



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**Carlindo Avelino Bezerra Neto**

**DESENVOLVIMENTO DE UM EQUIPAMENTO PARA AVALIAÇÃO DO  
DESEMPENHO DE GEOMANTAS**

**Natal**

**2014**

**Carlindo Avelino Bezerra Neto**

**DESENVOLVIMENTO DE UM EQUIPAMENTO PARA  
AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE GEOMANTAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. Carina Maia Lins Costa

Co-orientador: Prof. Dr. José Ramon Barros Cantalice

Natal

2014

Carlindo Avelino Bezerra Neto

**DESENVOLVIMENTO DE UM EQUIPAMENTO PARA  
AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE GEOMANTAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof<sup>a</sup>. Dra. Carina Maia Lins Costa (Orientador)

---

Prof. Dr. José Ramon Barros Cantalice (Co-orientador)

---

Prof. Dr. Yuri Daniel Jatobá Costa (UFRN)

---

Prof. Dr. Alexandre da Costa Pereira (IFRN)

**Natal, 24 de fevereiro de 2014.**

UFRN / Biblioteca Central Zila Mamede  
Catalogação da Publicação na Fonte

Bezerra Neto, Carlindo Avelino.

Desenvolvimento de um equipamento para avaliação do desempenho de geomantas. / Carlindo Avelino Bezerra Neto. – Natal, RN, 2014.  
104 f.: il.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. Carina Maia Lins Costa.

Co-orientador: Prof. Dr. José Ramon Barros Cantalice

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

1. Erosão de solos - Dissertação. 2. Escoamento superficial - Dissertação. 3. Geomanta - Dissertação. 4. Geossintéticos - Dissertação. 5. Simulador de Chuva - Dissertação. I. Costa, Carina Maia Lins. II. Cantalice, José Ramon Barros. III. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. IV. Título.

RN/UF/BCZM

CDU 631.459

# DESENVOLVIMENTO DE UM EQUIPAMENTO PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE GEOMANTAS

**Carlindo Avelino Bezerra Neto**

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. Carina Maia Lins Costa

Co-orientador: Prof. Dr. José Ramon Barros Cantalice

## RESUMO

O controle sobre os processos erosivos é uma necessidade constatada em vários segmentos da engenharia. A movimentação de terra necessária para a execução de taludes rodoviários, por exemplo, pode resultar em taludes de corte ou aterro vulneráveis à erosão superficial. Dentre as alternativas tecnológicas para controle de erosão a utilização de geossintéticos se apresenta como uma solução potencial. A referida aplicação encontra-se em amplo desenvolvimento em alguns países como, por exemplo, nos EUA. No Brasil, a especificação de geossintéticos para controle de erosão é limitada pela ausência de caracterização desses produtos e de normas nacionais, sendo a única fonte técnica de informação, os catálogos dos fabricantes. Neste contexto, o objetivo deste trabalho é construir um equipamento e desenvolver métodos de ensaio para caracterização e avaliação de geossintéticos utilizados no controle de erosão superficial, com base na ASTM D7101. Além de um simulador de chuvas, o equipamento é composto por uma bancada de testes formada por: rampa de escoamento, mesa de suporte e núcleos de solo. Utilizando a bancada construída, foram realizados ensaios para avaliar o funcionamento do equipamento e o desempenho de uma geomanta na redução da taxa de erosão superficial. Os ensaios foram realizados com intensidades de precipitação de  $100 \pm 4\text{mm/h}$  e  $150 \pm 4\text{mm/h}$ , durante 30 minutos, com intervalo de leitura de 5 minutos. Os resultados obtidos nos ensaios sem a presença da geomanta mostraram uma perda de solo acentuada durante as chuvas simuladas, com uma

tendência de crescimento linear da perda de solo acumulada em função do tempo de ensaio. Nos ensaios realizados com a presença da geomanta observou-se a ação de proteção do geossintético com uma redução da ordem de 90% da perda de solo acumulada para todas as intensidades de chuvas utilizadas.

**Palavras-chave:** Erosão de solos. Escoamento superficial. Geomanta. Geossintéticos. Simulador de Chuva.

# DEVELOPMENT OF EQUIPMENT FOR PERFORMANCE EVALUATION OF EROSION MATS

**Carlindo Avelino Bezerra Neto**

Adviser: Prof<sup>a</sup>. Dra. Carina Maia Lins Costa

Co-adviser: Prof. Dr. José Ramon Barros Cantalice

## **ABSTRACT**

The control of erosion processes is a necessity verified in various engineering segments. The movement of land required for the implementation of road embankments, for example, can result in cutting slopes or embankment vulnerable to surface erosion. Among the technological alternatives for erosion control the utilization of geosynthetics is presented as a potential solution. This application has been fully developed in some countries such as, the USA. In Brazil, the specification of geosynthetics for erosion control is limited by the lack of characterization of these products and national standards, and the only source of technical information are the catalogs of manufacturers. In this context, the objective of this work is to build a machine and develop test methods for characterization and evaluation of geosynthetics used in controlling surface erosion. Besides a rainfall simulator, the equipment consists of a test bench formed by: a runoff ramp, a support table and soil cores. Using the workbench built, tests were conducted to evaluate the functioning of the equipment and the performance of a mat in reducing the rate of surface erosion. The tests were performed with rainfall intensities of  $100 \pm 4$ mm/h and  $150 \pm 4$ mm/h for 30 minutes, with reading interval of 5 minutes. The test results obtained without the presence of the mat showed a marked loss of soil during the simulated rain, with a tendency to increase in linear loss of soil along time. For the tests with the presence of mat observed the protective action of the geosynthetic reduced of the accumulated soil loss in approximately 90% for all rainfall intensities used.

**Keywords:** Erosion of soils. Runoff. Erosion control mats. Geosynthetic. Rain simulator.

A minha amada esposa, aos meus  
pais, irmã e sobrinho.

## **Agradecimentos**

Com imenso prazer sintetizo meus agradecimentos as pessoas que contribuíram, direta ou indiretamente, para conclusão deste trabalho.

Agradeço incomensuravelmente a Deus pelo derramar de suas misericórdias sobre minha casa neste longo período. Principalmente por nos sustentar em momentos de grande tristeza e angústia, por não permitir que nos desviássemos dos Seus propósitos e por nos trazer a memória, constantemente, a razão pela qual vivemos.

Agradeço a minha esposa pelo apoio incondicional ao longo deste período. Agradeço por compartilhar minhas lutas e vitórias e pelo auxílio constante. Na certeza de que recebi o seu apoio em momentos que ela mais precisava, agradeço pelo seu amor sem medidas.

Agradeço aos meus pais pelos sacrifícios em função da minha vida, por me orientar corretamente, por oferecer o melhor que estivesse ao alcance de suas condições. A minha irmã, agradeço pelo cuidado, confiança e cumplicidade demonstrado desde quando pequenos. Ao meu sobrinho, agradeço por mostrar a simplicidade e ingenuidade que mundo atualmente precisa.

Aos amigos e irmãos da Igreja Cristã Eterna Aliança, agradeço por me acolher de forma tão especial. Agradeço pelas orações, pela oportunidade de oferecer os meus dons, pelo tratamento do meu caráter. Agradeço ao Pastor Aldemir Henriques Júnior pelas palavras de exortação em momentos de extrema angústia.

Agradeço ao irmão e amigo Gervásio de Medeiros pela aplicação de sua engenhosidade que, com certeza, sem isso não teria progredido para conclusão deste trabalho. Ao irmão e amigo Hugo Alves pela sua extrema desenvoltura em corrigir e ajustar qualquer necessidade operacional, com certeza sua participação foi mais que fundamental.

Aos amigos e irmãos dos grupos familiares pela oportunidade de vivenciar o evangelho puro e simples. Pelo companheirismo e motivação, pelos momentos de descontração e pelas orações.

Agradeço aos meus amigos de turma, Arthur, Carlos, Fabiana e Rubens, pela oportunidade de compartilharmos conhecimentos e anseios durante todo o curso. Agradecimento especial ao meu amigo Carlos pelas discussões, não só acadêmicas, que me auxiliam na construção do meu caráter e por seu apoio nas atividades de campo.

A minha orientadora, meus sinceros agradecimentos pela compreensão, confiança, apoio e direcionamento realizados. Ao meu co-orientador, agradeço pelo apoio fundamental em um dos momentos mais críticos do trabalho.

Agradeço aos professores do PEC pela contribuição pessoal e profissional. A secretária acadêmica do programa, Rafaella, agradeço pela presteza dedicada. Agradeço a coordenação do programa pelo investimento realizado.

Aos amigos e colegas do IFRN, agradeço pelo total apoio realizado. Especialmente ao amigo e professor Spotti, pela confiança e crédito oferecidos. Agradeço pela participação nas atividades de laboratório aos meus amigos Lucas, Murilo, Ricardo, Gian e Marcos.

Na certeza de que muito suor, lágrimas e orações fazem parte de cada linha, o número de páginas deste trabalho não são insuficientes para expressar meus sinceros agradecimentos.

Muito obrigado.

# SUMÁRIO

<b>SUMÁRIO .....</b>	<b>x</b>
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>xii</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>xiii</b>
<b>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 Objetivos da pesquisa.....	3
1.2 Organização do texto.....	4
<b>CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>5</b>
2.1 Erosão .....	5
2.1.1 Classificação das erosões .....	6
2.1.2 Erosão hídrica.....	6
2.1.3 Tipos de erosão hídrica .....	8
2.1.4 Erosividade da Chuva.....	10
2.1.5 Erodibilidade do solo.....	10
2.1.6 Quantificação das perdas de solo por erosão.....	12
2.1.7 Controle de erosão .....	13
2.1.8 Erosão em áreas urbanas.....	13
2.2 Geossintéticos .....	14
2.2.1 Tipos de geossintéticos .....	15
2.2.2 Funções dos geossintéticos.....	16
2.2.3 Geossintéticos como solução para controle de erosão.....	16
2.2.4 Geomanta no controle de erosão.....	18
2.3 Estudos experimentais.....	19
<b>CAPÍTULO 3 – MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>25</b>
3.1 Desenvolvimento do Equipamento .....	25
3.1.1 Rampa de escoamento.....	26
3.1.2 Mesa de suporte .....	28
3.1.3 Núcleo de solo .....	31
3.2 Simulador de Chuva .....	33
3.3 Desenvolvimento do método de Ensaio.....	36

3.3.1 Etapa 1: Preparação .....	36
3.3.2 Etapa 2: Montagem.....	41
3.3.3 Etapa 3: Operação.....	43
3.3.4 Etapa 4: Tratamento .....	45
3.4 Ensaios realizados.....	48
3.4.1 Solo utilizado.....	48
3.4.2 Geossintético utilizado .....	50
3.4.3 Programa de ensaios.....	51
<b>CAPÍTULO 4 - RESULTADOS .....</b>	<b>52</b>
4.1 Equipamento e método de ensaio .....	52
4.1.1 Ensaios realizados sem a presença da geomanta.....	56
4.1.2 Ensaios realizados com a presença da geomanta.....	62
4.2 Análise de desempenho da geomanta.....	69
4.3 Cálculo do índice de ensaio de bancada .....	72
<b>CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>75</b>
5.1 Conclusões .....	75
5.2 Recomendações para trabalhos futuros .....	76
<b>ANEXOS .....</b>	<b>77</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>80</b>

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Classificação da erosão pelo agente gerador (Adaptado de Zachar, 1982).	6
Tabela 2.2	Classe de fatores intervenientes na erosão hídrica segundo Bastos et al (2000).	7
Tabela 3.1	Caracterização do solo.	49
Tabela 3.2	Principais propriedades da geomanta.	50
Tabela 4.1	Parâmetros dos ensaios sem a presença da geomanta.	56
Tabela 4.2	Parâmetros dos ensaios com a presença da geomanta.	62
Tabela 4.3	Características dos corpos-de-obra da geomanta.	63
Tabela 4.4	Valores médios para perda de solo acumulada para amostras cobertas pela geomanta separados por baia.	69
Tabela 4.5	Valores médios para perda de solo acumulada para ensaios com e sem geomanta separados por baia.	70
Tabela 4.6	Valores médios para perda de solo acumulada por intensidade de chuva.	72

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Parcela utilizado por Smets et al. (2007).	21
Figura 3.1	Representação esquemática das baias de escoamento (Adaptado de ASTM D7101).	26
Figura 3.2	Vista da rampa de escoamento.	27
Figura 3.3	Gabarito utilizado na confecção das aberturas circulares nas baias.	28
Figura 3.4	Mesa de suporte das baias.	29
Figura 3.5	Articulação para mudança de declividade.	30
Figura 3.6	Detalhe da conexão grelha-mesa.	30
Figura 3.7	Mesa de suporte com grelha submetida a uma inclinação qualquer.	31
Figura 3.8	Conformação inicial do núcleo de solo.	32
Figura 3.9	Alinhamento dos bordos do núcleo de solo e face da baía de escoamento.	32
Figura 3.10	Processo de solda TIG da chapa ao cilindro.	32
Figura 3.11	Núcleo de solo finalizado.	32
Figura 3.12	Simulador de chuva de propriedade da UFRPE.	33
Figura 3.13	Grade superior.	34
Figura 3.14	Mecanismo de oscilação do bico.	34
Figura 3.15	Dispositivo para controle de vazão.	35
Figura 3.16	Esquema geral de funcionamento dos simuladores.	35

Figura 3.17	Compactação do solo no núcleo de solo.	37
Figura 3.18	Proteção da amostra para evitar perda de umidade.	37
Figura 3.19	Posição dos pluviômetros para calibração.	39
Figura 3.20	Bandeijas utilizadas para obtenção dos diâmetros de gota.	41
Figura 3.21	Grânulos formados após secagem.	41
Figura 3.22	Aplicação de silicone em gel nas bordas do recipiente.	42
Figura 3.23	Detalhe da aplicação de massa de calafetar.	42
Figura 3.24	Vista frontal da bancada.	43
Figura 3.25	Vista lateral da bancada.	43
Figura 3.26	Recipientes coletores após precipitação.	44
Figura 3.27	Ensaio realizado com amostras protegidas.	45
Figura 3.28	Filtração inicial utilizando papel filtro.	46
Figura 3.29	Recipientes em processo de decantação.	47
Figura 3.30	Vista em detalhe do recipiente com mistura em decantação.	47
Figura 3.31	Cápsulas antes da secagem.	47
Figura 3.32	Detalhe das cápsulas após secagem.	47
Figura 3.33	Vista geral do local de coleta.	48
Figura 3.34	Ponto de coleta.	48
Figura 3.35	Curva granulométrica do solo.	49
Figura 3.36	Geomanta	50

Figura 3.37	Estrutura da geomanta.	50
Figura 4.1	Vista frontal do equipamento concluído.	53
Figura 4.2	Vista lateral do equipamento concluído.	53
Figura 4.3	Esquema geral do método de ensaio.	55
Figura 4.4	Resultado da perda de solo acumulada por baia no ensaio SG-01.	57
Figura 4.5	Resultado da perda de solo acumulada por baia no ensaio SG-02.	57
Figura 4.6	Resultado da perda de solo acumulada por baia no ensaio SG-03.	58
Figura 4.7	Resultado da perda de solo acumulada por baia no ensaio SG-04.	58
Figura 4.8	Resultado da perda de solo acumulada para baia A de todos ensaios realizados sem a presença da geomanta.	60
Figura 4.9	Resultado da perda de solo acumulada para baia B de todos ensaios realizados sem a presença da geomanta.	60
Figura 4.10	Resultado da perda de solo acumulada para baia C de todos ensaios realizados sem a presença da geomanta.	61
Figura 4.11	Valores médios da perda de solo acumulada por baia de todos ensaios realizados sem a presença da geomanta.	61
Figura 4.12	Resultado da perda de solo acumulada por baia no ensaio CG-01.	64
Figura 4.13	Resultado da perda de solo acumulada por baia no ensaio CG-02.	64
Figura 4.14	Resultado da perda de solo acumulada por baia no ensaio CG-03.	65
Figura 4.15	Resultado da perda de solo acumulada por baia no ensaio CG-04.	65
Figura 4.16	Resultado da perda de solo acumulada para baia A de todos ensaios realizados com a presença da geomanta.	66
Figura 4.17	Resultado da perda de solo acumulada para baia B de todos ensaios realizados com a presença da geomanta.	67

Figura 4.18	Resultado da perda de solo acumulada para baia C de todos ensaios realizados com a presença da geomanta.	67
Figura 4.19	Valores médios da perda de solo acumulada por baia de todos ensaios realizados com a presença da geomanta.	68
Figura 4.20	Valores médios da perda de solo acumulada por baia de todos ensaios realizados com e sem a presença da geomanta	70
Figura 4.21	Aspecto final da amostra de solo após 30 minutos de precipitação. (a) Ensaio sem geomanta, (b) Ensaio com geomanta.	71

## LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS E ABREVIATURAS

<b>ABNT</b>	Associação Brasileira de Normas Técnicas
<b>ASTM</b>	American Society for Testing and Materials
<b>BSCI</b>	Bench-Scale Cover Index
<b>EMBRAPA</b>	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
<b>EP</b>	Eficiência de proteção
<b>FAO</b>	Food and Agriculture Organization <b>of the United Nations</b>
<b>FR</b>	Fator de rendimento
<b>IEB</b>	Índice do Ensaio de Bancada
<b>NBR</b>	Norma Brasileira Registrada
$M_g$	média da massa de solo perdido das amostras protegidas pela geomanta
$M_{sg}$	média da massa de solo perdido das amostras desprotegidas
<b>PERMs</b>	permanente erosion and revegetation materials
<b>PVC</b>	policloreto de polivinila
<b>RECPs</b>	rolled erosion control products
<b>RRE</b>	runoff reduction effectiveness
<b>SLR</b>	Soil loss ratio
<b>SLRE</b>	soil reduction effectiveness

<b>SUCS</b>	Sistema Unificado de Classificação dos Solos
<b>TERMs</b>	temporary erosion and revegetation materials
<b>TNT</b>	Tecido não tecido
<b>UFRPE</b>	Universidade Federal Rural do Pernambuco
<b>USLE</b>	Universal Soil Loss Equation

## CAPÍTULO 1

# Introdução

Seja através de processos naturais ou antrópicos, a erosão do solo pode causar grandes impactos ambientais. Fenômeno resultante de diversos fatores, a erosão caracteriza-se pela desagregação, transporte e deposição de sedimentos. Dentre os fatores que contribuem para o processo erosivo, citam-se: (a) os efeitos provenientes da chuva, (b) do vento e (c) dos deslizamentos de terra e (d) a alteração da cobertura natural através da construção de estradas, mineração a céu aberto e construção de aterros, entre outros (Weggel & Rustom, 1992).

O controle sobre os processos erosivos é uma necessidade constatada em vários segmentos da engenharia. A movimentação de terra necessária para a execução de taludes rodoviários, por exemplo, pode resultar em taludes de corte ou aterro vulneráveis à erosão superficial. Desde grandes barragens até condomínios residenciais, os processos erosivos devem ser identificados e controlados a fim de evitar danos posteriores.

