a parede, para evitar que a dilatação térmica do piso rasgue a manta, na confluência com a parede;
- Reforço do revestimento de parede com tela metálica galvanizada, para evitar a fissuração e destacamento do mesmo.

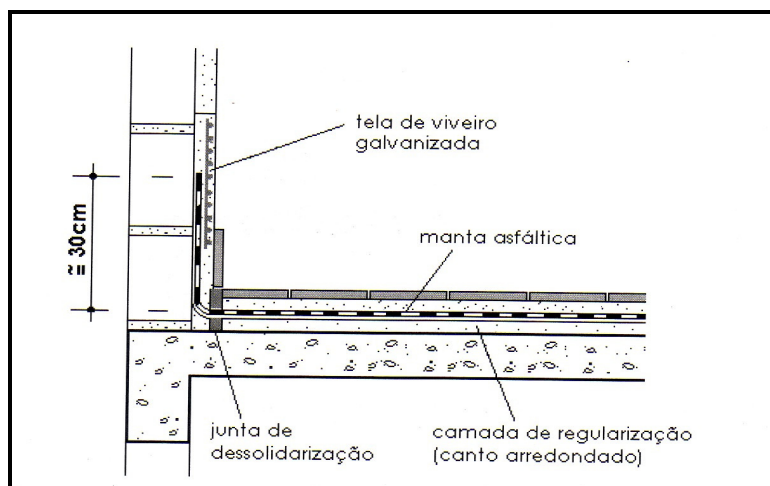


Figura 2.2 – Detalhe do encontro da impermeabilização com uma mureta – THOMAZ (2001).

Para proteção mecânica, os elementos estruturais devem possuir juntas de retração e trabalho térmico preenchidos com materiais deformáveis, principalmente no encontro de diferentes planos.

THOMAZ (2001) observa que, para as hastes (antenas, pára-raios) instaladas na laje de cobertura, bem como para quaisquer outros equipamentos, devem ser previstas bases apropriadas, de forma a evitar o puncionamento e/ou perfuração da impermeabilização resultante da posterior instalação desses equipamentos. Segundo o autor, esta é uma causa comum da infiltração de água nas lajes de cobertura dos prédios.

Em relação às tubulações de água, elétrica e gás e outras que possam passar paralelamente sobre a laje, essas devem ser executadas sobre a impermeabilização e nunca sob ela. As tubulações devem ser executadas, no mínimo, com 10 cm acima do nível do piso acabado, depois de terminada a impermeabilização e seus complementos.

Quando houver tubulações e tubulações de água quente embutidas, deve ser prevista proteção adequada para fixação da impermeabilização.

Com relação aos ralos, SABBATINI et al. (2003) recomendam os seguintes cuidados para o bom desempenho do sistema:

- Dimensionamento adequado para o rápido escoamento;

- Chumbamento correto;
- A camada de impermeabilização deve “virar” nos ralos;
- Tratamento específico (selamento, reforços);
- Previsão de arremate do revestimento.

Nas áreas internas, como banheiros, PIRES(2005), citando MING (2005), afirma que deve ser prevista a impermeabilização de toda a área, por se tratarem de áreas laváveis. Segundo os mesmos autores, é muito comum apenas a área do box ser impermeabilizada e, com isso, a área fora do box fica sujeita a possíveis infiltrações na lavagem do piso, uma vez que o revestimento cerâmico (piso) por si só não impede a passagem da água.

2.2.4 Composição dos Sistemas de Impermeabilização

Um sistema de impermeabilização é composto por:

1. Base: responsável na definição de algumas exigências do sistema de impermeabilização em função de: grau de fissuração; deformabilidade devida a cargas e movimentação térmica;
2. Camada de regularização: camada com as funções de: regularizar o substrato, proporcionando uma superfície uniforme de apoio adequado à camada impermeável; fornecer à camada impermeável uma declividade (mínimo 1%), quando esta for necessária (norma NBR 9575 (2003));
3. Camada de amortecimento: camada com função de absorver e dissipar esforços estáticos ou dinâmicos atuantes sobre a camada impermeável, de modo a protegê-la contra a ação deletéria destes esforços (norma NBR 9575 (2003)). É geralmente composta por areia, cimento e emulsão asfáltica; geotêxtil de poliéster ou polipropileno; emulsão asfáltica com borracha moída; poliestireno expandido ou extrudado (EPS);

4. Camada berço: camada com função de dar apoio à proteção da camada impermeável contra agressões provenientes do substrato. Geralmente é formada de adesivo elastomérico e asfáltico; geotêxtil de poliéster ou polipropileno; manta asfáltica; poliestireno expandido ou extrudado (EPS);
5. Camada impermeável: camada capaz de prover uma barreira contra a passagem de fluidos (norma NBR 9575 (2003));
6. Camada drenante: camada com função de promover o escoamento de fluidos. Geralmente é formada por geotêxtil e polipropileno;
7. Camada separadora: camada com a função de evitar a aderência de outros materiais sobre a camada impermeável (norma NBR 9575 (2003)). Geralmente é formada por papel kraft betuminado ou lâmina plástica pré-formada;
8. Proteção mecânica: camada com a função de absorver e dissipar os esforços estáticos ou dinâmicos atuantes sobre a camada impermeável, de modo a protegê-la contra a ação deletéria desses esforços. Geralmente é composta por argamassa; concreto; geotêxtil; metal; solo (norma NBR 9575 (2003));
9. Proteção térmica: camada com a função de reduzir o gradiente de temperatura atuante sobre a camada impermeável, de modo a protegê-la contra os efeitos danosos do calor excessivo. Geralmente é composta por concreto celular; lã de rocha; lã de vidro; mineral expandido; poliestireno; poliuretano (norma NBR 9575 (2003)).

2.3 PATOLOGIAS RELATIVAS À IMPERMEABILIZAÇÃO

2.3.1 Origens dos Defeitos (falhas) em Impermeabilização

As manifestações patológicas podem ser originadas nas etapas do processo construtivo, ou por má utilização e/ou manutenção. Neste trabalho serão enfatizados os problemas que ocorrem com mantas asfálticas.

PICCHI (1986) afirma que no Brasil, embora não se disponha de estatísticas precisas, estima-se que 80% dos problemas ocorridos com impermeabilizações possam ser atribuídos a falhas no detalhamento (encontro com ralos, encontro com tubos ou outros obstáculos emergentes, falta de arredondamento dos cantos nos encontros com muros e pilares etc.).

2.3.1.1 Defeitos Devido ao Projeto

Segundo MORAES (2002), a falta de um projeto de impermeabilização gera dificuldades na fiscalização dos serviços, na definição dos materiais a serem utilizados e nos detalhes da preparação do substrato, ocasionando infiltração em estruturas de concreto armado, corrosão em armaduras, comprometimento da habitabilidade, custos e transtornos aos usuários. De acordo com este autor, as origens dos defeitos devidos ao projeto podem ser:

1. Pela ausência do próprio projeto;
2. Pela interferência de outros projetos na impermeabilização;
3. Pela especificação inadequada de materiais;
4. Pela previsão de caimentos insuficientes em pisos molháveis;
5. Pela falta de previsão dos embutimentos verticais da camada de impermeabilização em paredes de ambientes molháveis;
6. Pela falta de dimensionamento e previsão do número de coletores pluviais para escoamento d'água;
7. Pela falta de previsão de desnível entre ambientes internos e externos;
8. Pela falta de isolamento térmico.

2.3.1.2 Defeitos Devido à Qualidade dos Materiais

PORCELLO (2003) ressalta que existem no Brasil diversos produtos impermeabilizantes, de qualidade e desempenho variáveis, de diversas origens e métodos de aplicação, normalizados ou não, que devem ter suas características

profundamente estudadas para a escolha de um sistema adequado de impermeabilização. O mesmo autor cita como exemplos: produtos utilizados em impermeabilização que sofrem degradação química do meio a que estão expostos, produtos de baixa resistência à água, produtos de baixa resistência a cargas atuantes, entre outros.

MORAES (2002), citando VICENTINI (1997), refere que os defeitos devido à má qualidade dos materiais ocorrem porque os técnicos não seguem corretamente as normas, utilizando materiais inadequados, adulterados e sem controle de qualidade.

A utilização de materiais inadequados, segundo o mesmo autor, pode trazer conseqüências para a edificação, tais como:

1. Danos à construção;
2. Danos à estrutura;
3. Danos funcionais;
4. Danos à saúde dos usuários;
5. Danos aos bens internos do imóvel;
6. Descrédito ao segmento da impermeabilização;
7. Grandes gastos para reparos totais;
8. Desvalorização do imóvel;
9. Necessidade de recuperação estrutural.

2.3.1.3 Defeitos Devido à Execução

Para THOMAZ (2001) as principais falhas de execução nas impermeabilizações com mantas asfálticas pré-fabricadas ocorrem nas emendas (sobreposição insuficiente, falta de pressão, contato direto com a chama) e, principalmente, nas dobras da impermeabilização, nas superfícies verticais (fixação

inadequada, inobservância de tela metálica na argamassa de revestimento e/ou proteção). MORAES (2002) ainda cita como falhas de execução:

1. Falta de argamassa de regularização, que pode ocasionar a perfuração da impermeabilização;
2. Não arredondamento de cantos e arestas, que pode levar à fissuração e ruptura da impermeabilização;
3. Execução da impermeabilização sobre a base úmida que, no caso de aplicações de soluções asfálticas, pode comprometer a aderência;
4. Execução da impermeabilização sobre base empoeirada, comprometendo a aderência;
5. Caimento para os coletores insuficiente, criando-se áreas de empoçamento d'água e favorecendo possíveis infiltrações;
6. Trânsito de carrinhos e pessoas sobre a impermeabilização recém aplicada, que pode ocasionar a sua perfuração.

2.3.1.4 Defeitos Devido à Má Utilização e/ ou Manutenção

Os defeitos devido à má utilização estão relacionados ao usuário. MORAES (2002) citando CANTU (1997) destaca:

1. Danos causados na obra, em função da colocação de peso excessivo (entulho, equipamentos etc.) sobre a impermeabilização;
2. Perfuração da impermeabilização, sem qualquer reparo, após a instalação de antenas, varais;
3. Troca de pisos;
4. Colocação de camada de brita sobre a cobertura, com o intuito de efetuar-se uma correção térmica, que, no entanto, pode ocasionar fissuras devido à sobrecarga da laje (caso não tenha sido prevista);

5. Instalação de jardineiras na cobertura, de modo a possibilitar a infiltração de água por cima do rodapé impermeabilizado.

2.3.2 Exemplos de Falhas de Manifestações Patológicas

Neste item serão apresentados alguns casos de falhas de projeto, execução e má utilização, estudados por MORAES (2002) e que conduziram a manifestações patológicas nas edificações.

A Figura 2.3 mostra um problema de execução, na região central, por insuficiência de transpasse, tendo como consequência, infiltração sob a manta do lado direito, evidenciada pelos enrugamentos e infiltrações no teto do pavimento inferior, conforme indica a foto seguinte.

A Figura 2.4 indica os diversos pontos de infiltração ao longo da viga, com destaque para as manchas escuras, que comprometem o aspecto estético, além de evidenciar um processo de corrosão das armaduras, podendo até comprometer estruturalmente a peça.