O processo de erosão superficial de solos tem afetado tanto áreas rurais quanto urbanas gerando consequências não somente ambientais, mas também econômicas e sociais. No Brasil, os processos erosivos estão diretamente associados à atividade agrícola, exploração agrícola e expansão urbana, sendo que atualmente é considerado um dos maiores problemas ambientais (Lafayette, 2006). Em geral, nas áreas urbanas os empreendimentos mais afetados pela erosão superficial são loteamentos recém-implantados com terrenos desmatados e não ocupados e em ruas ainda não pavimentadas (Carvalho et. al, 2006).

Dentre as alternativas tecnológicas para controle de erosão a utilização de geossintéticos tem se mostrado como alternativa eficiente na redução da taxa de erosão do solo (Smets et al., 2007). A referida aplicação encontra-se em amplo desenvolvimento em alguns países como, por exemplo, os EUA, onde métodos racionais para seleção e controle de produtos estão sendo concebidos. Inclusive já estão disponíveis normas técnicas para avaliação da perda de solo para estes materiais.

A utilização de produtos geossintéticos para o combate à erosão tem obtido avanços significativos desde a década de 90, resultado da proteção garantida aos solos em situações propícias a ocorrência de processos erosivos (Marques, 2004). Dentre os geossintéticos disponíveis para o controle de erosão, destacam-se as geomantas, produtos que atuam como barreiras de proteção, garantindo a integridade do solo através da redução do impacto das gotas de chuva no solo, a diminuição da velocidade de escoamento superficial e a redução do transporte de sedimentos pelo fluxo das águas. As geomantas podem ser de uso temporário, que oferecem proteção até o desenvolvimento da cobertura vegetal, ou de uso permanente, utilizadas em casos que necessitem de proteção imediata contra erosão, permanecendo inalterados mesmo na ausência de vegetação.

A eficiência da utilização das geomantas está associada à correta especificação do produto, bem como as técnicas construtivas adotadas para as diversas situações de obra. O avanço tecnológico tem promovido o desenvolvimento destas soluções, unindo novos produtos e técnicas adequadas. Neste contexto, o conhecimento aprofundado dos materiais proporcionam soluções seguras, duráveis e econômicas.

A partir da realização de uma análise coerente e integrada das propriedades e do comportamento dos materiais é possível o conhecimento de algumas características específicas. Estas análises dependem da existência de procedimentos operacionais controlados que sejam reproduzíveis e obtenham resultados confiáveis, realizadas através de ensaios de campo e/ou laboratório. Em muitos casos, nos ensaios de campo o controle sobre todas as variáveis envolvidas no processo é praticamente impossível, fornecendo resultados restritos para a situação em que se encontram. Nos ensaios de laboratório a

situação é favorável para se avaliar uma única variável, pois é possível realizar o controle sobre as demais. Os ensaios em laboratório tem o objetivo de simular e avaliar as diversas situações em que os materiais estarão sujeitos quando implementados em campo. Os resultados obtidos também servem, por exemplo, para comparar diferentes produtos submetidos às mesmas condições.

No Brasil, o empirismo ainda domina a escolha e instalação dos produtos, sendo o assunto ainda muito pouco abordado na literatura técnica nacional. Apesar da crescente disponibilidade de produtos, a especificação de geossintéticos para controle de erosão é limitada pela ausência de caracterização desses produtos e de normas nacionais, sendo a única fonte técnica de informação, os catálogos dos fabricantes. A carência da caracterização dos produtos geossintéticos quanto ao combate à erosão tem conduzido à especificação dos produtos através de parâmetros que, em alguns casos, não auxiliam no controle do processo erosivo. Isto, associado à técnica construtiva e de manejo utilizada, tem promovido o insucesso de determinadas soluções adotadas.

Especificamente na avaliação de produtos geossintéticos utilizados na proteção contra erosão superficial, a avaliação em laboratório permite identificar a contribuição do produto na redução da perda de sedimento. No intento de contribuir com as pesquisas na área de controle de erosão com geossintéticos, este trabalho apresenta o desenvolvimento de um equipamento capaz de representar condições de campo e mantê-las constantes, associado à fixação de procedimentos operacionais normativos explícitos com o intuito de apreciar comparativamente o desempenho de diferentes geomantas.

## **1.1 Objetivos da pesquisa**

Este trabalho tem por objetivo construir um equipamento e desenvolver um método de ensaio para caracterização de produtos geossintéticos utilizados para controle de erosão superficial.

De forma específica, o trabalho tem por objetivo desenvolver uma bancada de testes que permita realizar, em laboratório, a caracterização de geossintéticos

aplicados ao controle de erosão superficial de taludes, bem como avaliar a operação da bancada e o respectivo método de ensaio.

Utilizando a bancada construída e o método de ensaio desenvolvido, será realizada uma avaliação, de forma preliminar, do desempenho de um geomanta na redução da taxa de erosão superficial sobre uma amostra de solo local.

## **1.2 Organização do texto**

O trabalho está dividido de forma didática, apresentando inicialmente a etapa de construção do equipamento, seguida da etapa de realização dos ensaios. Inicialmente, a bancada de testes foi projetada e construída para, em seguida, realizar os ensaios de avaliação da geomanta. A partir dos resultados obtidos, foi possível avaliar o funcionamento do equipamento e o desempenho da geomanta da redução da taxa de erosão superficial.

Além deste capítulo, a dissertação está dividida em mais 4 capítulos. O capítulo 2 apresenta a uma revisão bibliográfica referente ao tema da pesquisa. No capítulo 3 são descritas as etapas de construção do equipamento e o desenvolvimento do método de ensaio, bem como a programação de ensaios realizados. No capítulo 4, além da exibição e avaliação da bancada construída, estão apresentados os resultados obtidos nos ensaios de avaliação da geomanta. Por fim, no capítulo 5 são apresentadas as principais conclusões obtidas, além de recomendações para trabalhos futuros.

## CAPÍTULO 2

# Revisão Bibliográfica

### 2.1 Erosão

A erosão, de uma forma geral, pode ser definida como um processo complexo caracterizado pela desagregação, transporte e deposição de partículas das rochas ou solos. Oriundo do latim *erodere*, que significa escavar, o termo erosão representa um fenômeno que está associado a um conjunto de fatores que necessitam de uma análise profunda e integrada para compreender sua magnitude e importância.

A erosão é um processo natural que associada aos processos pedogenéticos atua de forma a moldar a superfície terrestre. Quando este processo ocorre sob condições naturais, dá-se o nome de erosão geológica. Para Silva et al. (2003) a erosão geológica é o desgaste natural da superfície da terra por água, gelo ou outros agentes naturais, sob condições de meio ambiente natural em termos de clima e vegetação, sem perturbações provocadas pelo homem, sendo possível estabelecer o ciclo desta forma de erosão. Bertoni et al. (2005) destaca que a erosão geológica ou natural é aquela que se manifesta como uma ocorrência normal dos processos de modificação da crosta terrestre.

A existência de uma interferência antrópica promove uma aceleração no processo erosivo natural, aumentando sua intensidade. Na ocorrência deste fator, a erosão passa a ser definida com erosão acelerada. A ação humana pode ser efetivada de várias formas, a depender do meio inserido. No meio urbano, o aumento da impermeabilização superficial, e no meio rural, o manejo do solo de modo inadequado, são exemplos de especificidades (Carvalho et al., 2006).

### 2.1.1 Classificação das erosões

Comumente, o agente erosivo classifica o tipo de erosão. Neste ponto, Zachar (1982) propõe a classificação das erosões em 6 grupos conforme apresentado na Tabela 2.1.

<b>Agente Erosivo</b>	<b>Classificações</b>
Água	Erosão Hídrica
Geleira	Erosão Glacial
Neve	Erosão Nival
Vento	Erosão Eólica
Terra, detritos	Erosão soligênica
Organismos	Erosão organogênica

Tabela 2.1 – Classificação da erosão pelo agente gerador (Adaptado de Zachar, 1982).

A divisão mais comum, segundo Carvalho et al. (2006) é classificar a erosão em quatro grandes grupos: erosão hídrica, erosão eólica, erosão glacial e erosão organogênica. Neste trabalho será enfatizada a erosão hídrica.

### 2.1.2 Erosão hídrica

A erosão hídrica é aquela que tem a chuva como principal agente erosivo, manifestando seu impacto de duas formas: pela ação da gota da chuva e pelo escoamento superficial. Atuando sobre toda a superfície terrestre, principalmente em áreas com alta pluviometria, este tipo de erosão é um dos principais processos associados à degradação ambiental, devido à desagregação e o transporte das partículas do solo decorrentes dos fatores envolvidos (Griebeler et al., 2001).

Castro (1979) caracteriza as forças atuantes neste tipo de erosão como forças ativas e passivas. As forças ativas são estabelecidas pelas características da chuva, pela declividade e área (comprimento do declive) do terreno e pela capacidade de absorção do solo. Já as forças passivas (forças de resistência exercidas pelo solo) são devido às propriedades físicas e químicas do solo e pela quantidade de cobertura vegetal sobre ele. Bastos et al (2000) elenca os fatores atuantes categorizado em quatro classes, conforme exposto na Tabela 2.2.

<b>Classe</b>	<b>Fatores intervenientes</b>
Fatores climáticos	Chuva Temperatura Radiação solar Vento
Fatores topográficos	Declividade Comprimento de rampa
Fator vegetação	Cobertura vegetal
Fator solo	Erodibilidade do solo

Tabela 2.2 – Classe de fatores intervenientes na erosão hídrica segundo Bastos et al (2000).

Dentre os fatores climáticos, destaca-se a chuva como o de maior importância, sendo a intensidade o fator pluviométrico preponderante (Bertoni, 2005). Utilizando a expressão erosividade, Lal & Elliot (1994) definiram a capacidade dos agentes erosivos efetuarem a desagregação e o transporte do solo.

Os fatores topográficos têm sua principal influência no escoamento superficial da água e de sedimentos, pois quanto maior for a declividade e o comprimento da rampa, maior será a velocidade do fluxo e, conseqüentemente, maior será a capacidade de erosão.

O fator vegetação influencia na interceptação da chuva e na diminuição da velocidade do escoamento superficial.

O fator solo, citado por Bastos et al (2000) e descrito por Castro (1956) como força passiva, é representado através da sua capacidade de resistir aos processos erosivos. Esta capacidade recebe o nome de erodibilidade e pode ser definida como a propriedade do solo que retrata a maior ou menor facilidade com que as partículas são destacadas e transportadas pela ação de um agente erosivo (Bastos, 1999). O fator solo possui propriedades que definem a velocidade de infiltração da água da chuva e designam a resistência à erosão.

Podem-se destacar três características relacionadas a este fator: a textura, a estrutura e a densidade. A textura está associada à capacidade de infiltração e absorção do solo, além da coesão. Os solos arenosos, que possuem alta taxa de infiltração, apresentam um menor potencial à enxurradas. Entretanto, por possuírem baixa coesão, ocorre um maior destacamento das partículas.

Na região Nordeste do Brasil, onde se apresenta um quadro de estação seca longa, a chuva encontra o solo muito seco e com pouca cobertura vegetal, aumentando a vulnerabilidade do solo ao processo erosivo (Lepsch, 2010).

### **2.1.3 Tipos de erosão hídrica**

Segundo Ferreira (1981), a chuva, ao cair no terreno, pode evaporar, infiltrar no solo ou escoar sobre o mesmo.

O processo de erosão pela água da chuva inicia quando as gotas atingem a superfície do solo, tendo como consequência o rompimento dos agregados, os quais são colhidos pela película de água que escorre.

A literatura diverge quanto à definição dos tipos de erosão hídrica. Bertoni (2005) e Leipsch (2010) apresentam a erosão causada pela água dividida em três formas: laminar, em sulco e voçorocas. Para Camapum (2006), a erosão hídrica é dividida em três tipos principais: erosão superficial; erosão interna e erosão linear (sulcos, ravinas e voçorocas), baseado no estágio de evolução do

processo. Nesse contexto, a erosão superficial é também denominada laminar, sendo a erosão em sulcos considerada como fase inicial da erosão linear.

A tipologia adotada por Farias (1999) mescla as duas vertentes, distinguindo a erosão hídrica em superficial e subterrânea (interna), citando a voçoroca como estágio avançado de um desses dois tipos de erosão.

Todas elas omitem a erosão por salpicamento, ou efeito splash, que é o estágio mais inicial no processo erosivo, pois prepara as partículas para serem transportadas pelo escoamento superficial (Guerra, 2005). Este, por sua vez, acontece quando a intensidade da chuva supera a capacidade de infiltração do solo. Para Cantalice (2001), a partir deste ponto se inicia a erosão entressulcos, fase em que o solo apresenta incisões na superfície realizadas pelo escoamento superficial, mas há a desagregação e transporte das partículas do solo.

A erosão laminar é caracterizada através da remoção de uma fina camada de solo em toda área, com aparecimento ou não de sulcos. Segundo FAO (1967), a definição do final da erosão laminar e o início da erosão em sulcos é indeterminada.

Para Ferreira (1981), o desgaste causado pela erosão laminar ocorre em camadas de poucos milímetros de cada vez, sendo paralela à superfície do terreno, não sendo notado durante anos. Contudo, com o passar do tempo, começam a surgir na superfície do solo, pedras que anteriormente estavam enterradas, raízes descobertas, entre outros.

A erosão em sulcos resulta em pequenas irregularidades na superfície do solo. Neste tipo de erosão, a desagregação das partículas é feita principalmente pelo fluxo superficial e não pelo impacto das gotas da chuva (que representa o principal processo na erosão entressulcos).

A erosão interna ou piping é definida como um processo de formação de canais a partir da face de uma encosta ou talude por meio de carreamento das partículas (Carvalho et al., 2006).

O ravinamento se refere ao canal de escoamento pluvial concentrado, apresentando características erosionais com traçados bem definidos. Com o

tempo, o canal se aprofunda devido à erosão das enxurradas podendo atingir até alguns metros de profundidade (Baccaro, 1994)

Conforme Bertoni e Lombardi Neto (2005, p. 77):

*“Voçorocas: É a forma espetacular da erosão, ocasionada por grandes concentrações de enxurrada que passam, ano após ano, no mesmo sulco, que vai se ampliando pelo deslocamento de grandes massas de solo, e formando grandes cavidades em extensão e profundidade.”*

#### **2.1.4 Erosividade da Chuva**

A capacidade das chuvas em causar erosão do solo pode ser quantificada e expressa como um índice de erosividade das chuvas.

Lal & Elliot (1988) dizem que a erosividade é a força dirigente dos agentes de erosão, os quais provocam a desagregação do solo e o seu escoamento. A erosividade da chuva está relacionada tanto ao impacto das gotas, quanto ao transporte do solo que a chuva gera. A capacidade da enxurrada de causar erosão é atribuída à sua energia cinética, à pressão exercida por ela sobre o solo ao tamanho médio das gotas e à sua intensidade. A energia cinética da chuva é avaliada devido ao deslocamento das gotas em direção à superfície do solo, em decorrência da gravidade.

O impacto provocado pela gota causa a desagregação das partículas do solo. Segundo Guerra (2005), ao atingirem o solo, as gotas provocam a erosão por salpicamento (também conhecido como splash), que representa o estágio inicial do processo erosivo.

Conforme Lal & Elliot (1988), as medições diretas da erosividade envolvem, simultaneamente, o monitoramento da carga de energia e o splash.

#### **2.1.5 Erodibilidade do solo**

Durante um evento chuvoso, as gotas de água atingem a superfície do solo a velocidades elevadas. A inexistência de proteção no solo é um agravante do processo de erosão. Como descrito, as partículas do solo são desagregadas

e, conforme a continuidade do evento inicia-se o escoamento superficial. Para diferentes solos submetidos a eventos de chuva, sob demais condições semelhantes, a diferença na perda de solo devido à erosão estará condicionado a erodibilidade.

Para Bastos (1999), a erodibilidade pode ser definida como uma reação do solo, em menor ou maior escala, quanto à desagregação e o transporte das partículas em virtude da atuação dos agentes erosivos. As variáveis envolvidas no processo erosivo, associadas às propriedades dos solos em diferentes estados, influenciam na determinação desta propriedade.

A definição da erodibilidade de solo é de extrema dificuldade em virtude da complexidade existente nas correlações entre as propriedades físicas e químicas do solo.

Bertoni & Lombardi (2005) destacam as propriedades do solo que influem sobre a erodibilidade:

***“As propriedades do solo que influenciam a erodibilidade pela água são: (a) as que afetam a velocidade de infiltração da água do solo, a permeabilidade e a capacidade de absorção da água; (b) aquelas que resistem à dispersão, ao salpicamento, à abrasão e às forças de transporte da chuva e enxurrada.”***

A caracterização da erodibilidade dos solos é tema pesquisado em diversas áreas e, em todas elas, a complexidade existente entre as propriedades físicas e químicas dos solos, promove o desenvolvimento de inúmeras teorias.

Quanto a aspectos geotécnicos, os ensaios de desagregação, Inderbitzen (Inderbitzen, 1961) e Pinhole Test, são utilizados como forma de determinação direta da erodibilidade. A análise e correlação de outros parâmetros da mecânica dos solos como limites de Atterberg, granulometria, resistência ao cisalhamento e grau de saturação, são amplamente utilizadas para avaliação da erodibilidade dos solos.

De acordo com Bastos et al. (2000), na literatura técnica, os estudos sobre a erodibilidade do solo é abordado em diferentes áreas de conhecimento. Contudo, no meio geotécnico estes estudos são menos frequentes. As

pesquisas neste campo ainda são muito escassas, se comparadas com a importância dos problemas geotécnicos ocasionados.

### **2.1.6 Quantificação das perdas de solo por erosão**

De acordo com Eltz (1977), as tentativas de quantificar as perdas de solo por erosão através da modelagem matemática iniciaram-se em 1940, nos EUA. A primeira equação formulada apresentava somente duas variáveis (grau e comprimento do declive). Entretanto, a medida que novos fatores que influenciam na erosão foram sendo estudados, esses parâmetros foram incluídos na equação.

O primeiro modelo de grande aceitação na previsão da perda de solo por erosão hídrica foi desenvolvido na década de 50 e publicada originalmente em 1960 por Wischmeier and Smith (1960) e na sua versão definitiva por Wischmeier and Smith (1978). Foi denominada Equação Universal de Perda de Solo (USLE) por poder ser utilizada em qualquer região, desde que existam dados aplicáveis ao local.

A equação é expressa por  $A = R.K.L.S.C.P$ , onde

A é a perda do solo por unidade de área;

R representa a erosividade da precipitação;

K é o fator erodibilidade do solo;

L é o fator relativo ao comprimento de declive;

S é o fator que representa o grau de declividade da encosta;

C é o fator de uso e manejo do solo. Varia desde 0 (para coberturas que protegem o solo em sua totalidade) a 1 (para solos totalmente expostos);

P é o fator de prática de conservação. Representa a relação de perdas de solo entre um terreno com determinada prática conservacionista e um terreno em que a cultura está plantada no sentido do declive.

Em estudos de pequena escala, os valores numéricos de perdas de solo por erosão determinados não podem ser tomados como dados reais, servindo

tão somente para categorizar qualitativamente as áreas quanto sua menor ou maior suscetibilidade à erosão laminar, podendo cartografa-las em mapas de suscetibilidade à erosão laminar.