A Figura 2.5 mostra uma falha de execução da impermeabilização junto ao ralo. As infiltrações de água causaram a degradação da pintura e do revestimento.

A Figura 2.6 mostra uma falha de projeto. As tubulações passam rente à laje, não proporcionando espaço suficiente para execução da impermeabilização.

A Figura 2.7 indica um erro devido ao uso inadequado. A luminária foi instalada após a execução da impermeabilização, perfurando-a e comprometendo o sistema quanto a estanqueidade.



Figura 2.3 – Problema de transpasse em manta asfáltica – MORAES (2002).



Figura 2.4 – Infiltração junto à viga de concreto armado – MORAES (2002).



Figura 2.5 - Formação de mofo e degradação da pintura e do revestimento – MORAES (2002).



Figura 2.6 – Obstáculos para a impermeabilização – MORAES (2002).



Figura 2.7 – Fixação de luminária após a execução da impermeabilização – MORAES (2002).

3 Programa experimental

3.1 OBJETIVO E METODOLOGIA DO PROGRAMA EXPERIMENTAL

O objetivo do programa experimental é verificar, através de ensaios experimentais, a qualidade dos diferentes tipos de impermeabilizantes à base polimérica, selecionados para a pesquisa.

Para verificar a aderência do impermeabilizante ao substrato, realizou-se o ensaio de aderência, de acordo com a norma NBR 12171 (1992) e a norma NBR 13528 (1995).

Para verificar a deformabilidade do impermeabilizante, realizou-se o ensaio de alongamento, conforme a norma NBR 7462 (1992).

Para averiguar a durabilidade do impermeabilizante, foram realizados os ensaios de Resistência higrotérmica, desenvolvido pelo Laboratório de Conforto Ambiental, do programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil; e o ensaio de Envelhecimento acelerado com Na_2SO_4 , conforme a norma 88.26 (LNEC, 1971).

Para verificar se o impermeabilizante tem uma estanqueidade adequada, foi feito o ensaio de Absorção por Imersão, segundo a norma NBR 9778 (1987) e o ensaio de Absorção por Capilaridade, segundo a norma NBR 9779 (1995).

Para verificar a resistência do impermeabilizante, foram realizados os ensaios de Resistência à tração por compressão diametral, segundo a norma NBR 7222 (1994) e o de Resistência à compressão axial, segundo a norma NBR 7215 (1996).

3.2 DESCRIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS

3.2.1 Água

A água está presente nas edificações desempenhando um papel muito importante, por ser empregada na preparação de argamassas, concreto e outros materiais de construção.

A água na argamassa tem como função dar fluidez a esta, tornando-a trabalhável. Segundo HOPPE FILHO (2005), o desempenho da argamassa no revestimento será estreitamente ligado à quantidade de água de amassamento, de forma que seu excesso ou falta resultam em falhas que irão aparecer a curto, médio ou longo prazo. A água empregada deve ser límpida, não havendo em sua composição sais em excesso, além de não poder ser contaminada por substâncias como ácidos, gorduras ou outros elementos prejudiciais, que possam vir a causar danos à argamassa. A água da chuva não é conveniente, pois podem ocorrer reações ácidas.

Segundo SILVA (2006), a água quando misturada com aglomerantes e agregados, reage de forma física e química com estes materiais, conferindo coesão e trabalhabilidade à argamassa. Fisicamente, a água provoca fenômenos de absorção (fixação das moléculas de uma substância na superfície de outra) e, quimicamente as reações que resultarão na aglutinação e na pega dos materiais.

Recomenda-se que a água apresente pH entre 5,8 e 8,0 e esteja isenta de teores prejudiciais de substâncias estranhas, como sais nocivos (cloretos de sódio, magnésio ou sulfatos) e substâncias orgânicas. Neste trabalho fez-se uso de água potável, proveniente da rede de abastecimento local.

3.2.2 Areia

A areia é um agregado miúdo de origem natural (encontrado na natureza: jazidas, leitos dos rios, mar) ou artificiais, que são aqueles que necessitam de um trabalho para poderem chegar à condição necessária e apropriada para seu uso (resultante da extração: areia artificial), ou mistura de ambas, seus grãos passam pela peneira ABNT 4,8 mm e ficam retidos na peneira ABNT 0,075 mm (NBR 7211

(1983)), sendo a composição granulométrica determinada de acordo com a NBR NM 248 (2001), com peneiras definidas pela NBR 5734 (1988).

A areia, de acordo com sua dimensão nominal, pode ser:

- Grossa: Aquela compreendida entre 0,2 mm e 1,20 mm;
- Média: Aquela compreendida entre 1,20 mm e 0,42 mm;
- Fina: Aquela compreendida entre 0,42 mm e 0,075 mm.

Toda areia utilizada nos materiais de construção não deve conter impurezas, como micas (biolita ou muscovita), materiais carbonosos, materiais pulverulentos, grãos de minerais em estágio de alteração, como feldspato evoluindo para o caolim, matéria orgânica (folhas, raízes, caules), partículas friáveis, torrões de argila, granulometria corrida e finos, não mais que 10%, menores que 0,075 cm (peneira 200). Em virtude disso, são realizados ensaios nos agregados para caracterizá-los e evitar que contenham essas substâncias indesejáveis, prejudiciais ao desempenho dos materiais de construção.

É importante realizar uma análise granulométrica em observância à norma NBR 7217 (1987) da areia, de forma a caracterizá-la, analisar a forma adequada dos grãos, sua uniformidade e módulo de finura, visando diminuir a ocorrência de problemas, que podem ser estéticos ou pelo aparecimento de manifestações patológicas.

As conclusões de TRISTÃO (1995), a respeito da influência da granulometria dos agregados nas argamassas, ditam que as areias classificadas como uniforme, média ou desuniforme apresentam menores volumes de vazios que as areias classificadas como muito uniformes. Sendo considerado que o tamanho dos vazios é influenciado também e de forma proporcional ao tamanho dos grãos, quanto maior o tamanho dos grãos, maior será também o tamanho de cada um desses vazios.

Logo, a areia empregada nos materiais de construção deve ter granulometria variada, visando diminuir o índice de vazios e evitar a ocorrência de problemas, proporcionando uma menor absorção, maior resistência e durabilidade.

CARNEIRO (1999) afirma que para caracterização da areia, algumas vezes utiliza-se também o coeficiente de uniformidade, que traduz uma continuidade na distribuição granulométrica da areia. Segundo o mesmo autor, coeficiente de uniformidade é definido como sendo a relação entre os diâmetros correspondentes à abertura da malha pela qual passam 60 % e 10 %, em massa, de areia.

Segundo CARNEIRO et al (1997), a areia de granulometria muito uniforme, independentemente do formato dos grãos, compromete a trabalhabilidade da argamassa. Ainda, segundo o mesmo autor, há um conseqüente enrijecimento, impedindo o deslizamento dos grãos de areia entre si, com demanda de um maior consumo de pasta.

De acordo com SELMO (1989), os intervalos adotados para o módulo de finura (MF) para classificação das areias são:

Tabela 3.1 – Classificação das areias em relação ao módulo de finura.

Módulo de finura (MF)	Classificação das areias
$MF < 2,0$	Areia fina
$2,0 < MF < 3,0$	Areia média
$MF > 3,0$	Areia grossa

A norma NBR 7211 (1983) classificava os limites granulométricos para agregado miúdo da seguinte forma:

Tabela 3.2 - Limites granulométricos para agregado miúdo.

PENEIRA ABNT	PORCENTAGEM, EM PESO, RETIDA ACUMULADA NA PENEIRA ABNT, PARA A			
	ZONA 1 (muito fina)	ZONA 2 (fina)	ZONA 3 (média)	ZONA 4 (grossa)
9,5 mm	0	0	0	0
6,3 mm	0 a 3	0 a 7	0 a 7	0 a 7
4,8 mm	0 a 5 (a)	0 a 10	0 a 11	0 a 12
2,4 mm	0 a 5 (a)	0 a 15(a)	0 a 25(a)	5(a) a 40
1,2 mm	0 a 10 (a)	0 a 25(a)	10(a) a 45(a)	30(a) a 70
0,6 mm	0 a 20	21 a 40	41 a 65	66 a 85
0,3 mm	50 a 85(a)	60(a) a 88(a)	70(a) a 92(a)	80(a) a 95
0,15 mm	85(b) a 100	90(b) a 100	90(b) a 100	90(b) a 100

(a) Pode haver uma tolerância de até um máximo de cinco unidades de por cento em um só dos limites marcados com a letra a ou distribuídos em vários deles.

(b) Para agregado miúdo resultante de britamento, este limite pode ser 80.

Atualmente, a norma revisada NBR 7211 (2005) classifica limites de utilização para o agregado miúdo conforme o módulo de finura:

Tabela 3.3 – Classificação do limite de utilização, em relação ao módulo de finura.

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada			
	Limites inferiores		Limites superiores	
	Zona utilizável	Zona ótima	Zona ótima	Zona utilizável
9,5 mm	0	0	0	0
6,3 mm	0	0	0	7
4,75 mm	0	0	5	10
2,36 mm	0	10	20	25
1,18 mm	5	20	30	50
600 µm	15	35	55	70
300 µm	50	65	85	95
150 µm	85	90	95	100

NOTAS

1 O módulo de finura da zona ótima varia de 2,20 a 2,90.

2 O módulo de finura da zona utilizável inferior varia de 1,55 a 2,20.

3 O módulo de finura da zona utilizável superior varia de 2,90 a 3,50.

De acordo com a classificação de SELMO (1989), o agregado miúdo que se encontra na zona utilizável inferior pode ser considerado como areia fina; aquele que se encontra na zona ótima é uma areia média e aquele que se encontra na zona utilizável superior é uma areia grossa.

O módulo de finura do agregado miúdo não deve variar em mais de 0,2 para o material de uma mesma origem.

Adotou-se areia adquirida em casa idônea do ramo da construção, proveniente de rios, sendo sua utilização considerada ideal, devido a sua forma arredondada, fruto do processo de rolamento junto com a água, que facilitam a mistura, reduzindo a necessidade de água. (SILVA, 2006; NAPPI, 2002).

A areia antes de ser utilizada foi seca em estufa, à temperatura de 105 +/- 5 °C, por um período de 24 horas.

Após este período ela foi peneirada (peneira de # 4,8 mm), para retirar os grãos graúdos.

3.2.3 Brita

A brita é um agregado graúdo de origem artificial ou seja, necessita de um trabalho para chegar à condição necessária e apropriada para uso (proveniente do britamento de rochas estáveis, cujos grãos passam pela peneira de malha quadrada, de abertura nominal de 100 mm e ficam retidos na peneira ABNT 4,8 mm (norma NBR 7211 (1983)), cuja composição granulométrica é determinada de acordo com a norma NBR NM 248 (2001), cujas peneiras são definidas pela norma NBR 5734 (1988).

A pedra britada é obtida por peneiração e numerada de acordo com as dimensões nominais descritas na norma NBR 7225 (1993), conforme tabela abaixo:

Tabela 3.4 - Classificação de acordo com as dimensões nominais.

PEDRA BRITADA NUMERADA	TAMANHO NOMINAL	
	ABERTURAS DE PENEIRAS DE MALHAS QUADRADAS (mm)	
	MÍNIMA	MÁXIMA
1	4,8	12,5
2	12,5	25
3	25	50
4	50	76
5	76	100

Toda brita utilizada nos materiais de construção não deve conter impurezas, como micas (biolita ou muscovita), materiais carbonosos, materiais pulverulentos, grãos de minerais em estágio de alteração, como feldspato evoluindo para o caolim, matéria orgânica (folhas, raízes, caules), partículas friáveis, torrões de argila. Em virtude disso, são realizados ensaios nos agregados para caracterizá-los e evitar que contenham essas substâncias indesejáveis, prejudiciais ao desempenho nos materiais de construção.

É importante realizar uma análise granulométrica, em observância à norma NBR 7217 (1987) da brita, de forma a caracterizá-la.

A norma NBR 7211 (1983) classificava os limites granulométricos para agregado graúdo da seguinte forma:

Tabela 3.5 - Limites granulométricos de agregado graúdo.

GRADUAÇÃO	PORCENTAGEM RETIDA ACUMULADA, EM PESO, NAS PENEIRAS DE ABERTURA NOMINAL, EM mm, DE												
	152	76	64	50	38	32	25	19	12,5	9,5	6,3	4,8	2,4
0									0	0-10		80-100	95-100
1							0	0-10		80-100	92-100	95-100	
2						0	0-25	75-100	90-100	95-100			
3				0	0-30	75-100	87-100	95-100					
4		0	0-30	75-100	90-100	95-100							
5(a)													

(a) As porcentagens são fixadas de acordo com o indicado em 1.4.

Atualmente a norma NBR 7211 (2005) apresenta os limites de composição granulométrica do agregado graúdo da seguinte forma:

Tabela 3.6 – Limites de composição granulométrica do agregado graúdo.

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada				
	Zona granulométrica $d/D^{1)}$				
	4,75/12,5	9,5/25	19/31,5	25/50	37,5/75
75 mm	-	-	-	-	0 – 5
63 mm	-	-	-	-	5 – 30
50 mm	-	-	-	0 – 5	75 – 100
37,5 mm	-	-	-	5 – 30	90 – 100
31,5 mm	-	-	0 – 5	75 – 100	95 – 100
25 mm	-	0 – 5	5 – 25 ²⁾	87 – 100	-
19 mm	-	2 – 15 ²⁾	65 ²⁾ – 95	95 – 100	-
12,5 mm	0 – 5	40 ²⁾ – 65 ²⁾	92 – 100	-	-

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada				
	Zona granulométrica $d/D^{1)}$				
	4,75/12,5	9,5/25	19/31,5	25/50	37,5/75
9,5 mm	2 – 15 ²⁾	80 ²⁾ – 100	95 – 100	-	-
6,3 mm	40 ²⁾ – 65 ²⁾	92 – 100	-	-	-
4,75 mm	80 ²⁾ – 100	95 – 100	-	-	-
2,36 mm	95 – 100	-	-	-	-

¹⁾ Zona granulométrica correspondente à menor (d) e à maior (D) dimensões do agregado graúdo.

²⁾ Em cada zona granulométrica deve ser aceita uma variação de no máximo cinco unidades percentuais em apenas um dos limites marcados com 2). Essa variação pode também estar distribuída em vários desses limites.

O índice de forma dos grãos do agregado não deve ser superior a 3, quando determinado de acordo com a norma NBR 7809 (1983).

O índice de desgaste por abrasão “Los Angeles”, determinado segundo a norma NBR NM 51 (2001), deve ser inferior a 50%, em massa, do material.

Fez-se uso das britas 1 (dimensão máxima característica de 25 mm – NBR 7211 (2005)) e 2 (dimensão máxima característica de 31,5 mm – NBR 7211 (2005)).

As britas, antes de serem utilizadas, foram secas em estufa, à temperatura de 105°C +/- 5 °C, por um período de 24 horas. A seguir foram peneiradas, de forma a remover poeira e matéria orgânica presentes na mesma, conforme ilustra a figura abaixo.



Figura 3.1 - Peneiramento da brita 1.

3.2.4 Cimento Portland

Cimento - O cimento pode ser definido como um material na forma de pó finamente dividido, com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece sob a ação de água.

O cimento Portland pode ser considerado o material mais utilizado nas construções, servindo para aglomeração de argamassas, grautes, concretos e nas aplicações das impermeabilizações, aglutinando camadas de regularizações e proteções mecânicas.

Ao mesmo tempo, o cimento Portland pode ser utilizado na formação de sistemas de impermeabilização, como aquele formado por membrana moldada “in loco”, após mistura com substâncias poliméricas.

O cimento tipo Portland é um aglomerante hidráulico, obtido da moagem de um produto chamado clínquer, ao qual é adicionado gipsita (CaSO_4) e do sulfato de cálcio na forma de gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), hemidrato ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$), anidrita, sulfato de cálcio (CaSO_4), ou uma mistura de dois ou três deles.

O clínquer é obtido do aquecimento a altas temperaturas (cerca de 1400°C num forno rotativo, tal processo denomina-se calcinação e produz mudanças físicas e químicas nas matérias primas) de uma mistura de calcário e argila, segundo dosagem, homogeneização e moagem, juntamente com adições prévias para correção da mistura de matérias-primas, contendo os óxidos de cálcio (CaO), de

silício (SiO_2), de alumínio (Al_2O_3) e de ferro (Fe_2O_3), como a areia e o minério de ferro. Trata-se do produto final de uma tecnologia de piroprocessamento, que transforma matérias-primas em fases de silicatos de cálcio (gesso) e de aluminato de cálcio e ferro. O clínquer do cimento Portland sai do forno como uma mistura de duas fases de silicatos bem cristalizados, C_3S (silicato tricálcio - $3\text{Ca}.\text{SiO}_2$) e C_2S (silicato dicálcio - $2\text{CaO}.\text{SiO}_2$) e uma fase intersticial, composta de C_3A (aluminato tricálcio - $3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$) e C_4AF (ferro aluminato tetracálcio - $4\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{Fe}_2\text{O}_3$), mais ou menos cristalizada e umas poucas impurezas, como MgO (periclásio), CaO (óxido de cálcio calcinado) e sulfatos alcalinos. O papel do sulfato de cálcio é controlar a hidratação inicial do cimento. Na sua ausência, o clínquer sofre uma pega instantânea, que provoca endurecimento da mistura, uma vez que o C_3A reage rapidamente com a água, para formar aluminato de cálcio hidratado. Quando o sulfato de cálcio é misturado com o clínquer, o C_3A reage com ele e com a água na formação de etringita, inibindo a reação do C_3A com a água, de modo que o concreto possa ser transportado e lançado sem perda de trabalhabilidade (adaptado de VELASCO, 2002).

Vários constituintes diferentes são encontrados no cimento Portland, o principal deles sendo o silicato tricálcico ($3\text{CaO}.\text{SiO}_2$) e silicato dicálcico ($2\text{CaO}.\text{SiO}_2$).

Desta forma o cimento Portland é formado essencialmente de silicatos cálcio hidráulicos, usualmente com uma ou mais formas de sulfato de cálcio, como um produto de adição. Os constituintes fundamentais do cimento Portland são a cal (CaO), a sílica (SiO_2), a alumina (Al_2O_3), o óxido de ferro (Fe_2O_3), magnésita (MgO) e uma pequena porcentagem de anidrido sulfúrico (SO_3) (ASTM, C 150 -07). Outros minerais surgem como impurezas.

Tabela 3.7- Composição química típica do cimento Portland (NEVILLE, 1988)

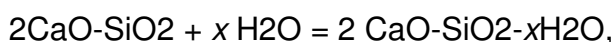
TEOR DE ÓXIDOS			TEOR DE COMPOSTOS		
CaO	63	66(a)	C3S	1 a 54	45 a 60(b)
SiO ₂	20	22(a)	C2S	6 a 16	45 a 60(b)
Al ₂ O ₃	6	5(a)	C3A	8 a 10	6 a 12(b)
Fe ₂ O ₃	3	3(a)	C4AF	1 a 9	6 a 8(b)
MgO	1,5				
SO ₃	2				
K ₂ O	1				
Na ₂ O					
Outros	1				
Perdas na ignição	2				
Resíduos insolúveis	0,5				

(a)JOHN (1995)

(b) METHA e MONTEIRO (1994)

As propriedades do cimento Portland, incluindo o tempo de cura e a resistência mecânica final, num grande grau depende de sua composição. O cimento Portland é denominado um cimento hidráulico porque sua dureza se desenvolve por reações químicas com água.

A cura e o endurecimento deste material resulta de reações de hidratação, relativamente complicadas, que ocorrem entre os vários constituintes do cimento e a água que é adicionada. Por exemplo, uma reação de hidratação envolvendo silicato dicálcico é como se segue:



onde x é variável e depende da quantidade de água disponível. Estes produtos hidratados estão na forma de géis complexos ou substâncias cristalinas, que formam a ligação cimentícia. Reações de hidratação começam logo quando água é adicionada ao cimento. Estas se manifestam, primeiramente, como cura (isto é, o enrijecimento da pasta até então plástica), que ocorre logo após a mistura, usualmente dentro de várias horas. Endurecimento da massa segue como um resultado de hidratação adicional, um processo relativamente lento que pode continuar por um tempo tão longo quanto vários dias.

Dever-se-ia enfatizar que o processo pelo qual o cimento endurece não é secagem, mas, em vez disso, hidratação, na qual água realmente participa numa reação de ligação química.

O cimento Portland, depois de misturado com a água, hidrata-se, resultando numa pasta com propriedades aglutinantes e adesivas. Durante a hidratação, a pasta formada sofre uma série de reações químicas, promovendo o seu endurecimento irreversível, tendo como resultado a formação de uma massa mecanicamente resistente.

A hidratação do cimento resulta em três elementos principais, que caracterizam a pasta de cimento endurecida:

- C-S-H: que representa, segundo METHA e MONTEIRO (1994), 50 a 60% do volume de sólidos em uma pasta de cimento Portland totalmente hidratada. Estes compostos são responsáveis pela resistência da pasta e esforços mecânicos. A morfologia de suas placas varia de fibras pouco cristalinas a uma malha reticulada (MONTEIRO, 1985) (DAL MOLIN, 1995);

- Ca(OH)_2 : ocupa de 20 a 25% dos volumes de sólidos da pasta completamente hidratada (METHA e MONTEIRO, 1994). Apresenta morfologia bem definida, formando cristais prismáticos, sendo que o tamanho dos cristais aumenta, conforme aumenta o espaço livre (aumento da relação água-cimento). O hidróxido de cálcio contribui pouco para a resistência da pasta de cimento endurecida e, devido a sua baixa superfície específica, confere um baixo poder de adesão, sendo facilmente carregado. Como único aspecto positivo da presença de hidróxido de cálcio é a alcalinidade conferida ao meio, responsável pela passivação das armaduras (DAL MOLIN, 1995);

- Sulfoaluminatos de Cálcio: que ocupam, segundo METHA e MONTEIRO (1994), 15 a 20% do volume de sólidos da pasta hidratada. Os principais compostos são a entrigita e o monossulfato de cálcio.