### **2.1.7 Controle de erosão**

Após o seu início, os processos erosivos costumam apresentar uma progressão contínua. Esta evolução é influenciada pelas condições locais, naturais e/ou antrópicas. Dependendo do potencial dos agentes erosivos, o quadro evolutivo pode levar ao comprometimento total ou parcial da área submetida a erosão.

Devido a sua importância tanto ambiental quanto econômica, várias técnicas para controle de erosão foram desenvolvidas (Weggel and Rustom, 1992). As ações executadas a fim de prevenir, cessar ou reverter um processo erosivo são definidas como medidas de controle de erosão, envolvendo desde o estabelecimento de políticas de uso e manejo do solo até obras de engenharia.

Como medidas preventivas, as práticas conservacionistas do solo, amplamente adotadas em áreas rurais, objetivam resistir aos processos erosivos através da manutenção da cobertura vegetal do solo e construção de terraços (Wadt, 2003). Entre as medidas corretivas utilizadas destacam-se as obras de engenharia, compreendendo desde a instalação dos dispositivos de drenagem urbana ao uso de produtos geossintéticos.

### **2.1.8 Erosão em áreas urbanas**

Com o crescimento acelerado das zonas urbanas, as ocupações do solo através da construção civil (condomínios, loteamentos, indústrias, sistemas viários, etc.), muitas vezes, tem causado um grande impacto negativo nas proteções naturais do solo, levando-o a um desgaste prematuro. Diante deste quadro faz-se necessário a aplicação de medidas que visem prevenir ou corrigir os problemas gerados por esta má manipulação do solo.

As medidas preventivas objetivam evitar que o processo erosivo se inicie. Práticas como preservação da vegetação e o controle das águas pluviais são exemplos de medidas de prevenção. Quando o processo de erosão já foi iniciado, métodos de correção precisam ser aplicados com a finalidade de reparar os danos (medidas de recuperação) ou cessar a evolução destes (medidas de estabilização).

As obras de engenharia são soluções eficazes na correção de processos erosivos em desenvolvimento. Exemplo destas ações são a estabilização de taludes, e a pavimentação e drenagem.

Nas zonas urbanas, as vias e ruas são caminhos preferenciais das águas pluviais. A ausência de pavimentação contribui para a formação dos processos erosivos. As águas precipitadas formam pequenos sulcos que evoluem durante o trajeto. Entretanto, a utilização isolada da pavimentação como solução para a prevenção e/ou correção dos processos erosivos não é suficiente (CAMAPUM, 2006).

A associação da implantação de uma pavimentação com a execução de dispositivos de drenagem garantem que as águas pluviais sejam coletadas, transportadas e dispostas corretamente.

A estabilização de taludes é um item de destaque dentre as alternativas de controle devido à diversidade de elementos encontrados na engenharia e às solicitações existentes. Dentro dos métodos mais frequentes para estabilização de taludes estão a proteção mecânica da face do talude, plantio de vegetação e obras de contenção

## **2.2 Geossintéticos**

O controle sobre os processos erosivos é uma necessidade constatada em vários segmentos da engenharia. A movimentação de terra necessária para a execução de taludes rodoviários, por exemplo, pode resultar em taludes de corte ou aterro vulneráveis à erosão superficial. Desde grandes barragens até condomínios residenciais, os processos erosivos devem ser identificados e controlados a fim de evitar danos posteriores.

Dentro deste escopo, com o avanço das técnicas de controle de erosão, o uso de geossintéticos tem se mostrado como alternativa eficiente na redução da taxa de erosão do solo (Smets et al., 2008).

Segundo Vertematti (2004), desde 3000 a.C. é comum o uso de materiais de origem natural para melhorar a qualidade dos solos. Materiais vegetais compostos de fibras resistentes foram utilizados, por exemplo, na Grande Muralha da China e em várias obras do Império Romano. Contudo, o emprego de materiais sintéticos (de origem artificial) produzido pela indústria têxtil somente ocorreu em meados do século XX.

### **2.2.1 Tipos de geossintéticos**

De acordo com a NBR 12553, geossintético é a nomenclatura atribuída aos produtos industrializados desenvolvidos para aplicações em obras geotécnicas. São produtos poliméricos sintéticos ou naturais especificados de acordo com suas propriedades características.

As definições de todos os diferentes tipos de geossintéticos podem ser encontradas na NBR 12553 (ABNT, 1997). Algumas definições de geossintéticos aplicados para controle de erosão são apresentadas a seguir.

Define-se geotêxtil como um produto têxtil bidimensional permeável, composto de fibras cortadas, filamentos contínuos, monofilamentos, laminetes ou fios, formando estruturas tecidas, não-tecidas ou tricotadas, cujas propriedades mecânicas e hidráulicas permitem que desempenhe várias funções numa obra geotécnica.

Define-se geomanta como um produto com estrutura tridimensional permeável, usado para controle de erosão superficial do solo, também conhecido como biomanta, quando biodegradável.

Geocomposto é um produto industrializado formado pela superposição ou associação de um ou mais geossintéticos entre si ou com outros produtos, geralmente concebido para desempenhar uma função específica.

A geocélula é um produto com estrutura tridimensional aberta, constituída de células interligadas, que confinam mecanicamente os materiais nela inseridos, com função predominante de reforço e controle de erosão.

## **2.2.2 Funções dos geossintéticos**

Os geossintéticos envolvem uma vasta diversidade de materiais proporcionando uma grande versatilidade em sua aplicação. Muitas vezes, os produtos podem exercer mais de uma função simultaneamente, numa mesma aplicação.

A escolha do geossintético envolve a análise entre as propriedades características de cada material e aquelas requeridas na solução do problema. A partir de suas características, os geossintéticos podem desenvolver a função de reforço, filtração, drenagem, separação de materiais, impermeabilização, proteção e controle de erosão superficial.

Na década de 1950, surgiram as primeiras utilizações de geotêxteis tecido para o controle da erosão em obras hidráulicas. Na década seguinte, ocorreu a fabricação e a primeira aplicação de geotêxteis não-tecido de fibras. No Brasil, as primeiras aplicações de geotêxteis aconteceram em 1971, principalmente em obras rodoviárias (Vertemati, 2004).

## **2.2.3 Geossintéticos como solução para controle de erosão**

No final da década de 60, conscientes das limitações apresentadas pelas técnicas de cobertura de matéria vegetal, os fabricantes de geossintéticos iniciaram o desenvolvimento de um grupo diversificado de produtos que haveria de ficar conhecido por RECPs (Barbosa, 2008). Os RECPs (do inglês *rolled erosion control products*, i.e., produtos para controle de erosão em rolo) são produtos pré-fabricados dos quais fazem parte as redes de matéria vegetal, os geotêxteis tecidos de malha aberta, os tapetes para controle de erosão e as mantas de reforço.

Com os avanços tecnológicos na indústria de geossintéticos, é crescente o número de produtos que podem ser utilizados no controle e prevenção de processos erosivos. Atualmente, há uma vasta diversidade de produtos geossintéticos que possuem a capacidade de limitar o movimento de partículas do solo proporcionando proteção e promovendo a germinação de sementes que darão origem a cobertura vegetal a qual atuará como agente de controle de erosão.

Os geossintéticos podem atuar no controle dos processos erosivos, principalmente, em barreiras de proteção superficiais e em barreiras de contenção dos sedimentos transportados. Os produtos especificados para estas finalidades devem apresentar capacidade de retenção de sedimentos carregados tanto de solos adjacentes quanto do material desagradado e presente no escoamento superficial.

Alguns exemplos do emprego de geossintético com a finalidade de controlar a erosão superficial são: proteção de taludes, proteção costeira, canais, barreira contra queda de blocos de rocha, valas de drenagem, aterros e recuperação de áreas degradadas.

Esses produtos podem ser constituídos por materiais degradáveis (produtos temporários) ou por materiais não-degradáveis (produtos permanentes). A durabilidade, então, depende das matérias-primas que compõem a sua estrutura.

Os produtos temporários (TERMs, Temporary Erosion and Revegetation Materials) agem de curto a médio prazo e, até que se decomponham, possibilitam o desenvolvimento da cobertura vegetal na área em que foi aplicado (solo propício para cultivo). Os geossintéticos biodegradáveis fazem parte dos chamados sistemas biotecnológicos onde a composição dos geossintéticos inclui fibras naturais ou uma cobertura de matéria orgânica (palhas, raspas de madeira, etc).

Os produtos permanentes (PERMs, Permanente Erosion and Revegetation Materials) se enquadram nos sistemas não biotecnológicos e são empregados em áreas onde se necessita de uma imediata e elevada proteção contra os processos erosivos. Protegem o solo continuamente através de

estrutura de tapetes preenchidos (ou não) com terra ou outros materiais (como argamassa, pedra, concreto, etc).

De acordo com Vertematti (2004), os geossintéticos de atuação permanente podem ser divididos em geocompostos constituídos por materiais não-degradáveis que agem como reforço da vegetação e em sistemas semiflexíveis articulados ou armados. Fazem parte do primeiro grupo as geomantas para reforço da vegetação, os geocompostos constituídos de geomantas preenchidas com solo para controle de erosão e revegetação e as geocélulas preenchidas com solo e vegetação. No segundo grupo incluem-se as geofôrmas, tipo colchões ou sacos, preenchidas com argamassa, os geocompostos constituídos por blocos de concreto aderidos a geotêxteis de alta resistência e as geocélulas preenchidas com pedras ou concreto.

#### **2.2.4 Geomanta no controle de erosão**

As geomantas são geralmente aplicadas em terrenos desprotegidos, em área de superfície inclinada e em solos que sofrem com a ação do escoamento superficial da água. Minimizam os processos erosivos atuando como cobertura do terreno, favorecendo a retenção do solo, mantendo a sua umidade e beneficiando a germinação das sementes formando, assim, uma superfície resistente à erosão.

Quando a cobertura vegetal semeada está estabelecida, o entrelaçamento de suas raízes com a geomanta constitui um sistema de ancoragem adequada e de proteção à superfície do solo (Farias, 1999).

As geomantas, quando biodegradáveis, são conhecidas como biomantas, as quais são apropriadas para a implantação vegetal por evoluir o seu processo de degradação à medida que a planta cresce.

As biomantas antierosivas são produtos temporários e degradáveis, compostos por fibras vegetais desidratadas, palha agrícola, fibra de coco e fibras sintéticas. As fibras são costuradas industrialmente, formando uma trama resistente, protegidas por redes de polipropileno ou juta, o que permite programar sua degradabilidade.

Uma das principais aplicações deste tipo de geossintético é a proteção de taludes contra a erosão causada pelo escoamento superficial da água, pois absorvem o impacto das gotas da chuva e dissipam a energia da lâmina de água que escorre por ele. Essas mantas ainda fornecem nutrientes ao solo por serem degradáveis servindo de matéria orgânica para o solo, auxiliando em sua revegetação e/ou recuperação.

A utilização de produtos tão diversos, favorecem a aplicação desses materiais uma vez que permitem produzir mantas com diferentes graus de eficácia, de durabilidade e de funcionalidade durante o tempo de vida útil da obra (Barbosa, 2008).

São muitas as vantagens das biomantas antierosivas, podendo-se citar: a proteção imediatamente do solo contra erosão superficial, a redução da erodibilidade, a incorporação de matéria orgânica ao terreno, diminuição da evaporação da água do solo, redução do escoamento superficial de água e de sedimentos, proteção contra a incidência direta do sol e a melhora do aspecto visual das áreas degradadas.

### **2.3 Estudos experimentais**

Devido a sua importância e magnitude dos impactos gerados, pesquisas para quantificação e avaliação da erosão dos solos tem sido cada vez mais crescentes nos últimos 20 anos. Paralelamente, a evolução e diversificação de produtos geossintéticos têm orientado estudos para avaliar a influência das propriedades desses materiais sobre o processo erosivo, tanto em trabalhos de campo quanto em laboratório (Bhattacharyya et al., 2011; Rickson, 2006; Shuterland, 1998).

As pesquisas desenvolvidas em campo tornam a obtenção de resultados semelhantes inviáveis em muitos países devido ao custo de implantação e monitoramento das áreas experimentais (Bryan & Luk, 1981). A maioria dos experimentos que avaliam o desempenho de geossintéticos no controle de erosão são desenvolvidos em laboratórios, sob chuva simulada e apresentam parcelas reduzidas e pequenas inclinações (Bhattacharyya et al., 2011).

Apesar da variação do solo e dos fatores climatológicos inviabilizarem a reprodutibilidade das condições de contorno em campo, para Smets et al. (2011) as pesquisas conduzidas em laboratório podem não representar as condições reais de campo. Parâmetros como as propriedades do solo e as características das chuvas podem ser significativamente diferentes.

As dificuldades em se manter um controle satisfatório em pesquisas de campo sobre as variáveis envolvidas nos processos erosivos, tem conduzido ao desenvolvimento de mecanismos de avaliação da perda de solo em laboratório. Além da determinação e controle dos fatores intervenientes nas atividades, o custo associado e a reprodutibilidade dos métodos garantem que seja possível avaliar os efeitos de uma única variável, mantendo constantes as demais.

A maioria das pesquisas desenvolvidas seguem basicamente duas linhas principais: avaliar a influência de determinada propriedade dos geossintéticos sobre os processos erosivos e/ou avaliar o desempenho de diferentes materiais na redução do escoamento superficial e da perda de solo.

Smets et al. (2007) desenvolveram um protocolo para investigar, em laboratório, a eficácia de dois tipos de biomantas à base de folha de palmeira e os efeitos da abertura da malha sobre a infiltração, taxa de escoamento e erosão entre-sulcos e a rugosidade da superfície. O método utilizado consiste em utilizar os corpos de prova dos geotêxteis sobre uma amostra de solo franco-arenosa erodível, submetidas a chuvas simuladas de 45 e 67 mm/h, durante 90 minutos. Os efeitos foram avaliados para duas inclinações diferentes, 15 e 45%.

A parcela utilizada nos ensaios mede 1,25x1,78m e está disposta sobre uma superfície de base retangular articulada que permite efetuar a mudança de declividade da parcela. A parcela possui uma área central de testes e uma área de contorno, identicamente tratada como a área central para compensar as perdas de água e sedimento devido ao respingo da área central. O material escoado e a água percolada na área de testes são coletados na base do talude ou abaixo a da parcela. A Figura 2.1 exhibe a parcela utilizada.

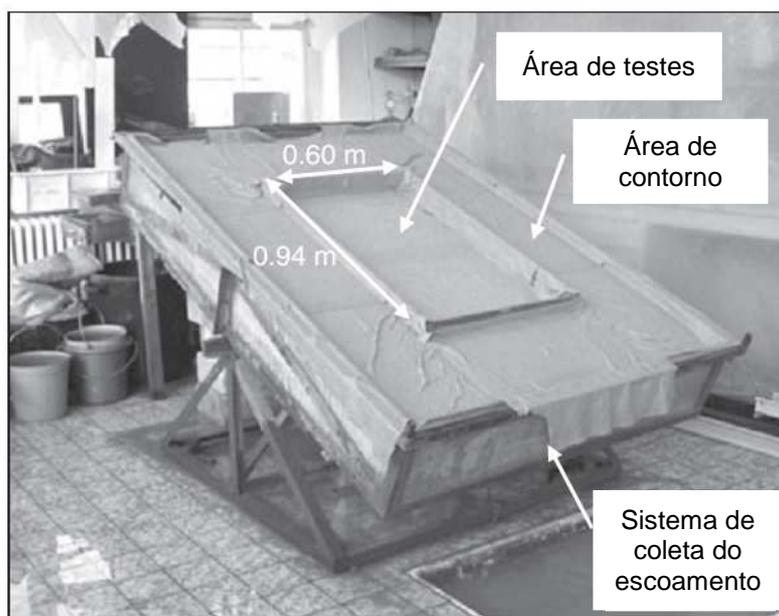


Figura 2.1 – Parcela utilizado por Smets et al. (2007).

Os experimentos utilizaram três geomantas simuladas e dois tipos de biomantas a base da folha de palmeira: *Borassus aethiopum* (Davies et al., 2006), fabricado na Gambia e *Brazilian Buriti* (Guerra et al., 2005), fabricado no Brasil. Para investigar os efeitos do tamanho da abertura da malha do geotêxtil no aumento das taxas de infiltração e redução das taxas de escoamento e erosão entressulcos, três geomantas com tamanho da aberturas diferentes foram construídas.

O resultados indicaram que todas as geomantas analisadas são muito eficazes na redução da perda de solo total para as duas inclinações testadas sob as duas intensidades de precipitação. Observou-se que para superfícies muito íngremes (inclinação igual a 45%), a eficácia do geotêxtil na redução da perda de solo total é cerca de metade do que é observado em um declive médio (igual a 15%).

Constatou-se também que para a intensidade de precipitação de 67 mm/h, o efeito da declividade na perda de solo total é maior que na intensidade de 45 mm/h. A relação entre a perda de solo total para a inclinação de 45% e a inclinação de 15% foi, em média, 4,2 para a intensidade de 45 mm/h e 5,5 para a intensidade de 67 mm/h.

Este comportamento também foi observado por Assouline and Ben-Hur (2006). Estes autores submeteram uma amostra de argila-arenosa a 70 mm de chuva, com intensidades de 24 e 60mm/h, em 5 declividades diferentes, 5,10, 15, 20 e 25%. Observou-se que a relação entre a perda de solo acumulada total para inclinação de 25% e a inclinação de 5% foi 2,0 para a intensidade de 24mm/h e 5,1 para a intensidade de 60mm/h.

O mesmo mecanismo de avaliação foi utilizado por Smets et al. (2011) para avaliar a eficácia de geotêxteis naturais sob condições simuladas, tanto em campo, quanto em laboratório, na redução do escoamento superficial e da perda de solo. Foram estudados quatro tipos de biomantas (Borassus, Buriti, Bamboo e Palha de Arroz) sendo que os ensaios de laboratório foram realizados sobre amostras de solo argilosos e areno-argilosos, sob precipitações simuladas de 45 e 60 mm/h, e inclinações de talude 15 e 45°. Os ensaios de campo foram realizados em 7 países diferentes sobre solos características de cada região e submetidos ao eventos de chuvas naturais ocorridos no período da pesquisa.

Em termos de valores médios, a redução do escoamento e a redução da perda de solo obtido em laboratório é semelhantes ao obtido em campo mas valores de medições individuais são significativamente discrepantes. Os autores justificam esta diferença através das diferentes condições de contorno de parcela e o controle sobre os parâmetros de avaliação, principalmente nos ensaios de campo.

Para os geotêxteis utilizados, a redução do escoamento superficial e da perda de solo constatada nos experimentos de campo foram, em média, 46 e 79% quando comparadas com solo descoberto, respectivamente. No laboratório os valores observados foram, 43 e 84% respectivamente para os mesmos parâmetros.

Apesar da semelhança entre os valores obtidos, a extrapolação de resultados obtidos em laboratório para o campo deve ser investigada com cautela. Bryan and Luk (1981) afirmam que os ensaios de laboratório são precursores e não substitutos dos ensaios em grande escala.

Alvarez-Mozos et al. (2013) investigaram o desempenho de geossintéticos no controle de erosão para taludes com inclinações de 45° e 60°.