As principais propriedades do cimento Portland são: finura, expansibilidade, tempo de pega, calor de hidratação, resistência à compressão, perda ao fogo, massa específica e tonalidade.

Os principais e diferentes tipos de cimento Portland comercializados no Brasil são normatizados pela ABNT, possuem suas composições diferenciadas, conforme o tipo e percentual de adições e grau de moagem, e podem ser agrupados em

cimento Portland dos tipos comum, composto, de alto-forno, pozolânico, de alta resistência inicial, resistente a sulfatos, branco (comum ou estrutural), de baixo calor de hidratação, para poços petrolíferos, de alta resistência inicial, resistente a sulfatos, com sílica ativa.

Os cimentos Portland normalizados são designados pela sigla e pela classe de resistência. A sigla corresponde ao prefixo CP, acrescido do algarismo romano II, III, IV e V, sendo as classes de resistências indicadas pelos números 25, 32 e 40.

As classes de resistência apontam os valores mínimos de resistência à compressão (expressos em megapascal - MPa), garantidos pelos fabricantes, após 28 dias de cura.

O cimento utilizado no desenvolvimento desta pesquisa foi o CP 32 F com garantia de que suas propriedades físicas atendem às normas da ABNT. O seu armazenamento ocorreu em local seco, sendo os sacos de 50 kg revestidos com sacos plásticos, para garantir que não houvesse contato com a umidade.

3.2.5 Produto Impermeabilizante

O produto utilizado é uma dispersão aquosa (látex acrílico, na forma de emulsão), comercializado em barricas de 25 e 50 Kg, formulado a partir de um copolímero de éster de ácido acrílico, estireno e aditivos. Tem como componentes químicos principais: Acrilato de Butila, Butadieno e Estireno.

Como propriedades físicas e químicas possui:

1. Estado físico: líquido;
2. Cor: branco;
3. Sólidos: 50 + / 2%;
4. pH: 7,0 a 9,0;
5. Densidade: 1,00 + / 0,05 g/cm³;
6. Viscosidade: 500 a 1500 cps (Brookfield RVT 3/20).

Já em relação à mudança de estado, têm-se as seguintes características:

1. Ponto de fusão: 0º C (água);
2. Ponto de ebulição (1013 mbar): 100ºC (água);
3. Pressão de vapor: (20ºC) 23 mbar;
4. Solubilidade em água: miscível.

Como vantagens do produto impermeabilizante pode-se citar:

1. Sistema aniônico (remove ânions como sulfatos, cloretos) – permitindo uma compatibilidade química, com perfeito entrosamento entre polímero e cimento, não sendo apenas uma mistura;
2. Isento de plastificantes, o que garante uma flexibilidade permanente no sistema;
3. Por ser acrílico, diferencia – se dos demais sistemas poliméricos, garantindo maior durabilidade.

Foram tomados cuidados em relação ao manuseio, de forma a evitar contato do produto com a pele e os olhos. E cuidados em relação ao armazenamento, de forma a armazenar o produto em local fresco, seco e bem ventilado. Quando não estava sendo utilizado, foi mantido fechado, de forma a evitar a evaporação de água e conseqüentes reações químicas.

3.2.6 Sisal

O sisal é uma fibra extraída de folhas da planta exótica (estrangeira), da família das Amarilidáceas, denominada botanicamente de *Agave Sisalana* Perrine, sendo a espécie de *Agave* mais cultivada no mundo. É uma planta caulescente e estonífera. O caule pode atingir até 2 m de altura, produzindo folhas estreitas e compridas, de cor verde lustrosa, lanceoladas, com 10 a 15 cm de largura e 120 cm a 160 cm de comprimento, com terminação em espinho cinzento e escuro e flores amarelo-verde, com 60 a 65 cm de comprimento.



Figura 3.2 - Folhas do Sisal, recolhidas e transportadas no lombo de jumento.

Artesanato Potiguar: A Trama da Tradição e da Beleza – SEBRAE/RN

Fotografia: Giovanni Sérgio

A *Agave Sisalana* é uma monocotiledônea originária da América Central da parte oriental da Península de Yucatán, México, tendo recebido esse nome de uma erva nativa chamada *Zizal-Xiu*, denominação dada também a um povoado e ao porto por onde a fibra era exportada para mercados externos (MEDINA, 1959).

Atualmente, esta cultura está expandida em muitos países, tais como: Bolívia, Equador, Colômbia, Panamá, Peru, Venezuela, Itália, Espanha e Brasil.

O gênero *Agave* apresenta elevada capacidade de produção de fibra e é extremamente resistente à seca. A propagação convencional desta cultura é dirigida, principalmente, por rebentos produzidos no colo da planta (DAS, 1992). Além disto, já existem descritos na literatura diversos trabalhos de cultivo in vitro de várias espécies de *Agavaceae*, com a idéia de desenvolver métodos mais rápidos e eficientes de propagação (ROBERT et al., 1987; POWERS et al., 1988; BHIN et al., 1990; DAS, 1992).

O sisal é uma fibra ligno-celulósica leve e atóxica, que apresenta alto módulo e resistência específica, custa aproximadamente dez vezes menos que a fibra de vidro e, ao contrário desta fibra inorgânica, causa menos danos por abrasão aos equipamentos e moldes. Entre outras vantagens do sisal, pode-se apontar a facilidade de modificação superficial, característica das fibras vegetais, sua

abundância no Brasil, facilidade de cultivo, o fato de ser um material biodegradável, que provém de fonte renovável e apresentar boas propriedades como isolante térmico e acústico.

A microestrutura helicoidal do sisal é responsável por um mecanismo de falha diferenciada de outras fibras vegetais, sendo que os compósitos reforçados por sisal apresentam trabalho de fratura similar ao de compósitos de polietileno, de altíssimo peso molecular, reforçado por fibras de vidro (JOSEPH et al, 1999, BISANDA e ANSELL, 1992, BAI et al, 1998 e 1999). A versatilidade das fibras de sisal, que se adequam aos diferentes processos de conformação de compósitos,, tais como enrolamento de filamentos, laminação, moldagem por transferência de resina (RTM), extrusão, injeção etc, torna esse material potencialmente importante no desenvolvimento de novos compósitos.

A Tabela 3.8 apresenta a compilação de características físicas e mecânicas da fibra de sisal, segundo SAVASTANO JUNIOR et al. (1994).

Tabela 3.8 - Características físicas e mecânicas da fibra de sisal.

Propriedades	Massa Esp. Real (kg/m ³)	Absorção Máxima (%)	Alongamento na Ruptura (%)	Resistência à tração (MPa)	Módulo de Elasticidade (GPa)	Vol. de Vazios Permeáveis (%)
Sisal	1370	110	4,9 a 5,4	347 a 378	15,2	60,9

A Tabela 3.9 apresenta as propriedades mecânicas da fibra de sisal usada como reforço, segundo BLEDZKI e GASSAN (1999).

Tabela 3.9 – Propriedades mecânicas da fibra de sisal.

Fibra	Densidade (g/cm ³)	Alongamento (%)	Resistência à Tração (MPa)	Módulo de Elasticidade (GPa)
Sisal	1,5	2,0-2,5	511-635	9,4-22,0

Na Tabela 3.10 estão apresentadas as propriedades físicas e mecânicas da fibra de sisal, obtidas por TOLEDO FILHO (1997).

Tabela 3.10 – Valores típicos das propriedades das fibras de sisal.

Propriedade	Mín - Máx
Massa Específica (g/cm ³)	0,75 - 1,07
Resistência à tração (MPa)	227,80 - 1002,30
Módulo de Elasticidade (GPa)	10,94 - 26,70
Deformação na ruptura (%)	2,08 - 4,18
Absorção de água até a saturação (%)	190,00 – 250,00
Diâmetro (mm)	0,08 - 0,30

O Gráfico 3.1 apresenta análises termogravimétricas e térmica diferencial de uma fibra de sisal. Observa-se um pico inicial entre 60 e 100°C, que corresponde à vaporização da água na amostra. Após esse pico, a curva exibe dois passos de decomposição. A primeira decomposição, a cerca de 310°C, é devido à despolimerização térmica da hemicelulose (perda de massa de 12%) e a segunda decomposição ocorre a 365°C, devido à decomposição da α -celulose (perda de massa de 65%).

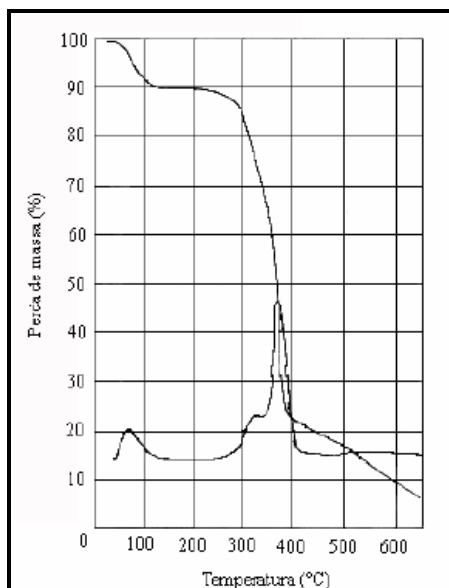


Gráfico 3.1 – Análises termogravimétrica e térmica diferencial da fibra de sisal (ALBANO et al. 1999).

Conforme RESENDE (2003), as fibras de sisal, como as fibras vegetais em geral, constituem-se basicamente, de celulose, hemicelulose e lignina.

A Tabela 3.11 apresenta a composição da fibra de sisal, segundo REDDY e YANG (2005), BLEDZKI e GASSAN (1999), KHEDARI et al. (2005), TOLEDO FILHO et al. (2004), VAN DAM et al. (2004).

Tabela 3.11 – Composição da fibra de sisal.

Fonte de Fibra	Celulose (%)	Hemicelulose (%)	Lignina (%)	Pectina (%)	Cinza (%)	Água (%)
Sisal	65,8	12,0	9,9	0,8	NA	10,0

As fibras de sisal apresentam altos percentuais de celulose, sendo indicadas para o uso como material de reforço em compósitos. Possuem, também, percentuais elevados de lignina, o que agrega um comportamento adicional de fortalecimento das ligações internas dos compósitos, principalmente daqueles submetidos a processos de aquecimento. (PASSOS, P. R. A., 2005).

Do ponto de vista anatômico, as fibras de sisal se inserem na categoria “estrutural”, cuja função é dar sustentação e rigidez às folhas. Quando se procede à extração, as fibras surgem na forma de feixes, variando em comprimento, desde 40 cm, até 2m (média de 1,2m), mais espessas na base, de seção angular ou quase cilíndrica, de coloração branco-creme (MATTOSO et. al., 1997); (MEDINA, 1954).

As fibras constituem-se de um agrupamento de numerosas e pequenas células individualizadas (fibrilas), conectadas entre si devido à ação da pectina. As fibras distribuem-se ao longo da direção longitudinal ao comprimento da folha. Seu comprimento é função da posição ocupada na folha ou do método utilizado para a sua extração (MEDINA, 1959).

Cada fibra é composta de um ou mais feixes fibrosos, os quais, por sua vez, são constituídos de um grande número de células, justapostas e intimamente ligadas por uma substância de natureza péctica, que não se separa durante as operações de manufatura. Como essas fibras são espessas, ásperas e rígidas, classifica-se no grupo das fibras denominadas “duras” ou vasculares, distinguindo-se do grupo das fibras “macias” ou liberianas (juta, rami, cânhamo, linho) que são de constituição mais fina, macia e flexível (MEDINA, 1954).

O sisal apresenta estabilidade térmica limitada, já que as fibras vegetais são suscetíveis ao desenvolvimento de reações de degradação, se expostas a altas temperaturas, embora sejam menos danificadas do que as fibras de carbono ou de vidro durante os processos de mistura. Além disso, já que o teor de lignina e de celulose varia com a idade da planta, entre outros fatores, as fibras podem apresentar diferentes propriedades, e diâmetro variável, até em um mesmo lote. Dependendo do tipo de extração (mecânica ou química), o sisal pode apresentar diferentes características, além de ser suscetível ao ataque microbiológico, se não for protegido por aditivos. A rápida absorção de água e a biodegradabilidade do sisal podem representar características vantajosas na produção de compósitos poliméricos, podendo ter seu valor agregado multiplicado, se utilizado como reforço de compósitos poliméricos. (SELZER, 1995; CHAND e JOSHI, 1994; COSTA e DÁLMEIDA, 1999).

Os resíduos de sisal de maior interesse comercial são: bucha verde de campo (já separada do bagaço) e bucha de máquina da produção de *baler twine* (fio agrícola à base de sisal).

A fibra de sisal é usada para fins comerciais. Após seu beneficiamento pode ser destinada a indústria de cordões, cordas, barbantes, cabos marítimos e de elevadores, capachos, tapetes, carpetes, estofamentos, artesanatos, vassouras, sacos, bolsas, chapéus, tecidos, revestimento para paredes, adubos orgânicos, cêra, plásticos, gorduras, glucosídios, álcool, ácidos, esteróide, forragem, celulose para papel Kraft (de alta resistência), papel fino (para cigarro, filtro, papel dielétrico, absorvente higiênico, fralda, etc), mucilagem para alimentação animal, fios de qualidade superior, e outros e novos usos, como para utilização na indústria automotiva, de móveis, de eletrodomésticos, de geotêxteis (proteção de encostas, na agricultura e revestimento de estradas), na mistura com polipropileno, em substituição à fibra de vidro (composição de objetos plásticos) e na construção civil.

Os subprodutos do sisal, que hoje praticamente não são aproveitados, podem ter inúmeras utilizações. Cite-se a possibilidade de utilização da mucilagem, como complemento alimentar para rebanhos bovinos e caprinos; a bucha, como adubo orgânico e o suco, que é rico em hecogenina, fármaco que serve como medicamento e pode ser utilizado como bioinseticida, no controle de lagartas (quando no primeiro

instar), de nematóides e carrapatos, como sabonete e pasta cicatrizante. O substrato resultante do processamento do sisal também pode ser aproveitado para o cultivo de cogumelos comestíveis (SILVA, 2004; FAPESB, 2002).

Tabela 3.12 – Usos possíveis do sisal (GUIMARÃES, et al.,2006).

PRODUTOS		USOS
3% a 5% da planta	FIBRAS	Cordoalha, Tapetes, mantas, bolsas e outros artefatos
		Indústria automobilística, construção civil
95% a 97% da planta	BUCHA*	Celulose, papel Kraft,
		Indústria automobilística, construção civil
	MUCILAGEM	Ração animal
	SUÇO	Aguardente, álcool, ração animal, acetona, cera
		Pectina (fabricação de geléias), cortisona vegetal

*Resíduos do processo de beneficiamento da fibra

O sisal foi introduzido no Brasil em 1903, na Bahia, cujas primeiras mudas vieram da Flórida, EUA. Em 1911 foram enviadas as primeiras mudas de sisal, da Bahia para o Estado da Paraíba. Mas, inicialmente, foi somente na Paraíba (em 1937 / 1938) e na Bahia (em 1939 / 1940) que houve expansão da cultura em base econômica, por causa do interesse e da procura pela fibra do sisal, durante a Segunda Guerra Mundial.

Esse interesse fez a cultura migrar para outros Estados vizinhos, como Rio Grande do Norte e Pernambuco, em virtude das condições climáticas propícias, pois o sisal é uma planta semixerófila, que requer clima quente e grande luminosidade e é adaptada a regiões semi-áridas, por ser altamente resistente a estiagens prolongadas, apresentando estruturas peculiares de defesa contra as condições de aridez: folhas carnosas, número reduzido de estômatos e epiderme fortemente cutinizada (SILVA, 1999; CNA, 2004).

No Estado da Bahia, houve várias ações de estímulo à cultura. Em 1939, a Secretaria de Agricultura instalava, em Feira de Santana, o primeiro campo de distribuição de mudas, e em 1940 / 1941 foi fundado, no município de Nova Soure (BA), o Núcleo Colonial Presidente Vargas, com um grande campo de cultivo de

sisal, dotado de uma das mais completas usinas de beneficiamento do país (SERRA e SILVA, 1952; MARQUES, 1978).

Logo, após a Segunda Guerra Mundial, o sisal teve rápida expansão na Paraíba, em virtude da alta demanda dos mercados interno e externo, aliado às condições climáticas favoráveis, tornando-se exportador dessa fibra, e, em 1951, assumia a segunda posição, no tocante à produção mundial. Já a Paraíba, apesar do destaque de maior produtor de sisal do Nordeste, perdeu, na década de 60, essa hegemonia para o Estado da Bahia, por conta dos preços baixos, do desinteresse do produtor e de áreas pouco produtivas (SILVA, 1996a).

Segundo FAO (2007), o Brasil é o maior produtor mundial de fibras de sisal. É economicamente viável na região semi-árida do nordeste, com cerca de um milhão de pessoas que dela dependem para a sua subsistência (MATTOSO et al., 1996).

A exportação dessa fibra chegou a representar, para o país, receitas superiores a 100 milhões de dólares, representando 77,1% da produção mundial (BARROS et al., 1999).

A exploração do sisal no Brasil se concentra no Nordeste, geralmente em áreas de pequenos produtores, sendo de fundamental importância para a agricultura desta região, por se adaptar às condições de clima e solo das regiões semi-áridas da Bahia, Rio Grande do Norte e Paraíba.

Por ser uma planta xerófila, que é produzida mesmo em períodos de estiagem prolongada, possui resistência ao clima adverso do Nordeste, adaptando-se a regiões muito secas, com solos rasos, pedregosos e chuvas escassas. É uma atividade econômica que representa uma fonte de renda e emprego para um contingente de, aproximadamente, um milhão de pessoas e vantagens para os agricultores nas explorações sisaleiras.

Entre 1965 e 1974, o Brasil produzia mais de 200 mil toneladas/ano de sisal. Nas décadas de 1980 e 1990 houve um declínio na produção, reduzindo-se a patamares inferiores a 150 mil toneladas/ano. No final da década de 1990, no entanto, a produção passou a apresentar sinais de recuperação, chegando a 194 mil no ano de 2000, segundo dados do IBGE. No ano de 2003, conforme mostrado na

Tabela 5.13, a seguir, a produção brasileira atingiu mais de 170 mil toneladas. Os principais produtores brasileiros, atualmente, são a Bahia (95,65%), a Paraíba (3,35%) e Rio Grande do Norte (0,73%).

Em termos de rendimento em campo, há variação entre a média de 609 kg/hectare, no Rio Grande do Norte, e 1.200 kg/hectare, no estado do Ceará. Segue-se o estado da Bahia, cuja produção alcança a média de 852 kg, por cada hectare colhido. A média para o país, no ano de 2003, foi de 844 kg/hectare.

Tabela 3.13 - Produção brasileira de sisal, por unidade da Federação, 2002 e 2003

UF	COMPARATIVO DE ÁREA CULTIVADA E PRODUÇÃO, VARIAÇÕES E PARTICIPAÇÃO PERCENTUAL									
	2 0 0 3			2 0 0 2			Variação % - 2003/2002			Part. %
	Área (ha)	Rend. (kg/ha)	Produção (t)	Área (ha)	Rend. (kg/ha)	Produção (t)	Área	Rend.	Produção	Produção (2003)
BA	190.693	852	162.458	200.178	853	170.711	4,97	0,12	5,08	95,65
CE	170	1.200	204	390	1.200	468	129,41	0,00	129,41	0,26
PB	6.305	757	4.776	7.544	793	5.983	19,65	4,76	25,27	3,35
PE	25	720	18	25	720	18	0,00	0,00	0,00	0,01
RN	4.580	609	2.787	2.845	458	1.303	-37,88	-24,79	-53,25	0,73
TOTAL	201.773	844	170.243	210.982	846	178.483	4,56	0,24	4,84	100,00

Fonte: IBGE (LSPA-julho), elaborado pela CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento)

O baixo nível de capitalização da lavoura sisaleira, somado à falta de recursos financeiros, de linhas de crédito e de outros incentivos subsidiados, além dos baixos preços pagos aos produtores, entregues basicamente aos oligopólios comerciais, industriais e exportadores, vem constituindo, ao longo do tempo, um dos fatores de entrave à modernização tecnológica da cultura do sisal (BAHIA, 1991).

Segundo C&P (2006), os produtores de sisal da Bahia querem ampliar o mercado mundial e agregar mais valor ao produto, que é responsável pelo sustento de mais de 500 mil pessoas no norte do Estado. Um projeto de marketing, com 16 itens está sendo desenvolvido pelo Sindicato das Indústrias de Fibras Vegetais da Bahia (Sindifibras), com apoio da Agência de Promoção de Exportações e Investimentos (Apex-Brasil), órgão do Ministério do Desenvolvimento. Somente este ano, o programa receberá investimentos da ordem de R\$ 1,6 milhão. Com o estímulo à cultura, a expectativa é que a produção salte das atuais 150 mil toneladas anuais, para 220 mil, um incremento de cerca de 50%, até 2010.

O incentivo ao uso do sisal é fundamental para o desenvolvimento das regiões de onde estas fibras são originárias, geralmente regiões subdesenvolvidas, como ocorre no Brasil (FAO, 2002).

A Bahia é responsável por cerca de 90% da produção brasileira e 40% do volume mundial do sisal, proporcionando ao estado um PIB da ordem de US\$ 130 milhões, cerca de R\$ 300 milhões. O projeto pretende fortalecer toda a cadeia produtiva local. No campo, além de melhorar a qualidade da fibra, a meta é incrementar a produtividade, aumentando de 700 quilos para 1,2 mil quilos, por hectare, proporcionando uma elevação de renda, principalmente para o pequeno produtor. Além do incremento das exportações, busca-se diversificar os mercados consumidores, com a utilização da fibra na fabricação de novos produtos (C&P, 2006).

Cerca de 80% da produção está sendo exportada, o preço do produto está valorizado. O quilo da fibra, que entre 2000 e 2003 valia R\$ 0,40, hoje está situado entre R\$ 1,00 a R\$ 1,20 (C&P, 2006).