Duas biomantas (fibra de coco e juta) e uma geogrelha de poliéster, instalada em duas posições, foram avaliados e comparados com uma área de controle que recebeu o processo de hidrossemeadura. O experimento foi realizado em um talude experimental, sujeito a precipitação natural, sobre solo de alta erodibilidade.

A fim de comparar os valores observados para perda de solo e escoamento de cada tratamento realizado com aqueles obtidos na área de controle, foram calculadas as relações entre o tratamento e a área controle (Ogbobe et al., 1998) e o índice de eficácia (Sutherland, 1998). As expressões para o cálculo da eficácia na redução do escoamento – runoff reduction effectiveness (RRE, %) – e a eficácia da redução da perda de solo – soil reduction effectiveness (SLRE, %) – são representadas pelas expressões 2.1 e 2.2, respectivamente.

$$RRE_i = \frac{R_{control} - R_i}{R_{control}} \quad \text{Equação 2.1}$$

$$SLRE_i = \frac{SL_{control} - SL_i}{SL_{control}} \quad \text{Equação 2.2}$$

Onde  $RRE_i$  e  $SLRE_i$  são a eficácia na redução do escoamento e da perda de solo para o tratamento  $i$ , e  $R_i$  e  $SL_i$  são o escoamento e a perda de solo, respectivamente.

Os autores observaram um comportamento negativo na redução do escoamento para o geotêxteis naturais quando comparados com a área de controle, isto é, escoamento superficial maior que na amostra de controle. As parcelas que receberam o geotêxtil apresentaram resultados para a taxa de escoamento semelhantes a área de controle.

Quanto a redução na perda de solo, todos os geossintéticos utilizados apresentaram taxas de perda de solo menores que a parcela de controle para o talude de  $45^\circ$ . Entretanto, para inclinação de  $60^\circ$ , alguns resultados foram superiores a parcela de controle.

O tratamento com fibra de coco (7% de área aberta) apresentou resultados para perda de solo medidos, em geral, muito menores que na parcela de controle para inclinação de 45°. No talude à 60°, os valores de perda de solo foram maiores. Para Alvarez-Mozos et al. (2013), isto sugere a desagregação ocasionado pelo escoamento abaixo do geotêxtil.

Para as parcelas que receberam o tratamento com os biomantas, a concentração de sedimento medido é menor que a do controle. Estes mesmos tratamento apresentaram, conforme citado, taxas de escoamento maiores que a área de controle. Isto sustenta a hipótese descrita por Bhattacharyya et al. (2011) que o escoamento ocorre sobre a superfície dos geotêxteis, sem atingir o solo.

O estudo de Bhattacharyya et al. (2010) compara os resultados de 30 estudos a respeito dos efeitos de vários geossintéticos sintéticos ou naturais, sobre a erosão hidráulica. Os autores realizaram um tratamento estatístico com todos os dados coletados e avaliaram os efeitos do percentual de cobertura dos geotêxteis, além outras variáveis, sobre erosão do solo. Constatou-se que, no geral, que os geotêxteis utilizados nas pesquisas elencadas por eles, são efetivos na redução da perda de sedimento. Constatou-se ainda que o comprimento das parcelas não possui um efeito direto sobre a redução da perda de solo.

# Materiais e Métodos

Utilizou-se a ASTM D7101 como documento base para produção do equipamento, extraindo as diretrizes e concepções para produzir o mecanismo de avaliação da geomanta. Os parâmetros para realização do ensaio também estão condizentes com os adotados pela mesma norma.

### 3.1 Desenvolvimento do Equipamento

O objetivo principal do equipamento idealizado é submeter uma amostra de solo aos efeitos do impacto direto da chuva e ao escoamento superficial gerado, em laboratório. Para atender a estes objetivos, além de um simulador de chuva, é necessário uma bancada de testes composta por: rampa de escoamento, mesa de suporte e núcleo de solo.

O simulador de chuva é o componente responsável pela reprodução de eventos de chuva. Este componente deve ser capaz de reproduzir precipitações com intensidades e tamanho de gota específicos. Estes parâmetros estão associados à energia cinética característica de cada chuva.

A rampa de escoamento é a estrutura necessária para acomodação das amostras em análise.

A rampa permite a concentração e condução do fluxo superficial sobre as amostras ensaiadas, bem como conduzir o sedimento desagregado aos recipientes coletores. Este componente também oferece o suporte para fixação dos geossintéticos analisados, garantindo o contato direto entre o solo e o geossintético.

A mesa de suporte fornece uma estrutura de apoio para as baias, garantindo estabilidade e inclinação constante para a rampa de escoamento. O núcleo de solo é o item responsável por acomodar as amostras de solo que serão submetidas as precipitações simuladas. A seguir são apresentados a concepção, projeto e construção dos componentes citados.

### 3.1.1 Rampa de escoamento

A estrutura inclinada que recebe as amostras de solo e o geossintéticos em análise, é denominada a partir deste ponto por rampa de escoamento. A rampa de escoamento é formada por 3 baias retangulares providas de orifício circular para instalação das amostras. A função da rampa é prover uma superfície lisa e contínua para que o fluxo superficial, originado da concentração da precipitação incidente, alcance as amostras de solo de formar a desagregar e conduzir o sedimento para recipientes coletores. A figura 3.1 apresenta as dimensões de cada baia.

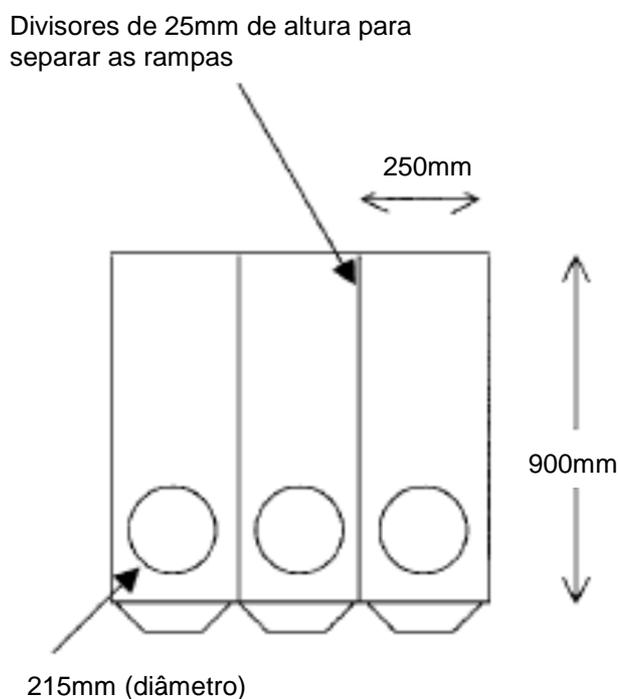


Figura 3.1 – Representação esquemática das baias de escoamento (Adaptado de ASTM D7101).

As baias são basicamente canais para concentração do fluxo. Seguindo as diretrizes obtidas da referida norma, cada baia confeccionada mede 250mm de largura e 900mm de comprimento, com orifício circular de 215mm de diâmetro. Os limites laterais possuem um separador de 25mm.

Os separadores oferecem condições para condução do sedimento carregado pelo escoamento superficial para os recipientes coletores e evitam que o sedimento desagregado pelo efeito de salpicamento seja transferido de uma baia para outra.

A Figura 3.2 mostra as rampas de escoamento dispostas conjuntamente e indica a posição do separador entre as baias.



Figura 3.2 – Vista da rampa de escoamento.

Na fabricação das baias foram utilizadas chapas metálicas de 3,00mm de espessura que foram precisamente cortadas e dobradas de modo a garantir o layout preestabelecido para o equipamento.

Para execução da abertura circular confeccionou-se inicialmente um gabarito em aço inox que, acoplado a furadeira de bancada, permitiu a precisão

requerida para abertura. A Figura 3.3 mostra em detalhe o gabarito acoplado à furadeira na execução da abertura.



Figura 3.3 – Gabarito utilizado na confecção das aberturas circulares nas baias.

Sob cada baia foram instaladas quatro hastes rosqueadas com 50mm de altura e diâmetro de 10mm para permitir a fixação do recipiente com amostra de solo. A fixação realizada desta forma garante que o bordo superior do recipiente se mantenha ao nível superior da superfície da baia de escoamento. Também na face inferior da baia, foi instalada uma cantoneira metálica, tipo L, para garantir o engaste da baia a bancada. O anexo 01 apresenta o detalhamento da rampa de escoamento.

Este engaste é necessário para que, em caso de utilização de grandes inclinações, as baias não sofram nenhum descolamento, permanecendo estáticas durante todo o procedimento de ensaio.

### 3.1.2 Mesa de suporte

Uma estrutura de apoio, denominada por mesa de suporte, formada por cantoneiras metálicas soldadas, permite a disposição das baias a uma altura de

80cm do solo, de modo que permanecem niveladas e sob inclinação constante durante todo o ensaio. Basicamente formada por uma grelha conectada a uma mesa vazada, a estrutura oferece a rigidez e estabilidade necessária para manutenção das condições iniciais. A Figura 3.4 exibe a bancada já construída.



Figura 3.4 – Mesa de suporte das baias.

A bancada dispõe de mecanismo que permite a mudança de declividade da rampa da de escoamento. A mudança na declividade é realizada através de uma articulação tipo dobradiça fixada no bordo superior da mesa e no bordo inferior da grelha. A faixa de inclinação permitida pelo mecanismo é de 0 a 70°.

Essa articulação permite ainda a desconexão das peças facilitando o manuseio e transporte. A articulação pode ser observada na Figura 3.5.



Figura 3.5 – Articulação para mudança de declividade.

Para garantir que a inclinação permaneça inalterada durante os ensaios, duas hastes de inox foram fixadas nas laterais da grelha e, para cada haste, um tubo metálico de 100mm de tamanho e 10mm de diâmetro foi fixado a mesa. Esses tubos são providos de furos laterais que por meio de uma “borboleta” roscada é possível pressionar a haste de aço, mantendo a mesma em uma determinada posição. As Figuras 3.6a e 3.6b exibem em detalhe a conexão grelha-mesa e a Figura 3.7 mostra a grelha com uma inclinação qualquer.



Figura 3.6 – Detalhe da conexão grelha-mesa.



Figura 3.7 – Mesa de suporte com grelha submetida a uma inclinação qualquer.

### 3.1.3 Núcleo de solo

Núcleo de solo é nomenclatura dada para o recipiente que contém a amostra de solo submetida a chuva simulada.

Cada núcleo de solo consiste de cilindro de  $205 \pm 10$  mm de diâmetro e  $100 \pm 10$  mm de altura. No total foram construídos três núcleos de solo. Cada recipiente possui um fundo impermeável para impedir que a água incidente seja perdida e, conseqüentemente, o sedimento transportado seja perdido. Para proporcionar a correta fixação do núcleo de solo à baia de escoamento, uma chapa plana perfurada é adicionada ao cilindro original.

Na construção do núcleo de solo, tanto o cilindro quanto a chapa plana, é utilizado aço inox. O material oferece rigidez, durabilidade, além da resistência mecânica necessária para não deformar durante o processo de preparação da amostra de solo. O anexo 03 apresenta o detalhamento do núcleo de solo.

Na busca de materiais existentes para confecção da peça, tubos metálicos de diâmetros semelhantes ao necessário geralmente tem paredes muito espessas, aproximadamente 20mm. Isto resulta em um elemento de peso elevado e difícil manuseio. Com isso, um cilindro em aço inox de 215 mm de

diâmetro externo e espessura da parede de 5mm foi utilizado, oferecendo fácil manuseio durante o processo.

A chapa plana, também em aço inox, soldada ao cilindro, garantem também a manutenção da geometria inicial durante a preparação da amostra. As Figuras 3.8 a 3.11 mostram o processo produtivo do núcleo de solo.



Figura 3.8 – Conformação inicial do núcleo de solo.



Figura 3.9 – Alinhamento dos bordos do núcleo de solo e face da baía de escoamento.



Figura 3.10 – Processo de solda TIG da chapa ao cilindro.



Figura 3.11 – Núcleo de solo finalizado.

### 3.2 Simulador de Chuva

O item 6.2 da citada norma especifica três intensidades de chuva diferentes para realização do ensaio. Com isso, é possível avaliar o desempenho das geomantas em função da variação das características da chuva. Para valores de  $51 \pm 5$  mm/h,  $102 \pm 5$  mm/h e  $153 \pm 5$  mm/h, o simulador deve ser capaz de produzir gotas uniformes com diâmetros de 3,0mm a 3,5mm.

Em cooperação técnica com o desenvolvimento deste trabalho, a Universidade Federal Rural do Pernambuco, através do laboratório manejo e conservação do solo, cedeu um simulador de chuva para ser utilizado no presente trabalho.

Segundo Cassol et al. (2004), o simulador utilizado foi construído de acordo com as especificações apresentadas por Meyer & Harmon (1979) e reproduz uma distribuição de tamanho de gotas e níveis de energia cinética próximos aos das chuvas naturais.

A Figura 3.12 mostra o simulador utilizando em operação em uma pesquisa de campo.



Figura 3.12 – Simulador de chuva de propriedade da UFRPE.

O bico utilizado neste equipamento é o Vejet 80-150, com diâmetro interno 12,5mm. De acordo com o fabricante, o bico produz um jato tipo leque, com diâmetro de gotas variando de pequeno a médio e, para uma pressão de serviço de 68,6 kPa, uma vazão de 29 litros/minuto.

A representatividade da chuva é garantida por um mecanismo eletromecânico composto por um motor elétrico de 12 volts associado a um conjunto de engrenagens interligadas por uma corrente. O bico aspersor está conectado a uma barra transversal que, através de uma barra metálica ligada a corrente, realiza um movimento semicircular periódico em torno do seu eixo horizontal.

A Figura 3.13 exhibe a grade superior deste simulador e a Figura 3.14 um detalhe do mecanismo de oscilação do bico.



Figura 3.13 – Grade superior.



Figura 3.14 – Mecanismo de oscilação do bico.

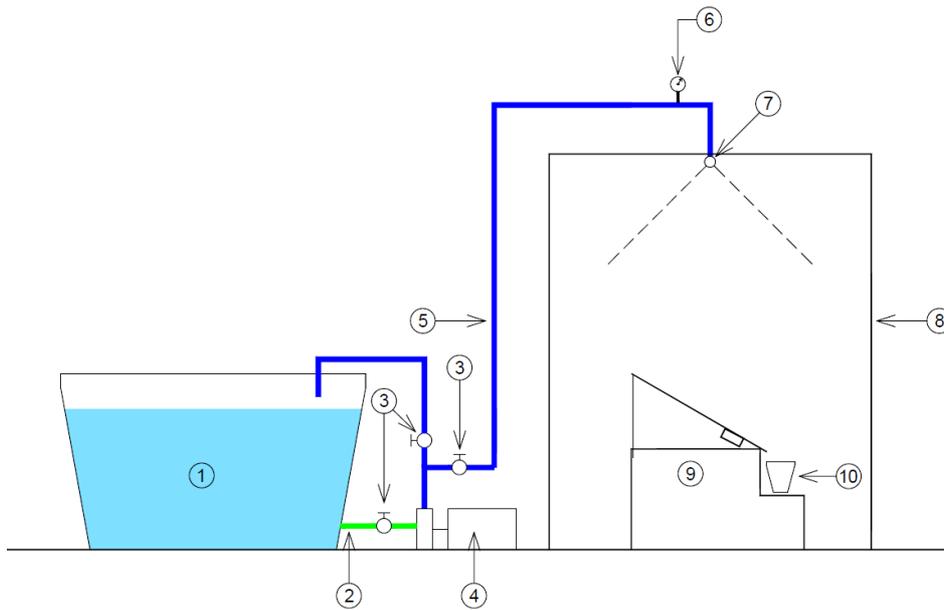
O funcionamento do sistema utiliza uma bomba centrífuga de 1/2 CV, conectada a um reservatório de 250 litros, fornecendo vazão e pressão necessárias para gerar a precipitação desejada. A bomba proporciona uma vazão constante durante todo o ensaio.

Para realizar o controle sobre a pressão de serviço, foi instalado um dispositivo de manobra composto por dois registros de gaveta na saída da bomba e um manômetro próximo ao bico aspersor. Estes componentes garantem, além da especificação da pressão, a estabilização da vazão de saída no bico. A Figura 3.15 apresenta o dispositivo acoplado a bomba.



Figura 3.15 – Dispositivo para controle de vazão.

A bomba está conectada a um dispositivo de acionamento provido de botoeiras tipo liga-desliga e disjuntor-motor para proteção do equipamento. A Figura 3.16 a seguir exhibe o esquema geral de funcionamento do simulador de chuva.



Item	Descrição	Item	Descrição
1	Reservatório: Capacidade de 250L	6	Manômetro
2	Tubulação de sucção: PVC 25mm (3/4")	7	Bico aspersor
3	Registro de gaveta 3/4"	8	Pórtico de sustentação
4	Bomba: Potência 1/2 CV	9	Bancada de testes
5	Recalque: 25mm (3/4")	10	Recipientes coletores

Figura 3.16 – Esquema geral de funcionamento do simulador.

### **3.3 Desenvolvimento do método de Ensaio**

As diretrizes gerais para condução do ensaio de avaliação da geomanta foram extraídas da ASTM D7101 (ASTM, 2008). No entanto, em virtude das restrições locais algumas modificações foram realizadas do procedimento adotado na norma. Para melhor compreensão, dividiu-se o método de ensaio em quatro etapas: preparação, montagem, operação e tratamento. A seguir são descritas cada uma das etapas realizadas.

#### **3.3.1 Etapa 1: Preparação**

Nesta etapa todas as amostras, tanto de solo quanto de geossintético, são selecionadas e preparadas para execução do ensaio. As amostras devem ser previamente caracterizadas para obtenção de suas propriedades físicas. É também nesta etapa que é realizada a calibração do simulador de chuva. A seguir são descritas todas as fases da etapa de preparação.

##### **3.3.1.1 Preparação da amostra de solo**

A partir da amostra de campo reduzida, para cada ensaio, foram separados 40 kg do solo para cada ensaio de avaliação da geomanta. Em cada porção, realizou-se o destorroamento completo, seguido de peneiramento através da peneira # 2,0mm para retirada de material indesejado. Em seguida efetuou-se a mistura do material até a completa homogeneização da amostra. Da fração resultante, procedeu-se a secagem ao ar para obter umidade higroscópica. Para cada núcleo de solo são necessários, aproximadamente, 8 kg de solo seco.

O solo é compactado dentro dos núcleos de solo com umidade de em torno da umidade ótima (8,5%) e massa específica seca máxima (2,23 g/cm<sup>3</sup>). As amostras compactadas foram envolvidas com papel filme para evitar a perda de umidade. As Figura 3.17 e 3.18 mostram a etapa de compactação do solo no interior dos recipientes.



Figura 3.17 – Compactação do solo no núcleo de solo.



Figura 3.18 – Proteção da amostra para evitar perda de umidade.

Em cada camada foi retirada uma pequena quantidade de material para obtenção da umidade média.

### 3.3.1.2 Preparação da amostra de geossintético

Para cada ensaio de avaliação são necessárias três amostras de geomanta. A partir do material fornecido em rolo, executou-se a amostragem seguindo as orientações da NBR 12593 (ABNT, 1992), desprezando as duas primeiras voltas da bobina e também uma faixa de 200mm de largura dos bordos laterais externos, 100mm a mais do que o exigido.

A recomendação é que a retirada dos corpos-de-prova seja no sentido perpendicular à produção do produto, entretanto, para promover uma maior representatividade da situação em campo, o corte das amostras foi realizado no sentido paralelo ao de produção. Desta maneira é possível obter condições semelhantes às de campo já que, geralmente, o sentido de instalação do produto coincide com a direção de fabricação.

As amostras retiradas medem aproximadamente 300x1000mm e foram retiradas ao longo de diagonais definidas de acordo com as diretrizes apresentadas no item 4.2.2 da NBR 12593 (ABNT, 1992).

### 3.3.1.3 Calibração do simulador de chuvas

Para avaliação das características da chuva produzida, dois procedimentos foram realizados, a determinação da intensidade de precipitação e obtenção do diâmetro da gota de chuva para a intensidade determinada. No primeiro é verificada a distribuição volumétrica da precipitação utilizando pluviômetros dispostos sobre toda superfície da rampa de escoamento. Para obtenção do diâmetro médio das gotas utilizou-se o método recomendado no anexo A-1 da ASTM D7101 (ASTM, 2008).

O processo de determinação da intensidade pluviométrica foi realizado primeiro e em seguida, dependendo dos resultados obtidos, a obtenção da distribuição do diâmetro das gotas.

A intensidade média de precipitação de água foi determinada pela relação entre a lâmina média de água obtida em coletores dispostos sobre a rampa de escoamento e o tempo de exposição. A intensidade média é obtida através da equação 3.1.

$$I = \left( \frac{V}{A} \right) \times 60 \quad \text{Equação 3.1}$$

Onde, I é intensidade pluviométrica, em mm/h; V é volume captado em cada pluviômetro, em litros; A é área da seção transversal dos pluviômetros, em m<sup>2</sup> e t é tempo de aspersão, em minutos.

O controle sobre a intensidade de chuva é obtido através da variação da pressão de serviço no bico aspersor. Uma particularidade no simulador construído pela UFRPE é que a posição do equipamento em relação ao bico proporciona intensidades diferentes. Esta variação é ocasionada por uma descontinuidade no movimento oscilatório do bico que, em parcelas de pequena escala, é muito significativa.

Foram utilizados 9 pluviômetros com diâmetro de 99,7mm e altura de 250 mm cada, distribuídos sobre a rampa de escoamento conforme a Figura 3.20.

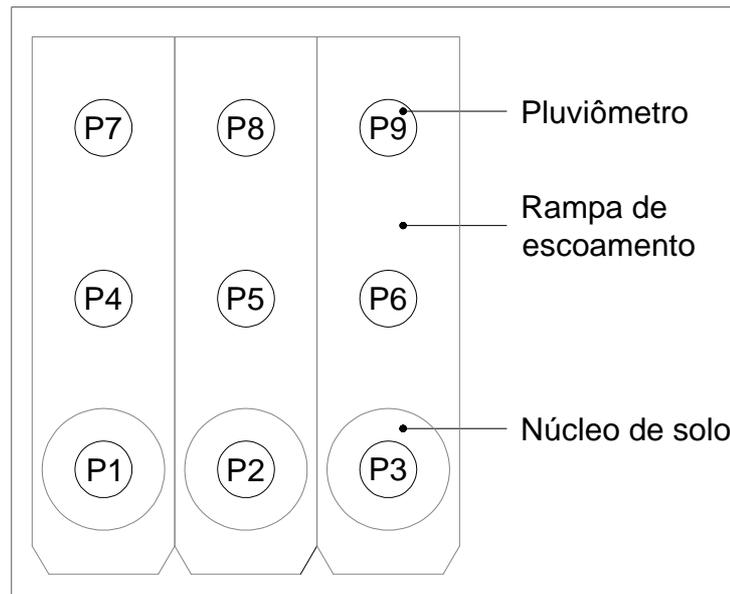


Figura 3.19 – Posição dos pluviômetros para calibração.

Foram avaliadas pressões de serviço variando de 29,4 a 68,6 kPa. Após cada evento, o conteúdo de cada pluviômetro foi cuidadosamente transferido para uma proveta graduada para medir o volume coletado. Com os resultados de cada ponto é possível obter a intensidade pluviométrica média sobre cada baia e, conseqüentemente, sobre toda a rampa.

Após sucessivas tentativas, a pressão de serviço adotada foi de 49,0 kPa. A esta pressão, a intensidade de precipitação gerada é  $100 \pm 4$  mm/h, para as baias B e C, e  $150 \pm 4$  mm/h para baia A.

Inicialmente adotou-se o tempo de precipitação de 5 minutos nos ensaios para obtenção dos resultados preliminares. De acordo com os resultados obtidos, o procedimento foi novamente realizado, mantendo as mesmas condições de contorno, para um tempo de 15 minutos.

Na utilização de simuladores de chuva com bicos pressurizados, devido a pressurização da água, as gotas apresentam velocidade inicial maior do que zero e grande fracionamento em gotas de menores diâmetros, o que dificulta bastante o processo experimental.

Diversos pesquisadores têm aplicado diferentes métodos para determinação do diâmetro das gotas, com destaque para o método da mancha

(Hall, 1970), o método do óleo (Eigel & Moore, 1983), o método de disdrômetro (Joss & Waldvogel, 1969), o método do laser óptico (Kincaid et al 1996) e o método da farinha (Hudson, 1964).

O método da farinha, extensivamente revisado e descrito por Hudson (1964), é o um dos mais empregados para a determinação dos diâmetros de gotas (Conceição, 2002). Este método consiste capturar gotas de água em bandejas preenchidas com uma camada fina de farinha de trigo solta. O contato da água com a farinha forma pequenos grânulos que são posteriormente secos e separados por diferentes diâmetros.

Anterior a etapa de precipitação, é necessária uma calibração prévia para obter a relação entre a massa da gota de água e a massa do grânulo. Considerando-se que as gotas tem formato esférico, calcula-se o volume de cada gota e, posteriormente, a distribuição do diâmetro das gotas. O diâmetro é determinado pelo diâmetro médio obtido por 50% das gotas.

Neste trabalho, o método adotado na obtenção da distribuição dos diâmetros de gotas é o descrito no anexo A-1 da ASTM D7101 (ASTM, 2008). O método representa uma simplificação do método da farinha descrito.

O procedimento consiste em submeter bandejas preenchidas com uma camada de farinha de trigo à chuva simulada durante alguns segundos. A camada não deve ser compactada e apresentar uma superfície lisa. A Figura 3.20 mostra as bandejas utilizadas.

Após a precipitação, o material é submetido a uma secagem prévia ao ar por 12 horas e, após passar pela peneira #4,8mm é encaminhado para estufa a 110 °C durante 2 horas. Nesta fase já é possível observar os grânulos formados. A Figura 3.21 exhibe o material totalmente seco retirado da estufa.



Figura 3.20 – Bandejas utilizadas para obtenção dos diâmetros de gota.



Figura 3.21 – Grânulos formados após secagem.

Com o material totalmente seco, realizou-se o ensaio de granulometria utilizando as peneiras #4,8mm, #2,4mm, #2,0mm, #1,18mm, #0,60mm, #0,45mm e #0,30mm para obtenção da distribuição granulométrica dos grânulos formados. O resultado foi expresso através do  $D_{50}$ , ou seja, o diâmetro médio das gotas é representado pelo o diâmetro abaixo do qual se situam 50% em peso das partículas. O valor aproximado obtido para o diâmetro das gotas foi de 2,0mm.

### 3.3.2 Etapa 2: Montagem

Nesta etapa é realizada a completa montagem de todos os dispositivos para realização do ensaio, inclusive a colocação da geomanta quando for necessário.

Em posse do núcleo de solo devidamente preenchido com solo, conforme exibido no item 3.2.1, faz-se a conexão dos núcleos com as rampas de escoamento. Para evitar que haja perda de solo e água durante o ensaio, aplicou-se em uma primeira tentativa, silicone em gel nas bordas do recipiente. Em outra tentativa, fez-se o uso de massa de calafetar para efetuar a vedação.

As Figuras 3.22 e 3.23 mostram os núcleos de solo com aplicação de silicone e com aplicação da massa de calafetar, respectivamente.



Figura 3.22 – Aplicação de silicone em gel nas bordas do recipiente.



Figura 3.23 – Detalhe da aplicação de massa de calafetar.

Para os ensaios que têm as amostra cobertas, a instalação da geomanta é realizada após a fixação dos núcleos de solo à rampa de escoamento.

É de fundamental importância que haja o contato total entre a geomanta a superfície da baia de escoamento. Não é permitido a formação de ondulações e/ou o desprendimento da geomanta durante a realização dos ensaios.

O passo seguinte é a instalação das baias de escoamento sobre a mesa. Dispostas as rampas, realizou-se o ajuste de inclinação da mesa para obter uma declividade de 3:1. A definição da inclinação se deu através de medição direta com trena metálica e um nível de bolha.

A posição da bancada em relação ao bico já está definida obedecendo as diretrizes indicadas no item 3.1.3. A Figura 3.24 e 3.25 exibem a configuração final da bancada para execução dos ensaios.



Figura 3.24 – Vista frontal da bancada.



Figura 3.25 – Vista lateral da bancada.

A última fase da etapa de montagem é o posicionamento dos recipientes coletores na base das baias. A utilização de recipientes menores, além da facilidade no manuseio, possibilita a instalação mais próxima da borda inferior da baia de escoamento, evitando uma possível perda de sedimento.

### 3.3.3 Etapa 3: Operação

Concluída a etapa de montagem, é durante a etapa de operação que é realizada a simulação de chuva. Nesta etapa é feita a coleta da mistura solo + água nos diferentes estágios do ensaio.

Cada ensaio é composto por uma série de 6 (seis) coletas. As coletas são referentes a um intervalo de tempo de 5 (cinco) minutos de precipitação, totalizando 30 (trinta) minutos de precipitação. No intervalo de cada coleta os recipientes coletores são substituídos, armazenando apenas a mistura (solo + água) oriundas daquele período. Dessa forma é possível avaliar a perda de solo para 5, 10, 15, 20, 25 e 30 minutos de precipitação.

Após a montagem completa do equipamento com a disposição de todos os acessórios necessários, aciona-se a bomba centrífuga permitindo a passagem de água através do bico até a estabilização do jato. Em seguida, aciona-se o dispositivo de oscilação do bico através da fonte elétrica. Neste ponto inicia-se a contagem do tempo.

Decorridos 5 (cinco) minutos, desliga-se a bomba e a fonte elétrica e, aguardado alguns segundos para que o fluxo oriundo da baía cesse, faz-se a troca dos recipientes. Este procedimento é repetido 6 (seis) vezes. A Figura 3.26 mostra os recipientes coletores após um período de 5 (cinco) minutos de precipitação.



Figura 3.26 – Recipientes coletores após precipitação.

Para o perfeito funcionamento deste método, a precipitação incidente sobre a superfície da rampa de escoamento deve ser homogênea. Durante a execução, adotou-se o procedimento de realizar uma série de ensaios com todas as amostras desprotegidas e outra com todas as amostras protegidas pela geomanta. A Figura 3.27 exhibe o ensaio realizado com as amostras protegidas.



Figura 3.27 – Ensaio realizado com amostras protegidas.

As baias foram denominadas por Baia A, Baia B e Baia C a partir da esquerda. Todos os recipientes foram identificadas de acordo com o intervalo de tempo, obtendo assim 18 recipientes coletores por ensaio. Finalizada a fase de coleta, todos os recipientes são conduzidos para a decantação da mistura (etapa de tratamento).

#### **3.3.4 Etapa 4: Tratamento**

A última etapa do ensaio é o tratamento das amostras obtidas. O objetivo é determinar a quantidade de solo desagregado e coletado em cada uma das baias nos diferentes intervalos de tempo, assim como o volume escoado.

Ao final de cada ensaio, obtêm-se 18 recipientes contendo a mistura de solo e água. Todos os recipientes são pesados para obtenção indireta do volume captado em cada período e, em seguida, encaminhados para sedimentação das partículas sólidas.

O método recomendado para retirada do solo em suspensão da mistura é a filtração utilizando papel filtro de abertura de  $6\mu\text{m}$ . Inicialmente adotou-se a utilização de papel filtro, semelhante ao utilizado no ensaio de compactação.

Observou-se que este processo de filtração demanda muito tempo devido a rápida colmatação do filtro, o que dificultou o desenvolvimento da pesquisa. A imagem 3.28a e 3.28b exibem esta fase do processo.

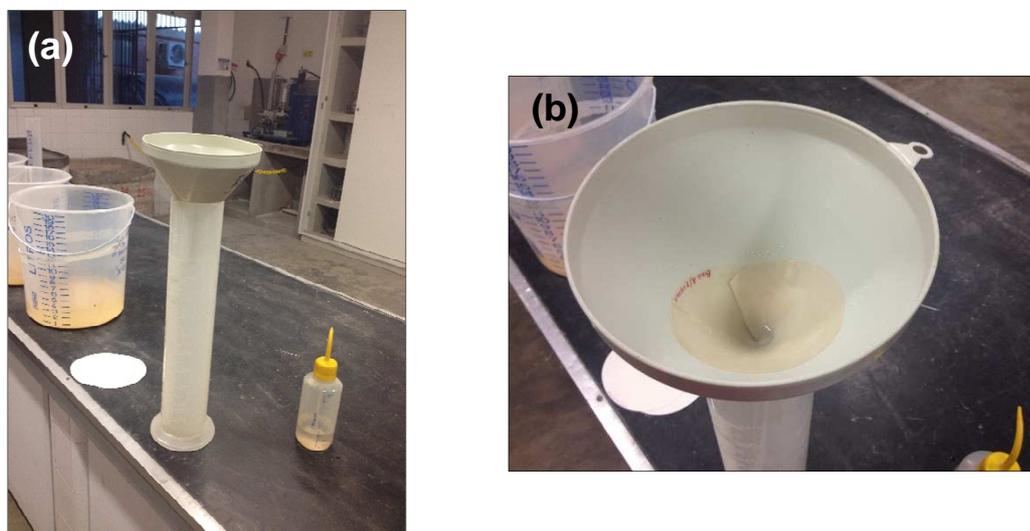


Figura 3.28 – Filtração inicial utilizando papel filtro.

Outros materiais foram avaliados com o objetivo de oferecer celeridade ao processo de filtração sem permitir a perda considerável de solo. A utilização de peneira de 20 $\mu$ m e de tecido não tecido (TNT) foram analisadas e descartadas pelos mesmos motivos apresentados anteriormente. Dessa forma, a decantação da mistura seguida por sifonamento e secagem, tornou-se a solução mais viável.

Durante o processo de sedimentação, os recipientes permaneceram estáticos em ambiente de temperatura controlada e sobre superfície ligeiramente inclinada. A inclinação oferece um melhor rendimento na retirada do líquido excedente.

O período mínimo em que os recipientes permaneceram neste processo foi de 24 horas. As Figuras 3.29 e 3.30 mostram o processo de sedimentação do material.



Figura 3.29 – Recipientes em processo de decantação.



Figura 3.30 – Vista em detalhe do recipiente com mistura em decantação.

Posteriormente ao processo de sedimentação realizou-se o sifonamento do líquido excedente. Utilizando uma mangueira de nível e um balde, um a um os recipientes eram sifonados, restando no interior dos recipientes coletores uma pequena quantidade de água e todo o solo desprendido durante o ensaio.

O conteúdo restante era transferido para cápsulas de porcelana devidamente identificadas e pesadas, com o cuidado de remover todo o material aderido às faces internas dos recipientes, e conduzidos para estufa a 110°C, permanecem lá por, no mínimo, 24 horas. As Figura 3.31 e 3.32 exibem as cápsulas antes e depois da secagem, respectivamente.

Após a secagem as cápsulas são novamente pesadas para obtenção do peso do solo seco.



Figura 3.31 – Cápsulas antes da secagem.



Figura 3.32 – Detalhe das cápsulas após secagem.

### 3.4 Ensaios realizados

Nesta seção são apresentados os materiais utilizados e a programação de ensaios realizados.

#### 3.4.1 Solo utilizado

A ASTM D7101 recomenda o uso de areia padrão ASTM para avaliação das geomantas, inclusive fornecendo a curva granulométrica alvo. Entretanto, como não há restrições para aplicação de outros solos nos ensaios, optou-se por utilizar um solo local, característico da região.

Para tanto, efetuou-se a coleta de solo em talude às margens da BR 101, KM 131, entre as localidades de São José de Mipibu e Goianinha, ambas no estado do Rio Grande do Norte. O solo encontrava-se em uma área sob o desenvolvimento de processo erosivo.

As Figuras 3.33 e 3.34 apresentam, respectivamente, local e ponto de coleta do material.



Figura 3.33 – Vista geral do local de coleta.



Figura 3.34 – Ponto de coleta.

Após a coleta, no laboratório, realizou-se a redução da amostra pelo método do quarteamo, seguido de secagem ao ar e destorroamento. As amostras foram caracterizadas através da realização dos ensaios de

composição granulométrica conjunta (NBR 7181/84), limites de Atterberg (NBR 6459/84 e NBR 7180/88), compactação (NBR 7182/88) e massa específica dos sólidos (NBR 6508/84). Utilizando o sistema unificado de classificação de solos (SUCS), o solo é classificado como SC, areia argilosa.

A Tabela 3.1 apresenta os resultados dos ensaios de caracterização realizados.

Propriedade	Unidade	Valor
Limite de Liquidez	%	22
Limite de Plasticidade	%	12
Índice de Plasticidade	%	10
Umidade Ótima	%	9,0
Massa específica seca máxima	g/cm <sup>3</sup>	2,27
Massa específica dos sólidos	g/cm <sup>3</sup>	2,63

Tabela 3.1 – Caracterização do solo.

A Figura 3.35 exibe a curva granulométrica do solo utilizado.

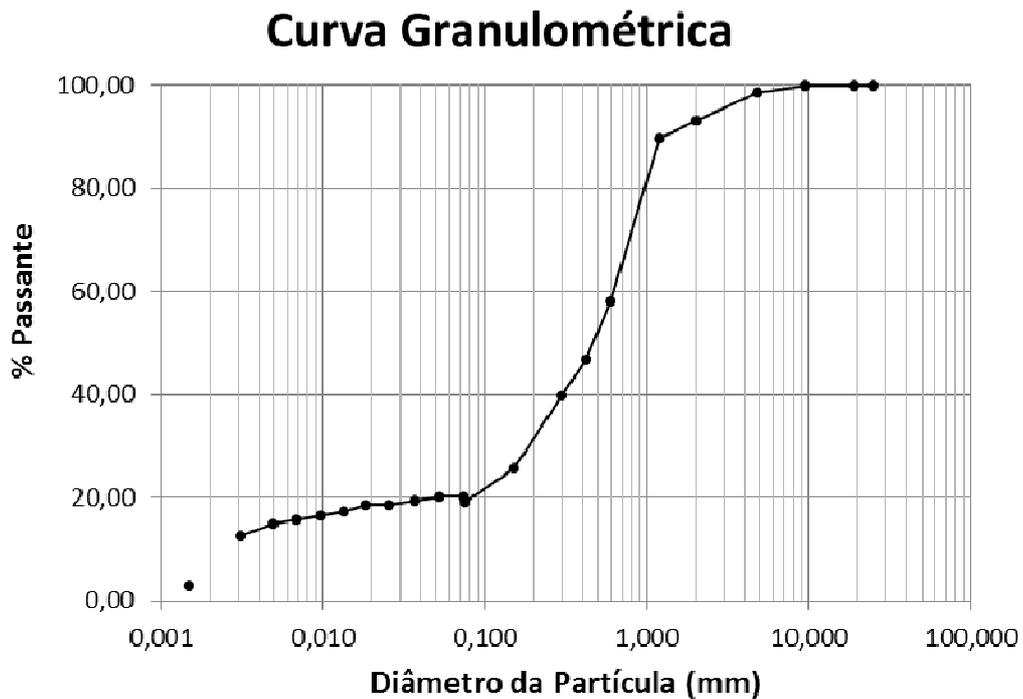


Figura 3.35 – Curva granulométrica do solo.