No pacote de incentivos, o Grupo de Fibras Duras da FAO - Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura, está disponibilizando recursos da ordem de US\$3 milhões (R\$6,9 milhões), não reembolsáveis, a serem investidos em pesquisa na área de sisal no Brasil. Diante do fato, o sindicato está convocando algumas instituições com a finalidade de formatar e elaborar projetos cooperativos, para encaminhamento ao Fundo de Commodities da FAO (C&P, 2006).

LEAL et al. (1997) relata a importância sócio-econômica do sisal para a Região do Nordeste, ao possibilitar a ocupação de uma extensa área de solos pobres da região semi-árida, principalmente nos Estados da Bahia e Paraíba. Além do fato de gerar atividade econômica em regiões marginais para lavouras de subsistência, as quais, de outra forma, seriam inproveitadas ou já estariam com os solos degradados, por conta da exploração dos cultivos anuais, que, necessitando da movimentação periódica dos solos, favorecem a erosão e a degradação dessas áreas. O sisal constitui fonte de renda e emprego para um grande número de pessoas, durante o período de entressafra, quando a mão-de-obra local se encontra ociosa. É também uma importante fonte de divisas para alguns Estados nordestinos,

como na Bahia, onde o sisal é um dos principais produtos da pauta de exportação agrícola, e na Paraíba, onde ocupa o terceiro lugar nas exportações. Adaptou-se às condições da pequena exploração com predomínio do trabalho familiar, sendo, portanto, importante agente de fixação do homem à região semi-árida nordestina. Trata-se de uma cultura ecológica, para a qual inexistem o uso de defensivos e de adubos químicos, tendo ainda condições de fornecer um produto “limpo” (sisal orgânico), isto é, livre de resíduos químicos. E constitui uma atividade de apoio à pecuária, nas fazendas do semi-árido, quer pelo uso direto da planta na alimentação dos animais, quer como pastagem nativa nas áreas exploradas com a cultura. Entretanto segundo GUIMARRÃES et al. Verifica-se que, apesar da especial atenção dada às fibras de sisal, pelo seu potencial econômico e tecnológico e sua importância nas regiões de cultivo, os indicadores sociais e econômicos são incompatíveis com os níveis de desenvolvimento humano minimamente desejáveis. Mais de 60% da população, da maioria dos municípios dessas regiões, auferem renda de um salário mínimo, possuindo, além disso, baixo grau de escolaridade, com 67% de analfabetos, na zona rural, e 36%, na urbana. Além do mais, seu cultivo é desenvolvido em pequenas propriedades, e o seu beneficiamento feito artesanalmente, apresenta grandes riscos para a saúde dos envolvidos, que utiliza, ainda, o trabalho infantil. São freqüentes os acidentes de trabalho que, historicamente, têm gerado um grande número de mutilados. Logo, em relação ao ponto de vista econômico (valor bruto da produção), esta não é tão expressiva, por agregar pouco valor ao produto, em função das baixas remunerações pagas pelos seus intermediários e pela deterioração do seu preço no mercado internacional.

Segundo PÊGO (2005), o que sobra do sisal não é um problema ambiental, visto que, é incorporado ao solo mais facilmente que as fibras sintéticas. Também, por apresentar altos percentuais de celulose e ácido oxálico, sua polpa é excelente matéria-prima para as indústrias têxteis, de papéis e de tintas. O ácido oxálico é indicado para a eliminação de ferrugem, no branqueamento de tecidos e papéis e na fabricação de tintas. O bagaço da fibra também pode ser transformado em briquete, para geração de calor em fornos, em substituição à madeira. Como subprodutos da sisaleira, ainda, destacam-se acetona, alcatrão, amônia, cera e clorofila.

Neste trabalho empregaram-se as fibras de sisal na condição natural. Para o uso nos corpos-de-prova cilíndricos, as fibras de sisal foram cortadas manualmente com uma tesoura, em comprimento em torno de 5 mm.



Figura 3.3 – Fibras provenientes da: espécie Agave Sisalana (sisal) – 5 mm.

Já, para os demais corpos-de-prova, foram cortadas nas dimensões de 1,5 cm.



Figura 3.4 – Fibras provenientes da: espécie Agave Sisalana (sisal) – 1,5 cm.

A dimensão das fibras fora escolhida de forma aleatória.

3.2.7 Tela de Poliéster

É confeccionada por meio da fiação ou tecelagem de fibra sintética de poliéster. É também chamada de malha de poliéster e possui dimensões de 1 mm x 1mm e é vendida em rolos de 20 cm de largura, com 50 m de comprimento, 50 cm de largura, com 50 m de comprimento e 1 m de largura, com 50 m de comprimento. A tela foi obtida em empreendimento comercial especializado em impermeabilizantes. Para o uso nos corpos de prova cilíndricos, esses foram picados em comprimento em torno de 5 mm, sendo que esta dimensão fora adotada de forma aleatória. Já, para os demais corpos-de-prova, esses foram cortados em pedaços de tela de poliéster, conforme dimensão do corpo de prova.



Figura 3.5 – Tela de poliéster.



Figura 3.6 –Tela de poliéster cortada – 5 mm.

3.3 DESCRIÇÃO DOS SISTEMAS DE IMPERMEABILIZAÇÃO ADOTADOS NOS ENSAIOS

Os sistemas de impermeabilização adotados nos ensaios foram os seguintes:

1. Membrana acrílica impermeável;
2. Membrana acrílica impermeável, com estruturante em tela de poliéster;
3. Membrana acrílica impermeável, com estruturante em sisal;
4. Argamassa polimérica;
5. Argamassa polimérica, com adição de fibras de poliéster;
6. Argamassa polimérica, com adição de fibras de sisal.

Segundo a norma NBR 9575 (2003), definimos membrana acrílica impermeável como sendo um produto impermeabilizante, moldado no local com ou sem estruturante e a argamassa polimérica, como sendo uma argamassa industrializada, modificada com polímeros, constituída de agregados minerais inertes, cimento e polímeros, formando um revestimento com propriedades impermeabilizantes.

Para caracterizar o estruturante, este também pode ser chamado de armadura, que é um elemento flexível, de forma plana, destinado a absorver esforços, conferindo resistência mecânica aos diferentes tipos de impermeabilização.

Já, para caracterizar os polímeros, definem-se estes como sendo uma substância constituída de moléculas caracterizadas pela repetição de um ou diversos tipos de manômetros (negligenciando-se os extremos de cadeias, os pontos entre cadeias e outras pequenas irregularidades).

Dentre os sistemas descritos acima e adotados nos ensaios, sabe-se que, atualmente, somente são adotados comercialmente no mercado da construção civil dois desses sistemas: o de membrana acrílica impermeável, com estruturante em

tela de poliéster, e o de argamassa polimérica. Tais sistemas são usualmente executados da seguinte forma:

- Membrana acrílica impermeável, com estruturante em tela de poliéster;

1º passo – é feita uma imprimação (cuja função é proporcionar uma melhor aderência do substrato com o impermeabilizante) com a proporção de 1:4, sendo 1 parte do produto impermeabilizante, para 4 partes de água;

2º passo – aplica-se a primeira camada de membrana, na proporção de 1:1, sendo 1 parte do produto impermeabilizante, para 1 parte de cimento;

3º passo – aplica-se a segunda demão de membrana, na mesma proporção da etapa anterior, sendo que sobre esta é fixada a tela de poliéster;

4º passo – aplica-se uma terceira demão da membrana, na mesma proporção;

5º passo – aplica-se uma quarta demão da membrana, na mesma proporção, a fim de obter um total cobrimento da tela de poliéster.

Deve-se levar em consideração o tempo de secagem da membrana, que varia de 2 a 3 horas. A cura é de, no mínimo, 14 dias.

- Argamassa polimérica;

1º passo – é feita uma imprimação, com a proporção de 1:4, sendo 1 parte do produto impermeabilizante, para 4 partes de água;

2º passo – é feita a aplicação da argamassa polimérica na proporção de 1:3, sendo 1 parte de cimento para 3 partes de areia e acrescidos de vinte por cento (20%), em peso, do produto impermeabilizante, em relação ao peso do cimento e a relação água/cimento é igual a 0,47.

Deve-se levar em consideração o tempo de secagem da argamassa, que é em torno de 5 horas. A cura é de, no mínimo, 14 dias.

Já os demais sistemas adotados nos ensaios, foram os seguintes:

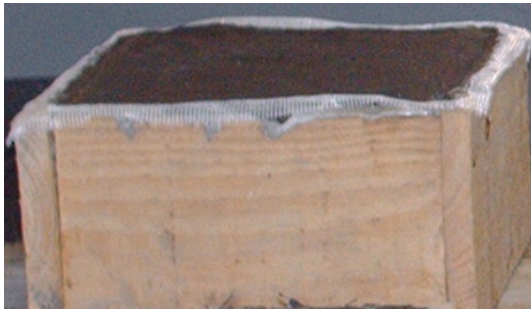


Figura 3.7 - Corpos-de-prova prismático com estruturante em tela de poliéster



Figura 3.8 - Corpos-de-prova prismático com estruturante em sisal

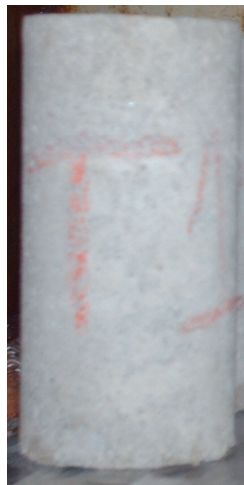


Figura 3.9 - Corpos-de-prova cilíndricos com adição de fibras de poliéster picados



Figura 3.10 - Corpos-de-prova cilíndricos com fibras de sisal cortadas

Para o ensaio de alongamento foram confeccionadas amostras, com sistemas de impermeabilização flexíveis, sendo essas de membrana acrílica impermeável, sem estruturante; membrana acrílica impermeável, com estruturante em tela de poliéster; e membrana acrílica impermeável com estruturante em sisal.

- Para os corpos-de-prova prismáticos, utilizou-se:
 - - Membrana acrílica impermeável, com estruturante em tela de poliéster, executada como descrita anteriormente;

- - Membrana acrílica impermeável, com estruturante em sisal, executada como a membrana estruturada com tela de poliéster, sendo que, ao invés de se estruturar com tela de poliéster, foi utilizada a fibra de sisal, cortada na dimensão de 1,5 cm, (veja figuras acima)
- - Argamassa polimérica, executada como descrita anteriormente.

Foram confeccionados corpos-de-prova prismáticos conforme sistemas de impermeabilização relatados anteriormente, para os ensaios de aderência, câmara climática e envelhecimento acelerado com Na_2SO_4 .

- Para os corpos-de-prova cilíndricos, utilizou-se:
 - - Argamassa polimérica, na mesma proporção descrita anteriormente;
 - - Argamassa polimérica, com adição de fibras de poliéster picados, em comprimento em torno de 5 mm , na proporção de 1:3:0,21:0,47 (produto impermeabilizante, cimento, poliéster e água), sendo a densidade da fibra de poliéster igual a 1,1215 g / cm³;
 - - Argamassa polimérica, com adição de fibras de sisal cortadas manualmente, com uma tesoura, em comprimento em torno de 5 mm, na proporção de 1: 3:0,21:0,47 (produto impermeabilizante, cimento, sisal e água), sendo a densidade da fibra de sisal igual a 1,370 g / cm³.
 - Os corpos-de-prova cilíndricos foram utilizados nos ensaios de absorção por imersão, absorção por capilaridade, resistência à tração por compressão diametral e resistência à compressão axial.

3.4 DESCRIÇÃO DOS ENSAIOS REALIZADOS E MÉTODOS EMPREGADOS

3.4.1 Programa de Ensaios

Tomando como base diversos trabalhos técnicos de natureza experimental, adotou-se os ensaios descritos na Tabela 3. .

Tabela 3.14 – Programa de ensaios.

ENSAIOS	OBJETIVOS
CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS	Caracterizar a areia em relação à sua granulometria, massa específica e umidade. E o produto impermeabilizante quanto a sua massa específica.
ADERÊNCIA	Determinar se o sistema de impermeabilização estava bem aderido à superfície.
ALONGAMENTO	Determinar a flexibilidade dos sistemas.
CÂMARA CLIMÁTICA	Verificar se há danos às características dos sistemas quando expostos a diferentes temperaturas e umidades.
ENVELHECIMENTO ACELERADO COM Na ₂ SO ₄	Analisar o nível de degradação dos sistemas.
ABSORÇÃO POR IMERSÃO	Verificar a quantidade de água absorvida por imersão.
ABSORÇÃO POR CAPILARIDADE	Verificar a quantidade de água absorvida por capilaridade e a altura de percolação da água.
RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL	Medir a resistência da argamassa polimérica à tração.
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL	Medir a resistência da argamassa polimérica à compressão.

3.4.1.1 Ensaios de Caracterização dos Agregados

- Método para Determinar a Composição Granulométrica

Determinou-se a composição granulométrica da areia, sendo esta previamente seca em estufa, à temperatura de 105 +/- 5°C, por um período de 24 horas, sendo que após o esfriamento, 1 kg de areia foi pesado. A amostra foi colocada no conjunto de peneiras em série sucessivas, com abertura de malha em ordem crescente, da base para o topo, que atendem à norma NBR 5734 (1988), para posterior agitação mecânica e manual.

A seguir, realizou-se a pesagem da areia retida em cada peneira. A areia foi analisada segundo a Norma NBR 7217 (1987), a qual estabelece limites granulométricos para o agregado miúdo e graúdo, em função das porcentagens retidas e porcentagens retidas acumuladas, na série de peneiras normal ou intermediária e por meio do cálculo do módulo de finura.

- Método para Determinar a Massa Específica

Determinou-se a massa específica aparente da areia pelo frasco de Chapman, que é um frasco de vidro composto de dois bulbos e de um gargalo graduado, conforme ilustra a Figura 3.11. A massa do agregado deve secar em estufa, à temperatura de $105 \pm 5^\circ\text{C}$, até atingir a constância de massa e o volume igual do sólido, incluídos os poros impermeáveis.

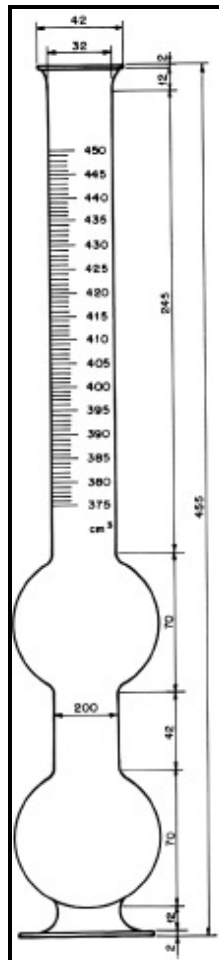
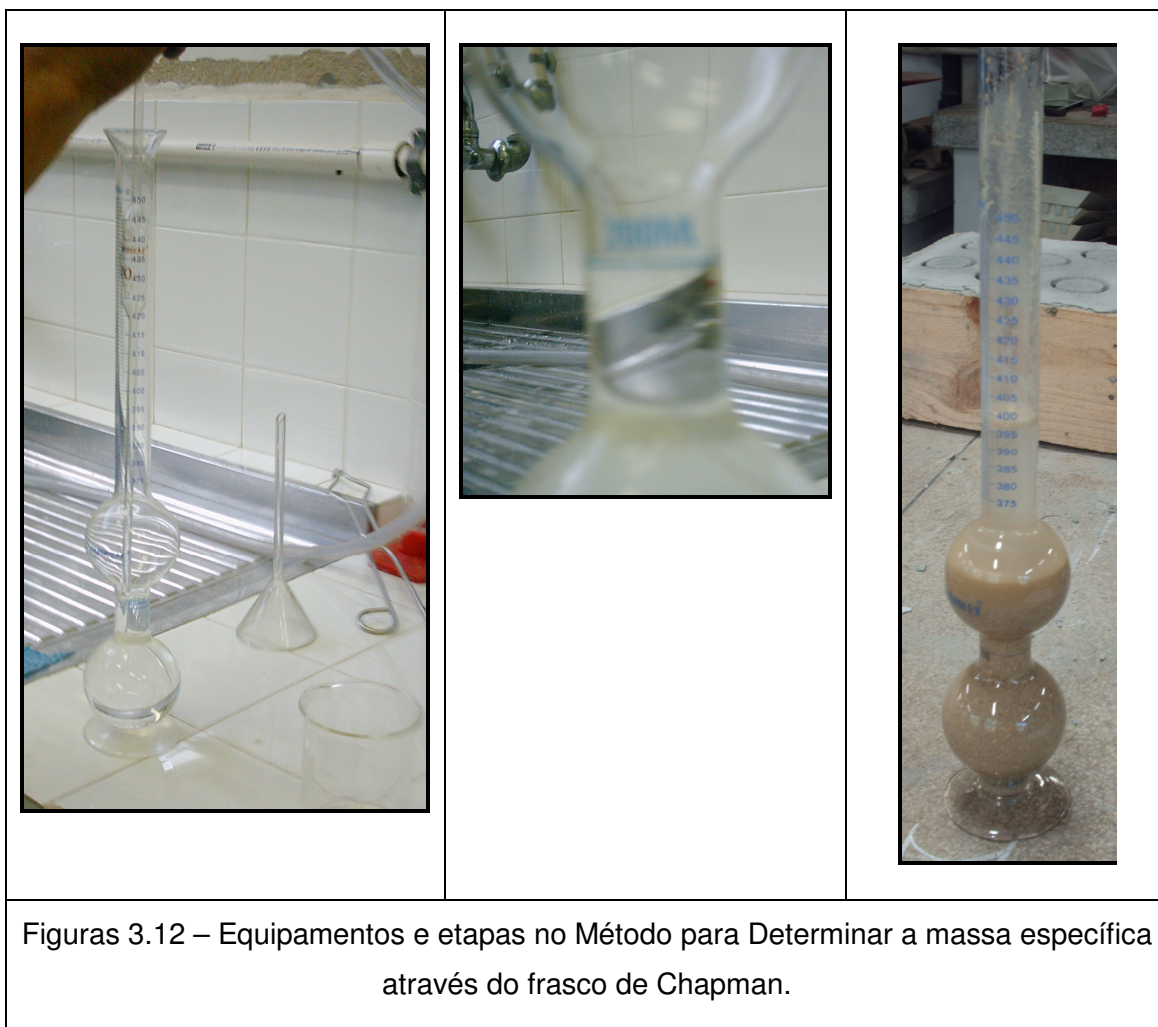


Figura 3.11 - Frasco de Chapman.

O método empregado para determinar a massa específica aparente dos grãos de areia, por meio do frasco de Chapman (norma NBR 9776 (1987)), consistiu na introdução de 500 g do agregado previamente seco em estufa à $105 \pm 5^\circ\text{C}$ durante um período de 24 horas, no interior do frasco de Chapman, contendo um volume conhecido de água (200 ml), agitando-o até eliminar as bolhas de ar, medindo-se o volume de água deslocado e calculando-se a massa específica aparente.

Com estes dados foi determinada a massa específica aparente deste material, através da relação entre a massa do mesmo seco e o volume resultante da diferença entre o volume final e o inicial de 200 ml.



A massa específica do agregado miúdo é calculada pela seguinte expressão:

$$\sigma = \frac{Ms}{L - L_o} = \frac{500}{L - 200},$$

onde:

σ = massa específica do agregado miúdo, expressa em kg/dm³;

Ms = massa do material seco (500 g);

L_o = leitura inicial do frasco (200 cm³ = 200 ml);

L = leitura final do frasco.

Também se determinou a massa específica da areia e do produto impermeabilizante, através do método do picnômetro.

O picnômetro é um pequeno frasco de vidro, construído cuidadosamente de forma que o seu volume seja invariável. O procedimento para determinar a massa específica do produto impermeabilizante foi o seguinte:

1. Checar se o picnômetro está limpo e livre de resíduos;
2. Pesar o picnômetro vazio, juntamente com a tampa, denominando o valor de P_0 ;
3. Encher o picnômetro até a borda com água;
4. Tampar o picnômetro, de modo a transbordar o excesso de água;
5. Pesar o picnômetro com água, denominando o valor de P_1 ;
6. Secar o picnômetro;
7. Encher o picnômetro até a borda, com o produto do qual se vai determinar a massa específica;
8. Tampar o picnômetro, de modo a transbordar o excesso do produto;
9. Limpar e secar o exterior do picnômetro;
10. Pesar o picnômetro cheio, denominando o valor de P_2 ;

Já para determinar a massa específica da areia, por se tratar de um elemento sólido, é necessário preencher os vazios. O procedimento é feito com água. Consequentemente se acrescenta as seguintes etapas:

- Colocar uma certa quantidade de areia no picnômetro e pesá-lo denominando o valor de P_2 ;
- Completar o picnômetro que estava com uma certa quantidade de areia com água até a borda;

- Tampar o picnômetro, de modo a transbordar o excesso de líquido;
 - Limpar e secar o exterior do picnômetro;
 - Pesar o picnômetro cheio, denominando o valor de P3.
- Método para Determinar a Umidade da Areia

Determinou-se o teor de umidade da areia através da secagem em estufa a $105 \pm 5^\circ \text{C}$, durante 24 horas.

Primeiramente selecionou-se um recipiente e realizou-se a sua pesagem. A seguir acrescentou-se uma certa quantidade de areia úmida, pesando-a. Após secagem em estufa, pesou-se o recipiente novamente com a areia seca.

Para efeito comparativo, determinou-se a umidade da areia também pelo método do aparelho de Speedy (DNER – ME 52 – 64) e pelo frasco de Chapman (norma NBR 9775 (1987)).



Figura 3.13 – Aparelho de “Speedy”.

No caso do método de “Speedy”, para determinar a umidade superficial da areia, coletou-se uma amostra significativa, conforme a umidade prevista de acordo com a tabela abaixo:

Tabela 3.15 – Amostra significativa para o método de “Sppedy”.