### 3.4.2 Geossintético utilizado

O produto utilizado na avaliação do funcionamento do equipamento trata-se de uma geomanta de cor verde que confere aparência natural quando incorporada ao talude cuja função é proteger a superfície do solo contra erosão produzidas por chuvas e vento. Composto por 100% de polipropileno, o material é biodegradável e fotodegradável com durabilidade variando de 1 a 48 meses.

. O produto se assemelha a uma malha, com tamanho de abertura 2,0x5,0mm. A Figura 3.36 exhibe o produto utilizado e a Figura 3.37 um detalhe da estrutura da geomanta.



Figura 3.36 – Geomanta



Figura 3.37 – Estrutura da geomanta.

A Tabela 3.2 apresenta um resumo das principais propriedades da geomanta.

Propriedade	Norma	Unidade	Valor
Resistência a tração	ASTM D 4632	N	100
Alongamento	ASTM D 4632	%	13
Tamanho de abertura	-	mm	2 x 5
Espessura	ASTM D 570	%	0,01
Largura	-	M	3,84

Tabela 3.2 – Principais propriedades da geomanta.

### **3.4.3 Programa de ensaios**

A execução dos ensaios permitiu avaliar a metodologia descrita e examinar o desempenho da geomanta utilizada na redução da perda de solo. Foram realizados 8 ensaios, sendo que destes, 4 em amostras cobertas pela geomanta e 4 sem a presença da geomanta. Para todos os ensaios foram realizadas as etapas de preparação, montagem, operação e tratamento descritos no item 3.3 e em seguida obtidos os resultados de perda de solo e índice de ensaio de bancada.

Também foram registrados os valores de umidade de compactação e massa específica aparente seca de cada amostra de solo, bem como o volume captado nos recipientes coletores para cada intervalo de tempo.

Para auxiliar na organização dos dados, a nomenclatura dos ensaios receberam o prefixo SG quando realizados sem a presença da geomanta e CG quando realizados com a presença da geomanta.

## CAPÍTULO 4

# Resultados e discussões

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos após a finalização da confecção do equipamento, bem como a avaliação do desempenho da geomanta submetida ao método de ensaio descrito no capítulo anterior.

### 4.1 Equipamento e método de ensaio

A bancada produzida permite analisar isoladamente, em escala de bancada, o efeito de variáveis contribuinte para o processos erosivos em amostras de solo tanto descobertas quanto protegidas por um geossintético. No contexto geral, o equipamento atende adequadamente as diretrizes apresentadas na ASTM D7101 (ASTM, 2008) e dispõe de potencial para avaliar configurações diferentes das apresentadas, desde que sejam realizados pequenas modificações. Um exemplo disto é utilizar um dispositivo alternativo para o núcleo de solo que permita efetuar a coleta de amostra indeformada de solo e submete-la ao procedimento de ensaio descrito.

Após o completo desenvolvimento dos componentes descritos no capítulo 3, o produto final obtido é apresentado nas Figuras 4.1 e 4.2.



Figura 4.1 – Vista frontal do equipamento concluído.



Figura 4.2 – Vista lateral do equipamento concluído.

As baias de escoamento permitiram um escoamento superficial homogêneo, evitando que houvesse a formação de caminhos preferenciais pela água. As dimensões finais das baias permaneceram na faixa estabelecida para ASTM D7101 (ASTM, 2008).

O sistema de ajuste de inclinação comportou-se adequadamente, garantindo a permanência da rampa de escoamento na inclinação inicialmente estabelecida.

Os núcleos de solo apresentaram estanqueidade total, impossibilitando a perda de água por percolação. Os núcleos também apresentaram rigidez suficiente para suportar o processo de compactação do solo sem apresentar alterações em sua geometria original.

Destaca-se a dificuldade constatada na retirada da amostra de solo do interior do núcleo de solo. A inexistência de mecanismo que permita retirar o solo com facilidade, conduz à técnicas não convencionais de remoção do solo. Observou-se que a fixação de papel filtro na base do núcleo evita a aderência do solo ao fundo do recipiente, mas isto não foi suficiente para retirada do material. Recomenda-se a colocação de fundo removível para solução do problema.

A vedação do contato entre o núcleo de solo e a baia de escoamento apresentou melhor desempenho quando utiliza-se a massa para calafetar ao invés do silicone em gel. Ambos materiais apresentaram completa vedação, entretanto, o silicone em gel forma uma película muito difícil de remover. A facilidade no manuseio e o reaproveitamento do material são vantagens da massa para calafetar, além de não produzir resíduo.

O método de ensaio desenvolvido apresentou-se consistente. As etapas de preparação, montagem, operação e tratamento descritas, garantem as mesmas condições na avaliação das amostras de geossintéticos. Na calibração do simulador de chuva, os resultados de intensidade de precipitação verificadas atendem as diretrizes originais, entretanto, o diâmetro das gotas de chuva geradas apresenta diâmetro inferior ao especificado.

Esta diminuição no diâmetro das gotas interfere na erosividade da chuva e, conseqüentemente, nos resultados de perda de solo. No entanto, isto não interfere no método de ensaio.

A Figura 4.3 apresenta um esquema geral do método de ensaio.

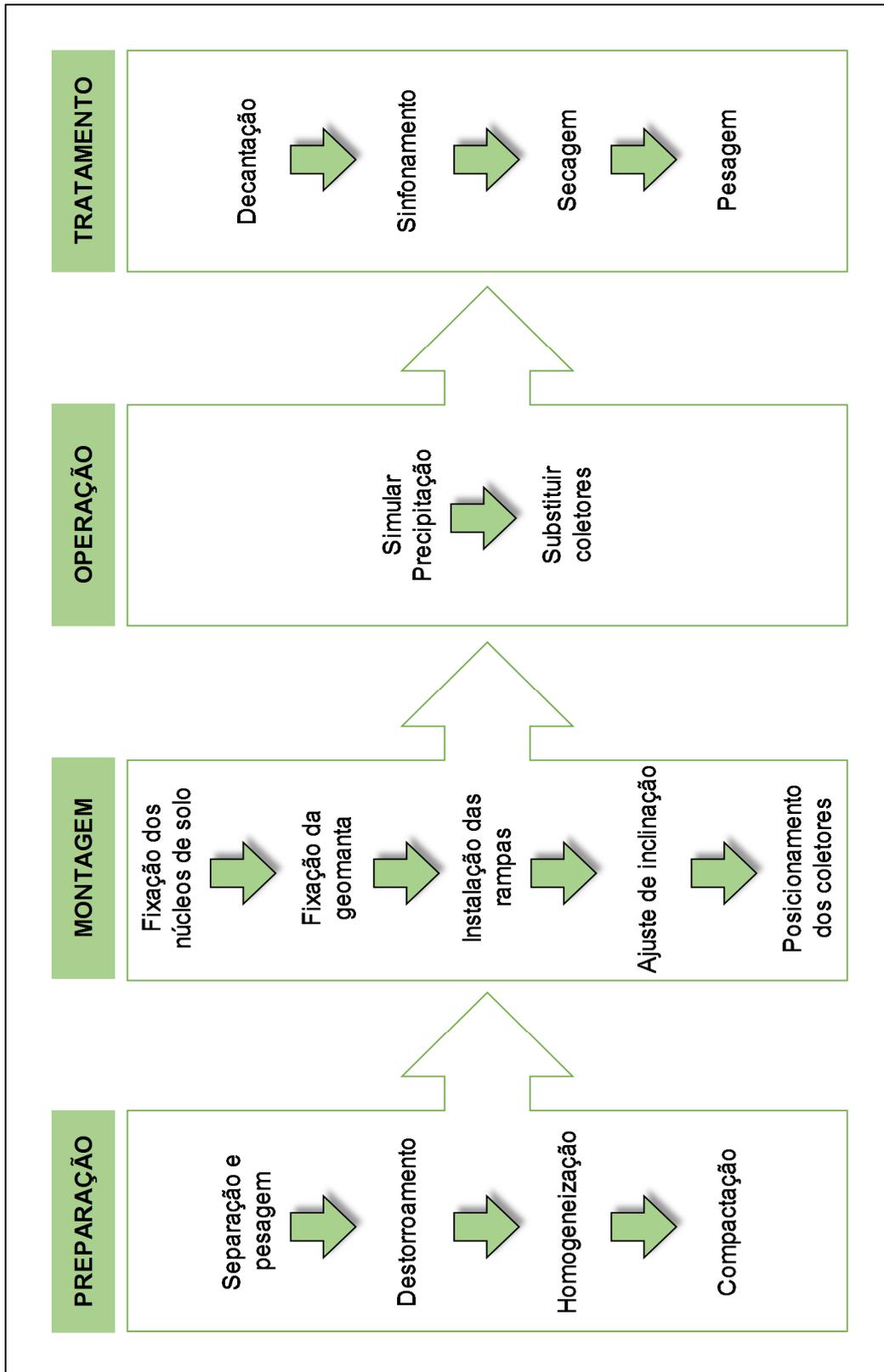


Figura 4.3 – Esquema geral do método de ensaio.

#### 4.1.1 Ensaios realizados sem a presença da geomanta

Os ensaios SG foram realizados primeiro. As amostras de solo foram compactadas em torno da umidade ótima e massa específica seca máxima. A verificação desses parâmetros indicou valores de umidade de  $8,61 \pm 0,42 \%$  e massa específica aparente seca de  $2,19 \pm 0,4 \text{ g/cm}^3$  para os ensaios realizados. A Tabela 4.1 apresenta a intensidade de chuva em cada ensaio.

Ensaio	Baia	Intensidade (mm/h)
SG-01	A	$150 \pm 4$
	B	$100 \pm 4$
	C	$100 \pm 4$
SG-02	A	$150 \pm 4$
	B	$100 \pm 4$
	C	$100 \pm 4$
SG-03	A	$150 \pm 4$
	B	$100 \pm 4$
	C	$100 \pm 4$
SG-04	A	$150 \pm 4$
	B	$100 \pm 4$
	C	$100 \pm 4$

Tabela 4.1 – Parâmetros dos ensaios sem a presença da geomanta.

Nas Figuras 4.4 a 4.7 são apresentadas as curvas referentes aos valores de perda de solo acumulada em função do tempo de simulação de chuva.

Perda de solo acumulada por baia  
SG-01

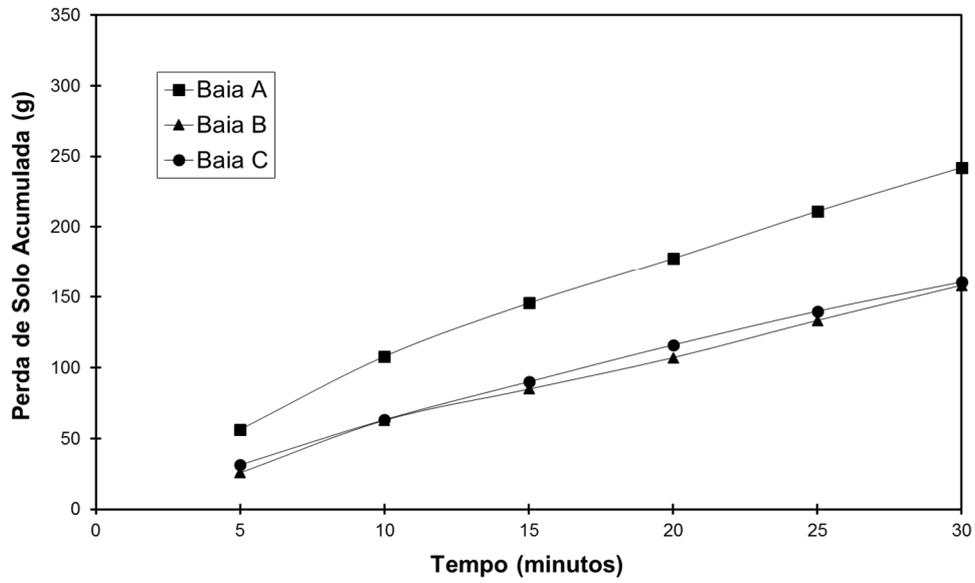


Figura 4.4 – Resultado da perda de solo acumulada por baia no ensaio SG-01.

Perda de solo acumulada por baia  
SG-02

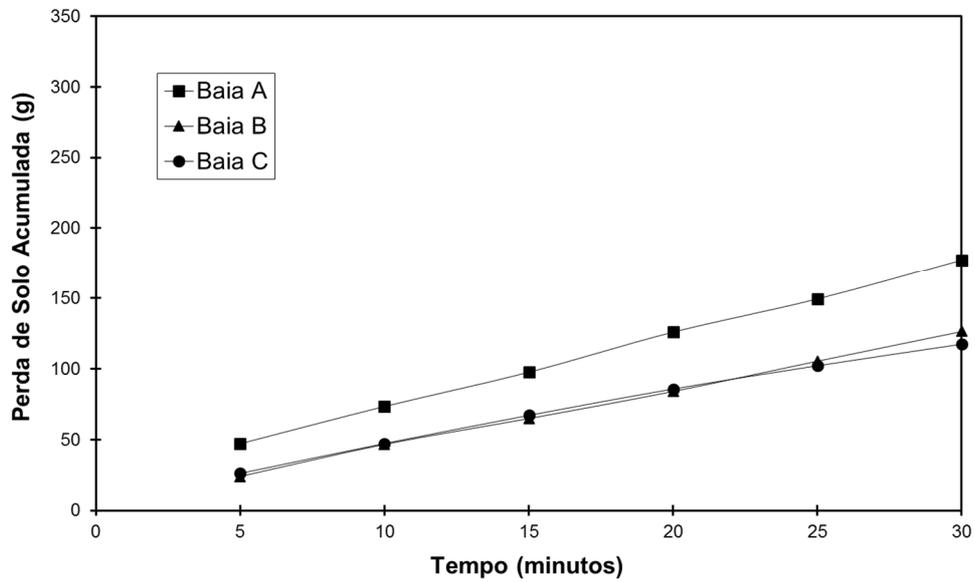


Figura 4.5 – Resultado da perda de solo acumulada por baia no ensaio SG-02.

Perda de solo acumulada por baia  
SG-03

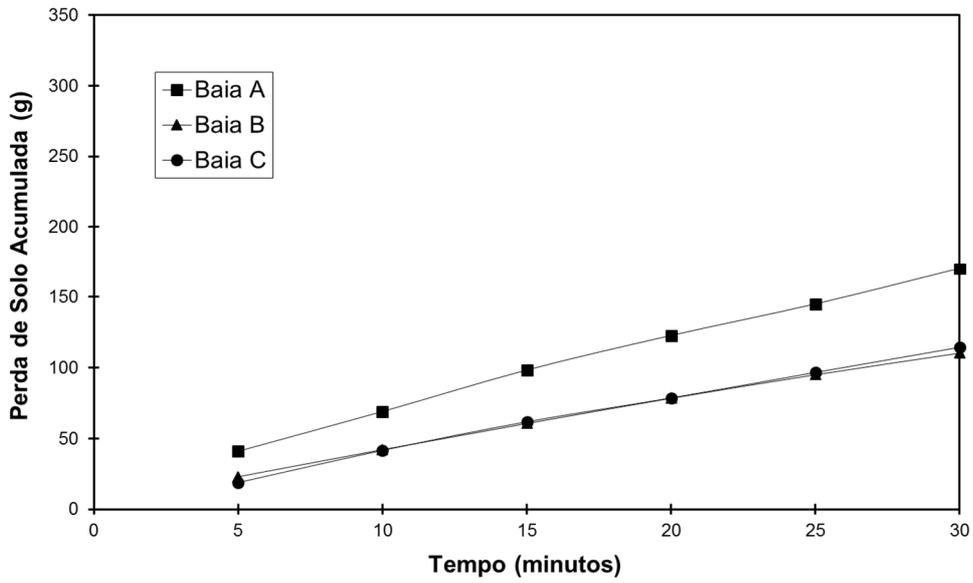


Figura 4.6 – Resultado da perda de solo acumulada por baia no ensaio SG-03.

Perda de solo acumulada por baia  
SG-04

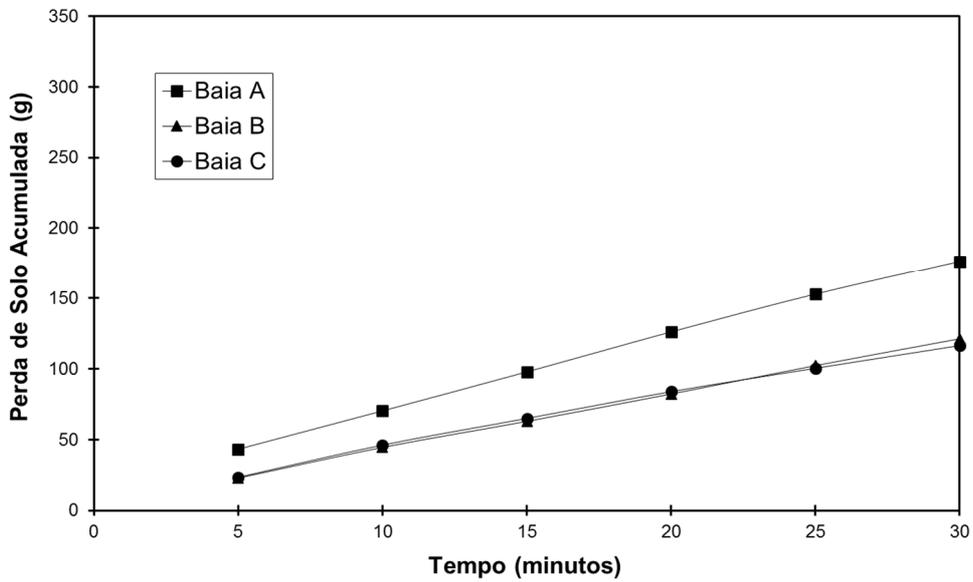


Figura 4.7 – Resultado da perda de solo acumulada por baia no ensaio SG-04.

A análise das Figuras 4.4 a 4.7 permite evidenciar o aumento com tendência linear da perda de solo acumulada com incremento do tempo de simulação de chuva. Este comportamento foi observado em todos os ensaios que foram realizados sem a presença da geomanta.

O ensaio SG-01 (Figura 4.4) apresentou a maior faixa de valores de perda de solo acumulada para baia A com 56,40g para os primeiros 5 minutos de simulação e 212,42g após 30 minutos do início da simulação de chuva. A mesma observação é conferida nas baias B e C. Os valores de perda de solo acumulado total para as baias B e C foram 158,20g e 160,60g, respectivamente.

Observa-se o traçado praticamente coincidentes entre as curvas das baias B e C em todos os ensaios realizados sem a presença da geomanta. Este é o comportamento esperado, pois a intensidade de chuva incidente nas baias B e C é a mesma ( $100 \pm 4$  mm/h). A variação apresentada entre estas duas baias para um mesmo período de coleta é inferior a 5%.

A baia A apresenta resultados de perda de solo acumulada superiores as demais em virtude da intensidade pluviométrica incidente ser maior,  $150 \pm 4$  mm/h. Observa-se que para as baias B e C, a variação de perda de solo acumulada para o ensaio SG-02 varia de 24,05g a 126,36g, no ensaio SG-03 varia de 18,90g a 114,41g e no SG-04 varia de 22,86g a 121,24g.

Os ensaios SG-02, SG-03 e SG-04 apresentam resultados semelhantes para a perda de solo acumulada. A variação entre a média entre os resultados destes ensaios e o do apresentado no ensaio SG-01, pode ser atribuído a pequenas alterações na pressão de serviço observadas nesse ensaio. A simulação de chuva realizada, apesar de controlada, oferece pequenas variações na forma e distribuição das gotas, tanto pela variação intrínseca do jato de água quanto pela ação do vento na precipitação incidente durante este ensaio.

Das Figuras 4.8 a 4.10 são exibidas as curvas de perda de solo acumulada em função do tempo separadas por baia, inclusive com as curvas representativas dos valores médios entre os 4 ensaios.

A Figura 4.11 agrupa as curvas de valores médios obtidos em cada baia.

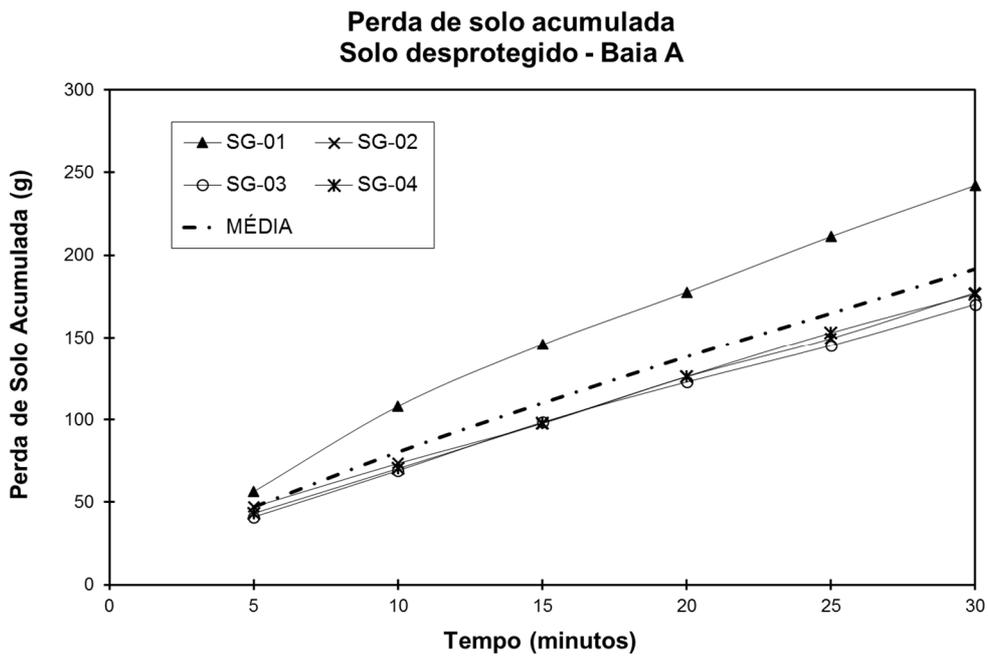


Figura 4.8– Resultado da perda de solo acumulada para baia A de todos ensaios realizados sem a presença da geomanta.

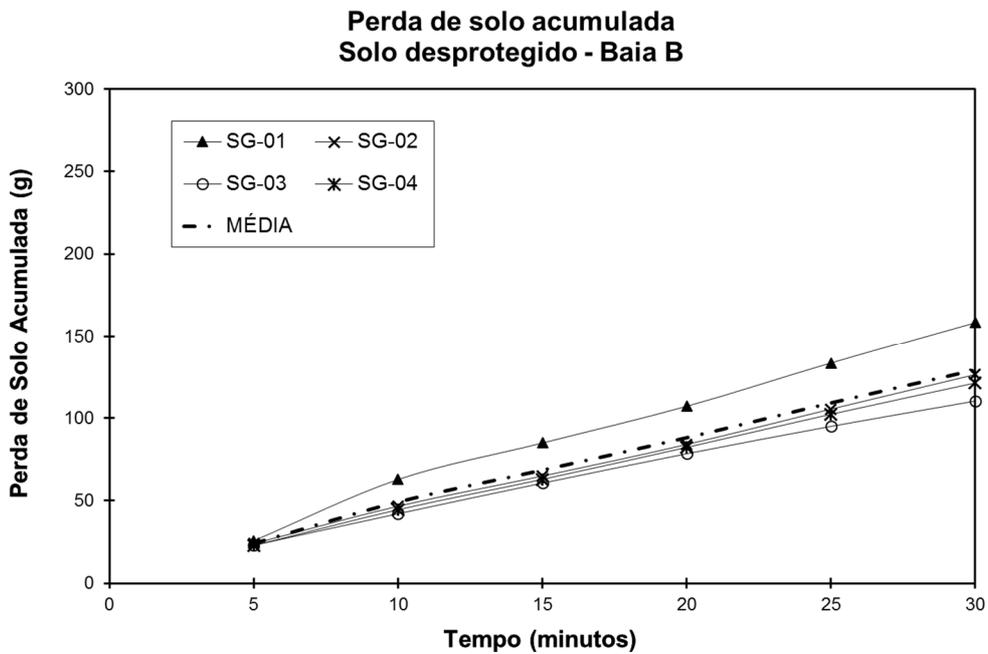


Figura 4.9 – Resultado da perda de solo acumulada para baia B de todos ensaios realizados sem a presença da geomanta.

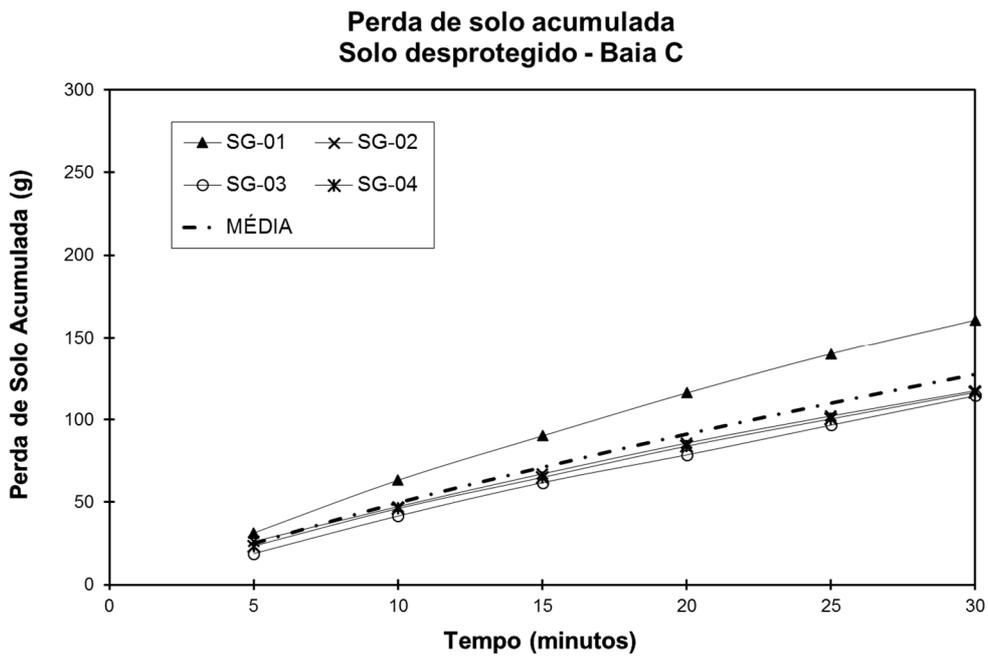


Figura 4.10 – Resultado da perda de solo acumulada para baia C de todos ensaios realizados sem a presença da geomanta.

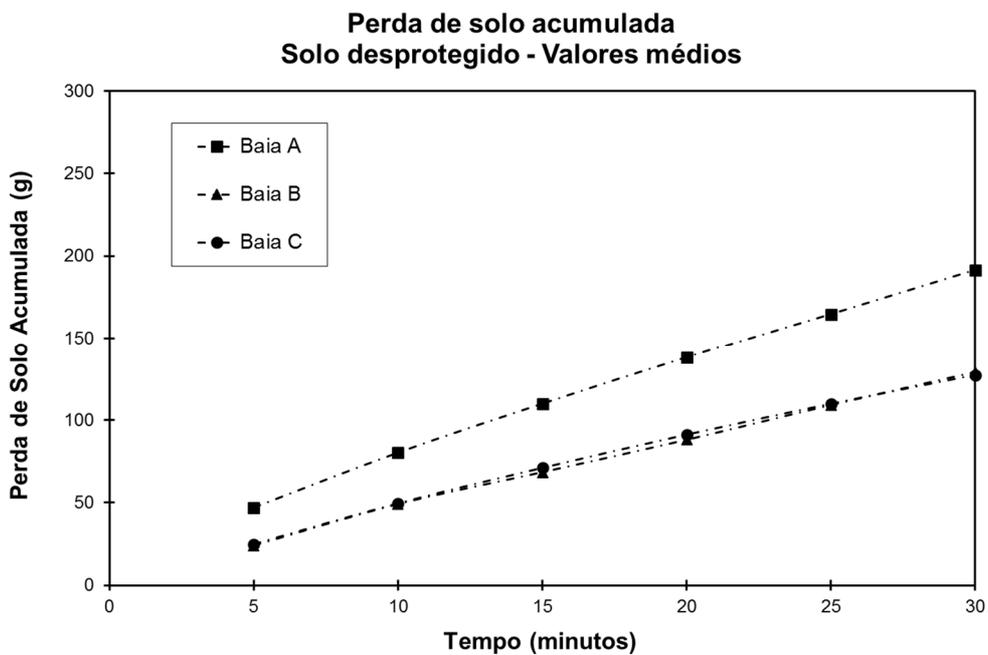


Figura 4.11 – Valores médios da perda de solo acumulada por baia de todos ensaios realizados sem a presença da geomanta.

Destaca-se que, para a intensidade de chuva próxima a 150 mm/h (Baia A), ocorreu uma maior perda de solo quando comparada com as amostras submetidas a intensidade de 100 mm/h (Baia B e C). A correlação entre a intensidade de chuva e a perda de solo também foi observada por Smets et al (2007).

#### 4.1.2 Ensaio realizados com a presença da geomanta

Neste tópico são apresentados os resultados para os ensaios realizados com a presença da geomanta. As amostras de solo foram compactadas em torno da umidade ótima e massa específica seca máxima. A verificação desses parâmetros indicou valores de umidade de  $8,61 \pm 0,42$  % e massa específica aparente seca de  $2,19 \pm 0,4$  g/cm<sup>3</sup> para os ensaios realizados. A Tabela 4.2 apresenta a intensidade de chuva em cada ensaio.

Ensaio	Baia	Intensidade (mm/h)
CG-01	A	150 ± 4
	B	100 ± 4
	C	100 ± 4
CG-02	A	150 ± 4
	B	100 ± 4
	C	100 ± 4
CG-03	A	150 ± 4
	B	100 ± 4
	C	100 ± 4
CG-04	A	150 ± 4
	B	100 ± 4
	C	100 ± 4

Tabela 4.2 – Parâmetros dos ensaios com a presença da geomanta.

Os corpos de prova da geomanta foram coletados conforme descrito no item 3.2.2 e devidamente identificadas, medidas e pesadas. A Tabela 4.3 mostra as informações de cada corpo-de-prova da geomanta.

Ensaio	Baia	Corpo de prova	Dimensões (mm) Largura x Comprimento	Massa (g)
CG-01	A	A1	30,0x97,0	22,39
	B	B1	30,0x96,5	22,95
	C	C1	29,0x97,0	22,23
CG-02	A	A2	30,5x96,5	22,96
	B	B2	29,5x98,0	22,90
	C	C2	30,0x97,0	22,61
CG-03	A	A4	29,5x98,5	22,81
	B	B4	30,5x96,0	23,02
	C	C4	30,0x97,5	22,98
CG-04	A	A5	29,5x95,5	22,15
	B	B5	30,0x96,0	23,05
	C	C5	30,5x96,0	23,22

Tabela 4.3 – Características dos corpos-de-prova da geomanta.

Os resultados obtidos nos ensaios realizados com a presença da geomanta comprovaram a sua eficácia na redução da perda de solo total, quando comparados com os resultados apresentados anteriormente. Os valores médios de perda de solo acumulado ficaram compreendidos entre 2,18g e 13,68g, para as baias submetidas à intensidade de chuva de  $100 \pm 4$  mm/h, e de 3,83g a 20,06g para baia submetida à intensidade de  $150 \pm 4$  mm/h, de acordo com o intervalo de tempo avaliado.

Os resultados da perda de solo acumulada por baia são apresentados pelas Figuras 4.12 a 4.15.

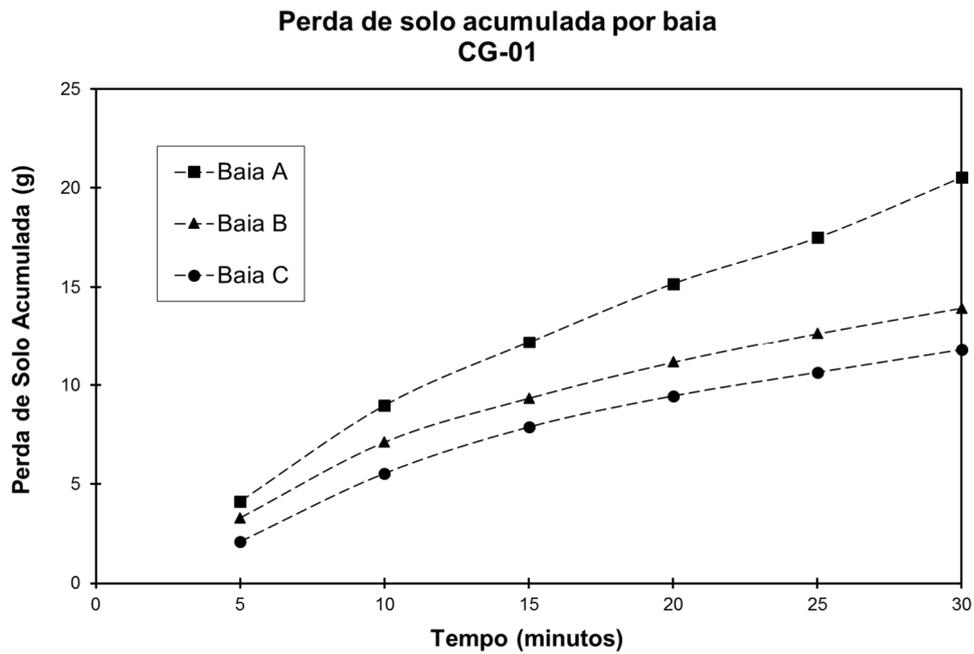


Figura 4.12 – Resultado da perda de solo acumulada por baia no ensaio CG-01.

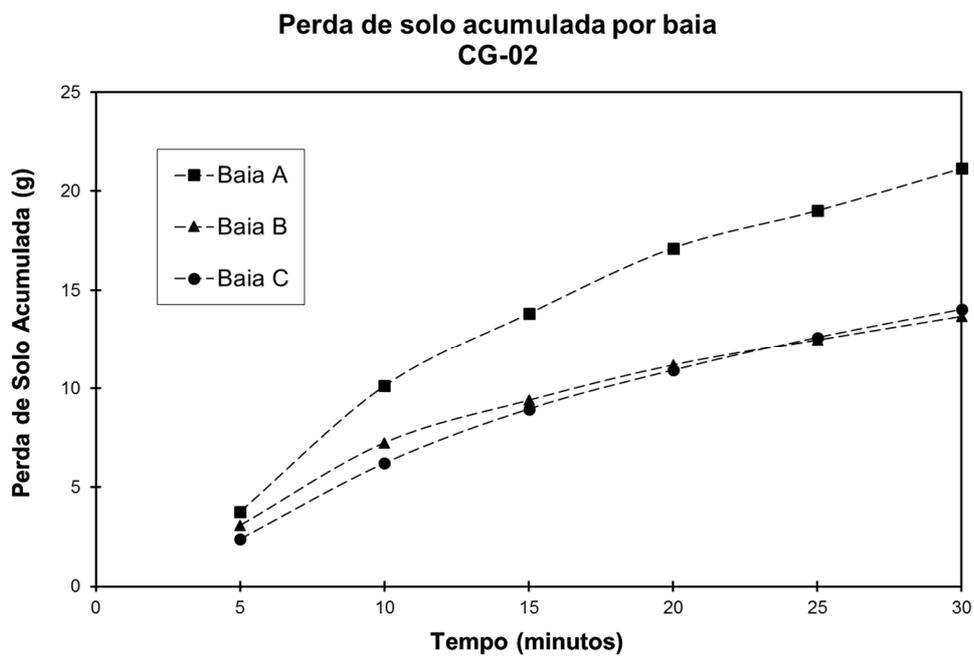


Figura 4.13 – Resultado da perda de solo acumulada por baia no ensaio CG-02.

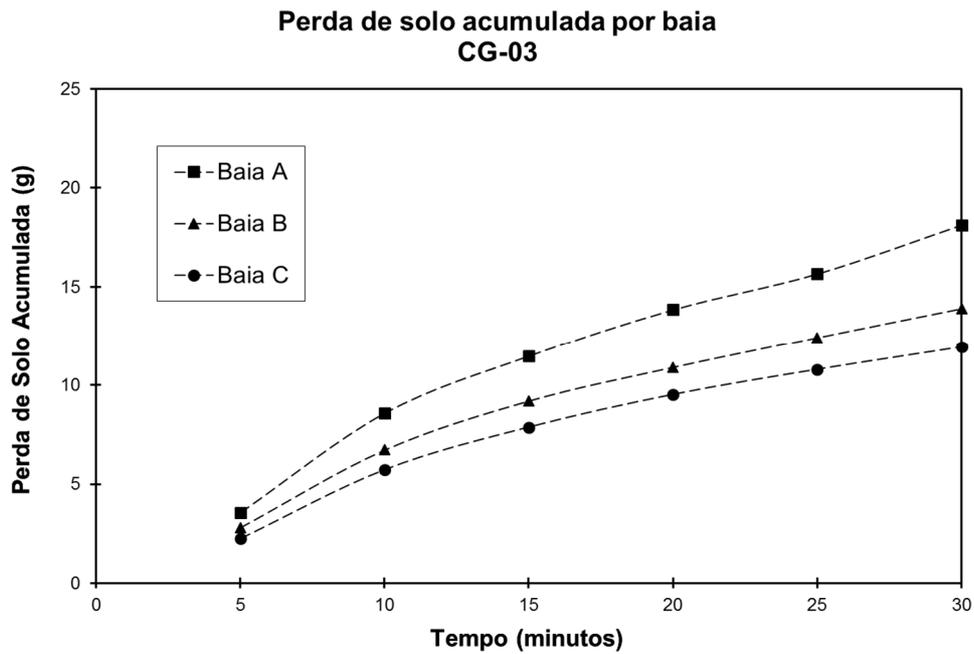


Figura 4.14 – Resultado da perda de solo acumulada por baia no ensaio CG-03.

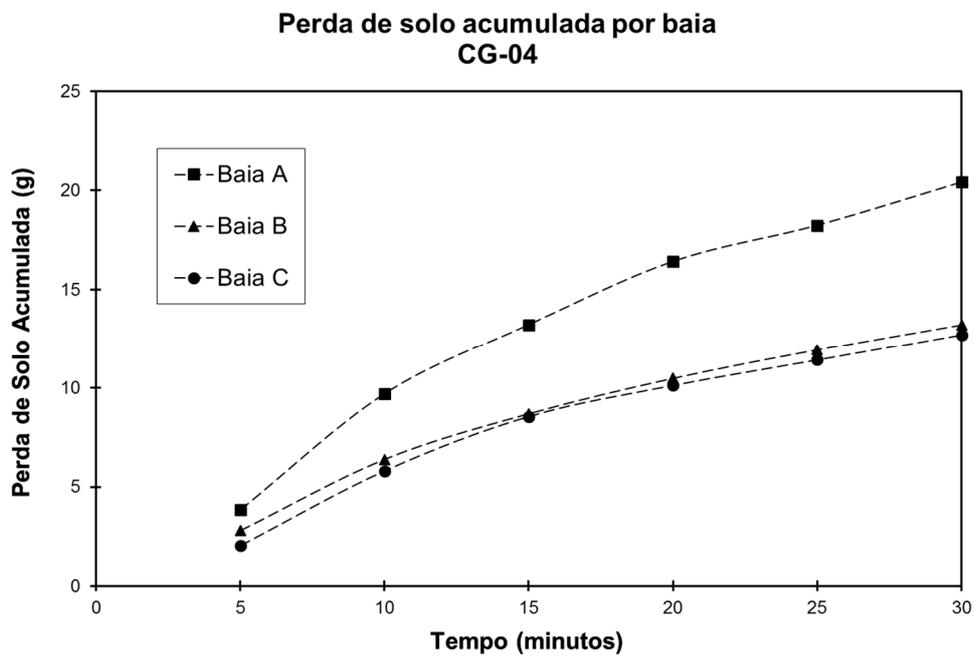


Figura 4.15 – Resultado da perda de solo acumulada por baia no ensaio CG-04.

O comportamento registrado no traçado das curvas para os ensaios realizados com a presença da geomanta é diferente do apresentado nos ensaios sem a presença da geomanta. Observa-se uma modificação na inclinação da curva no decorrer do ensaio.

A maior perda de solo acumulada foi observada no ensaio CG-02. Neste ensaio, a perda de solo acumulada na baia A foi de 21,14g. Este valor é 34,06% maior que o máximo valor observado na baia B, 13,94g (CG-01). Comparado com a baia C, este parâmetro é 33,63% maior (14,03g, CG-02).

Ressalta-se a correspondência entre a intensidade incidente sobre a baia e a perda de solo total acumulada. Observa-se que todas as amostras submetidas à intensidade de  $100 \pm 4$  mm/h (baías B e C) apresentaram valores menores para perda de solo acumulada quando comparadas com as amostras submetidas à intensidade de  $150 \pm 4$  mm/h, indicando a coerência dos resultados.

As Figuras 4.16 a 4.18 apresentam as curvas de perda de solo acumulado por baia, inclusive a curva de valores médios para baia, e a Figura 4.19 agrupa as curvas de valores médios de todas as baías.

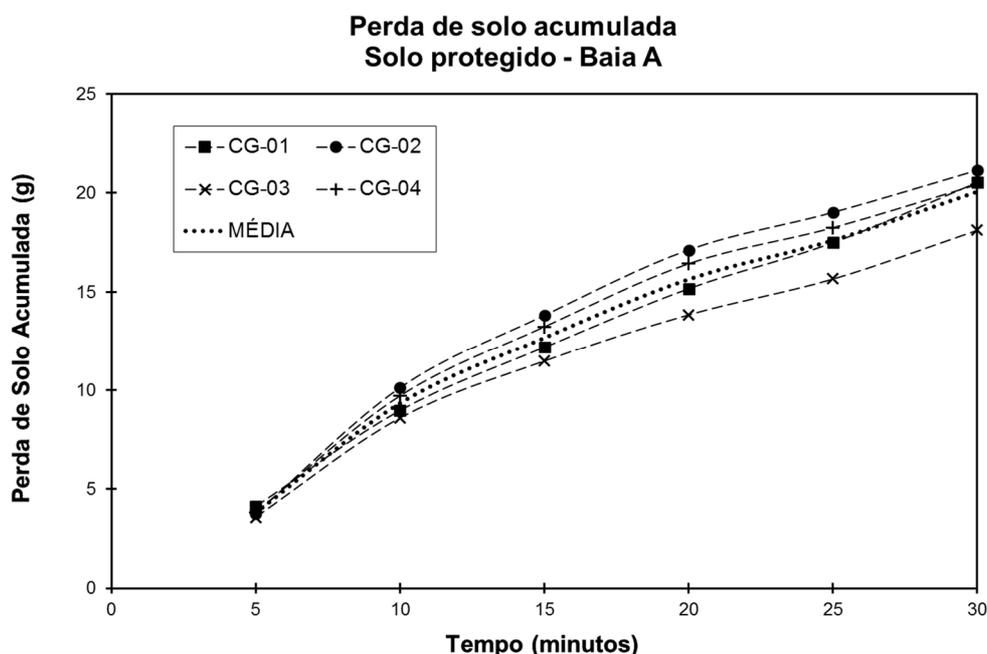


Figura 4.16 – Resultado da perda de solo acumulada para baia A de todos ensaios realizados com a presença da geomanta.

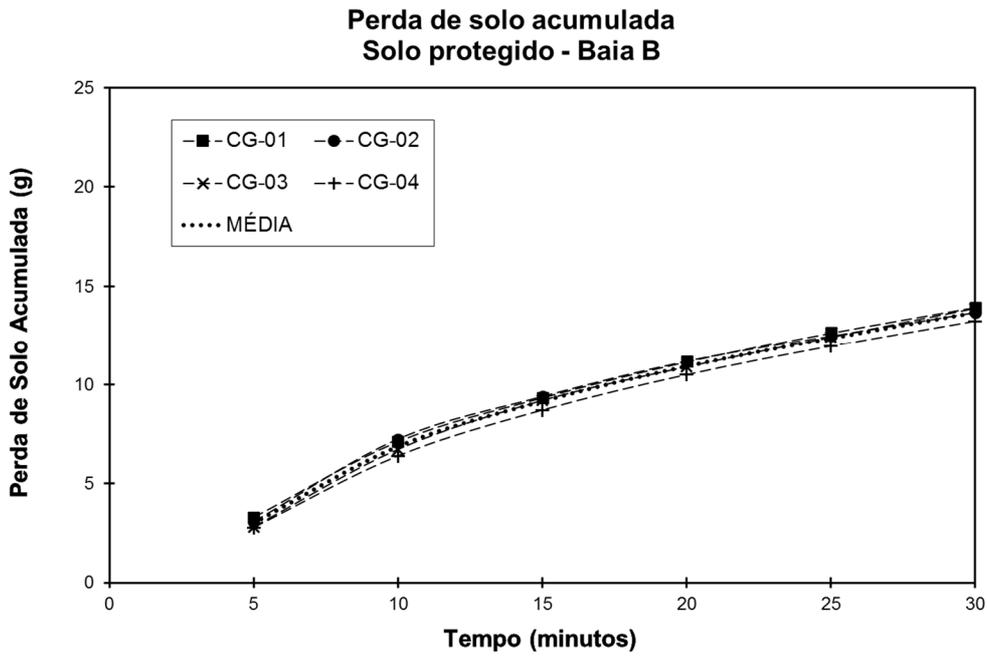


Figura 4.17 – Resultado da perda de solo acumulada para baia B de todos ensaios realizados com a presença da geomanta.

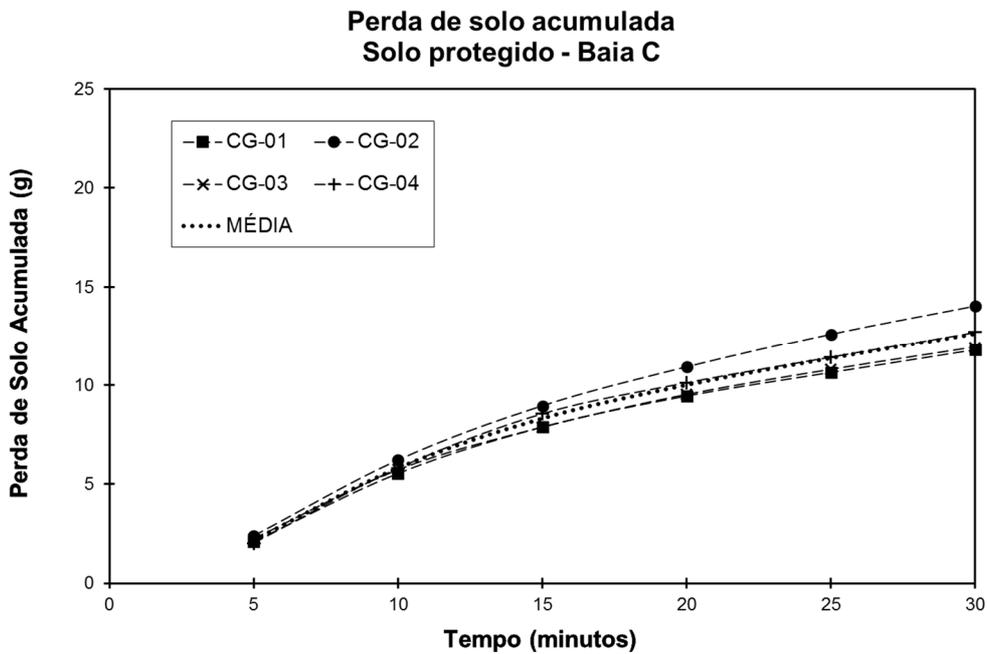


Figura 4.18 – Resultado da perda de solo acumulada para baia C de todos ensaios realizados com a presença da geomanta.

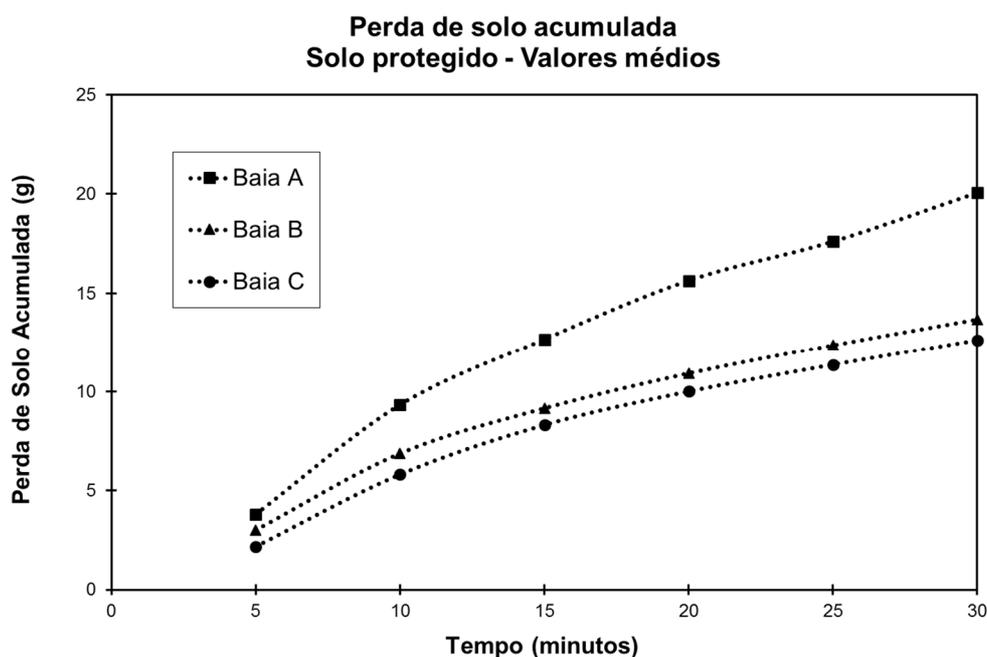


Figura 4.19 – Valores médios da perda de solo acumulada por baia de todos ensaios realizados com a presença da geomanta.

Constata-se uma maior dispersão entre os resultados obtidos na baia A. A baixa dispersão apresentada nas baias B e C promove à sobreposição das curvas (Figuras 4.20 e 4.21).

Investigando os valores médios (Figura 4.19), observa-se o mesmo comportamento constatado nos ensaios individuais. Na média obtida na baia A, registra-se um acréscimo de 46,63% em relação à média obtida na baia B e 59,03% em relação a baia C.

Avaliando os resultados médios da perda de solo acumulada entre as baias B e C, pois estão submetidas a mesma intensidade de chuva ( $100 \pm 4$  mm/h), registra-se uma diferença de 0,80g nos primeiros 5 minutos e 1,07g nos 5 minutos finais.

As diferenças entre as médias das baias B e C é de, aproximadamente, 8,0 % durante os ensaios, exceto para os dois primeiros intervalos de coleta onde se registra 27,09% e 15,28%, respectivamente.

A Tabela 4.4 apresenta os resultados dos valores médios observados entre as baias.

Tempo (minutos)	Perda de solo média para amostras com cobertura		
	Baia A	Baia B	Baia C
0 - 5	3,82	2,99	2,18
5 - 10	9,34	6,87	5,82
10 - 15	12,67	9,15	8,31
15 - 20	15,64	10,93	10,00
20 - 25	17,60	12,37	11,36
25 - 30	20,06	13,68	12,61

Tabela 4.4 – Valores médios para perda de solo acumulada para amostras cobertas pela geomanta separados por baia.

## 4.2 Análise de desempenho da geomanta

Realizando um comparativo entre os resultados da perda de solo acumulado entre os ensaios executados com e sem a geomanta, é possível avaliar o seu desempenho quanto a redução da perda de solo.

Para a baia A constatou-se uma redução de 89,5% na perda de solo acumulado total. Para as baias B e C, os valores são muito próximos a este, 89,4% e 90,1%, respectivamente. Portanto, verifica-se a eficiência da geomanta na redução da perda de solo.

A maior redução da perda de solo acumulada ocorreu na baia C. A diferença em relação as outras baias é cerca de 1%. Em valores médios, a geomanta apresentou o mesmo desempenho na redução da perda de solo para as duas intensidades de precipitação avaliadas.

A Tabela 4.5 apresenta os resultados médios da perda de solo para ensaios com e sem a geomanta.

Tempo (minutos)	Perda de solo média para amostras sem cobertura			Perda de solo média para amostras com cobertura		
	Baia A	Baia B	Baia C	Baia A	Baia B	Baia C
0 - 5	46,96	23,94	24,99	3,82	2,99	2,18
5 - 10	80,22	49,05	49,62	9,34	6,87	5,82
10 - 15	109,86	68,33	71,02	12,67	9,15	8,31
15 - 20	138,11	87,94	91,09	15,64	10,93	10,00
20 - 25	164,64	109,01	109,78	17,60	12,37	11,36
25 - 30	191,52	129,02	127,21	20,06	13,68	12,61

Tabela 4.5 – Valores médios para perda de solo acumulada para ensaios com e sem geomanta separados por baia.

A Figura 4.20 apresenta os resultados médios da perda de solo para ensaios com e sem a geomanta.

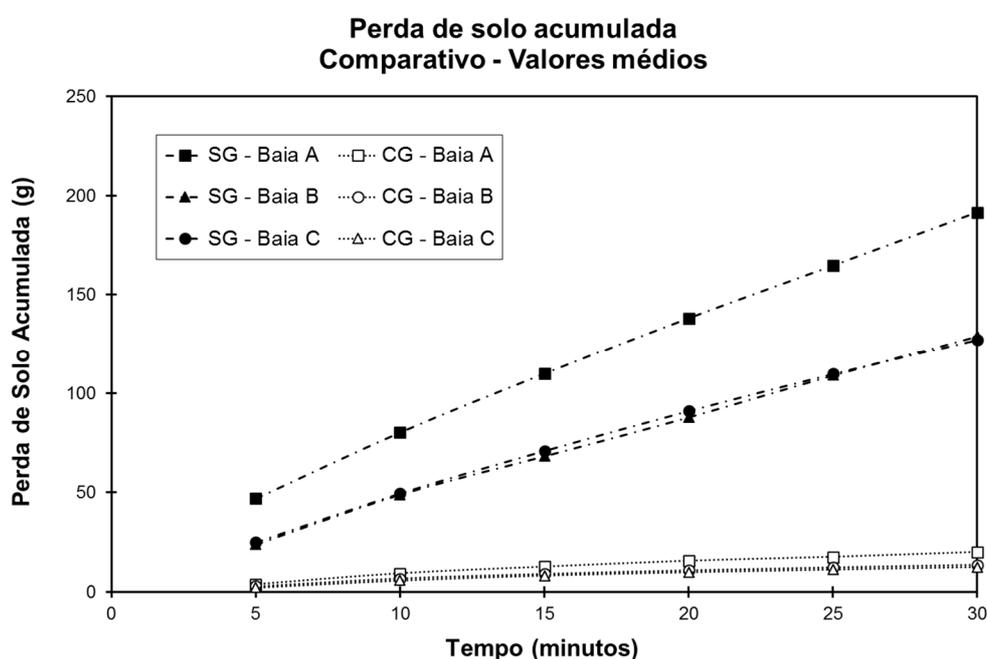


Figura 4.20 – Valores médios da perda de solo acumulada por baía de todos ensaios realizados com e sem a presença da geomanta.

Ressalta-se que os valores de perda de solo representam o material desagregado que é transportado pelo escoamento superficial gerado. Portanto, neste método de ensaio, não é possível quantificar o solo perdido pelo efeito do salpicamento.

Durante a execução dos ensaios, observou-se o aspecto visual final das amostras de solo para os ensaios com e sem a geomanta. Verifica-se uma menor alteração na superfície do solo para os ensaios realizados com a geomanta. Esta alteração está associada à quantidade de solo desagregado e carregado na área interna do núcleo do solo e mostra coerência com o comportamento registrado para perda de solo.

Nas amostras de solo ensaiadas sem a geomanta, observa-se uma maior profundidade na borda superior do núcleo de solo, quando comparado com as amostras