UMIDADE PREVISTA (%)	MASSA DA AMOSTRA
Até 10	20
De 10 a 20	10
De 20 a 60	5
De 30 ou mais	3

Logo, tomando como base a umidade encontrada na secagem em estufa (5,73 %), pesou-se uma amostra da massa de 20 g, para realizar este ensaio. A seguir, a amostra foi colocada na câmara do aparelho, introduzindo, em seguida, duas esferas de aço e uma ampola de carbureto. Fecha-se hermeticamente a garrafa e com movimentos rápidos aplicados à mesma, provoca-se a quebra da ampola pelos choques com as esferas. Foi dado prosseguimento aos movimentos com a garrafa para assegurar o total contato da amostra com o carbureto de cálcio. Ao final, efetuou-se a leitura da pressão manométrica (1,00 kg/cm²). Com esse valor e com o peso da amostra úmida colocada na garrafa, determinou-se a umidade do material, através da tabela de aferição própria do aparelho. Encontrou-se umidade, em relação à amostra total úmida (h1), igual a 5,2 %.

Já no caso do método para determinar a umidade superficial pelo frasco de Chapman, realizou-se o mesmo procedimento descrito acima, quando se determinou a massa específica da areia. Dessa vez a areia não foi seca na estufa, conseqüentemente apresentava umidade. Neste caso, obteve-se a leitura (L) no frasco igual a 410.

3.4.1.2 Ensaio de Aderência

Foram confeccionados dez corpos-de-prova prismáticos, nas formas mostradas na figura abaixo. Neste caso, dez caixotes de madeira, com dimensões internas de 25,0 cm x 25,0 cm x 12,5 cm, em conformidade com a norma NBR 12171(1992).



Figura 3.14 - Caixote de Madeira



Figura 3.15 - Adensamento e nivelamento da concretagem

Os caixotes foram preenchidos com concreto, com o devido adensamento e nivelamento, de acordo com a norma NBR 12171 (1992), sendo adotado o seguinte traço:

Tabela 3.16 – Traço adotado no ensaio de aderência.

Cimento Portland Comum 32	1,00
Areia Zona 4 (grossa)	2,44
Brita 1	2,14
Brita 2	1,43
Água	0,60
Consumo de Cimento	308 kg/m ³

Também em conformidade com a mesma norma, as amostras (caixotes concretados), após 24 horas de moldagem, foram curadas por quatorze dias.

Após a cura do concreto contido no interior dos caixotes foram aplicados sobre estes três diferentes tipos de sistemas de impermeabilização: (i) membrana acrílica impermeável, com estruturação em tela de poliéster (três caixotes); (ii) membrana acrílica impermeável, com estruturação em fibras de sisal, aplicadas de forma randômica planar, na dimensão de 1,5 cm (três caixotes) e (iii) o sistema de argamassa polimérica (quatro caixotes). Eles foram identificados da seguinte forma:

- - Os três caixotes impermeabilizados, com membrana acrílica impermeável, com estruturação em fibras de sisal: 1 SISAL, 2 SISAL, 3 SISAL;
- - Os três caixotes impermeabilizados com membrana acrílica impermeável, com estruturação em tela de poliéster: 1 POLI, 2 POLI, 3 POLI;
- - Os quatro caixotes impermeabilizados com argamassa polimérica: 1 ARG, 2 ARG, 3 ARG, 4 ARG.

O ensaio foi realizado após a cura dos sistemas de impermeabilização (28dias).

Primeiramente, realizou-se o corte do impermeabilizante com serra de copo com 50 mm de diâmetro até atingir a espessura média de 1 cm no concreto, de forma seca (copo cilíndrico, de altura superior à espessura do revestimento, com borda diamantada, provida de eixo central, que garanta a estabilidade do copo durante o corte, de modo a evitar vibrações prejudiciais à integridade do revestimento).



Figura 3.16 - Caixotes apresentando revestimento, após corte



Figura 3.17 - Equipamento usado no Ensaio de Aderência

Em seguida, realizou-se a limpeza e lixamento da superfície dos impermeabilizantes, retirando partículas descartáveis e soltas, com o objetivo de garantir uma melhor aderência entre estes e o suporte.

Dando prosseguimento, colou-se o suporte (pastilha metálica de seção circular, com 50mm de diâmetro, com um dispositivo no centro, para acoplamento do equipamento de tração) sobre a superfície do sistema de impermeabilização, por meio de adesivo à base de resina epóxi ou similar, aplicado com espátula sobre o impermeabilizante, durante cerca de 30 segundos, apertando o suporte sobre o mesmo.

Após 24 horas da fixação do suporte com resina epóxi, nela foi acoplado o equipamento de tração.

O equipamento de tração foi apoiado ao corpo de prova, sendo a carga aplicada lenta e progressivamente, sem interrupções, perpendicularmente ao corpo-de-prova, de maneira a não introduzir esforços laterais, até o descolamento do suporte.

O equipamento de tração utilizado possui articulação, para assegurar a aplicação do esforço de tração simples e dispositivo para leitura de carga.

O esforço de tração foi aplicado com taxa de carregamento escolhida, até a ruptura e de tal modo que o ensaio durasse entre 10 s e 80s.

Tabela 3.17 - Taxas de carregamento para a seção circular de 50 mm de diâmetro.

Resistência de Aderência (MPa)	Taxa de Carregamento (N/s)
Até 0,20	5
Acima de 0,20 a 0,50	25
Acima de 0,50 a 1,00	100
Acima de 1,00	200

Após o descolamento, a superfície (concreto) foi examinada, para verificação de eventuais falhas de aderência entre o adesivo usado e a superfície do corpo-de-prova. Sendo constatadas falhas deste tipo, o resultado foi desprezado e o procedimento foi repetido em outro corpo-de-prova.

Não havendo falha de aderência do adesivo, realizou-se o registro da resistência de aderência, em MPa.

A Figura 3.17 mostra o equipamento que foi usado no ensaio de aderência e a Figura 3.18 mostra um dos caixotes onde foi realizado o ensaio de aderência. Na Figura 3.19 pode-se observar a forma de ruptura, que praticamente foi a mesma, para a maioria dos corpos-de-prova .

	
Figura 3.18 – Caixaote utilizado para o ensaio de aderência	Figura 3.19 - Forma de ruptura dos corpos-de-prova (ruptura na interface impermeabilizante/substrato (concreto))

3.4.1.3 Ensaio de Alongamento

Foram confeccionados nove corpos-de-prova, com dimensões de 10 cm X 4 cm, sendo três de membrana acrílica impermeável, sem estruturação, três de membrana acrílica impermeável, com estruturação em fibra de sisal, e três com estruturação em tela de poliéster. Foram testados três tipos de procedimentos para a confecção desses corpos-de-prova:

1. Aplicando os sistemas de impermeabilização diretamente sobre placa de vidro;
2. Aplicando os sistemas de impermeabilização sobre o vidro, com *free coat* (material lubrificante e com função não aderente entre os meios onde estiver inserido) de vaselina;

3. Aplicando os sistemas de impermeabilização diretamente sobre plástico esticado em placa de madeira.

Como resultado dessas diferentes aplicações, observa-se que, no primeiro caso de aplicação, diretamente sobre o vidro, não foi possível soltar os sistemas de impermeabilização. No segundo caso, de aplicação sobre o vidro com *free coat* de vaselina, ocorreu a remoção, mas com dificuldade, gerando fissuras, tornando este inutilizável. Já no terceiro caso, obteve-se sucesso, tendo os sistemas de impermeabilização soltado por inteiro e sem a presença de fissuras.

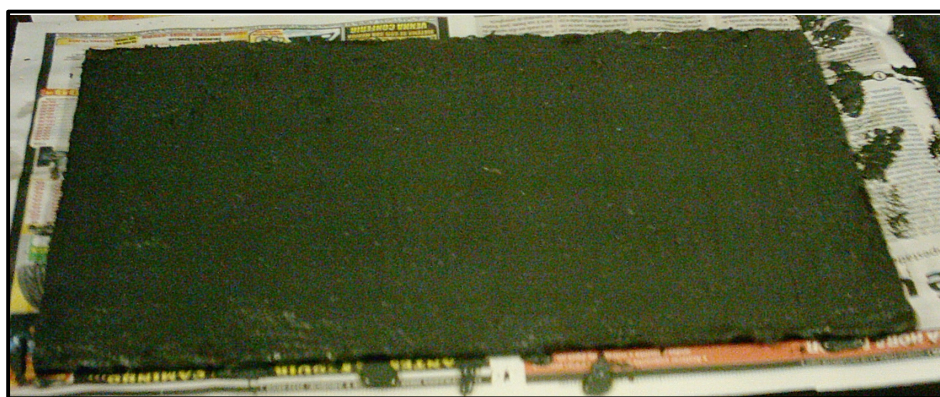


Figura 3.20 - Não foi possível retirar o sistema de impermeabilização aplicado diretamente sobre o vidro



Figura 3.21 – Falha na remoção do sistema de impermeabilização aplicado sobre o vidro com *free coat* (vaselina)



Figura 3.22 – Aplicação de sistema de impermeabilização sobre plástico

Já, no terceiro caso de aplicação dos sistemas de impermeabilização sobre o plástico, executou-se da seguinte forma: Sobre uma placa de madeira, fixou-se o plástico de forma a mantê-lo esticado. Em seguida, aplicaram-se os sistemas de impermeabilização sobre o plástico. Após execução dos sistemas de impermeabilização, realizou-se o corte dos mesmos com auxílio de régua e estilete.

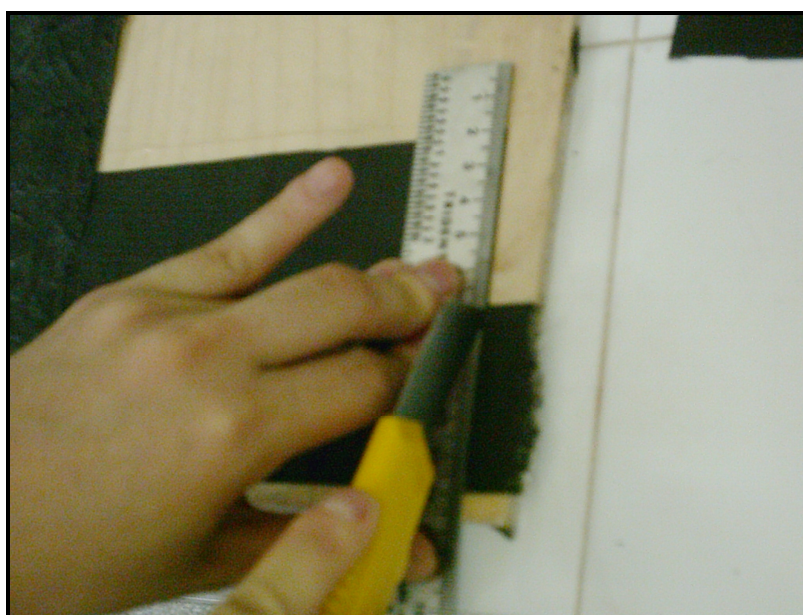


Figura 3.23 – Corte para confecção de amostras para o ensaio de alongamento.

Obtendo-se as seguintes amostras: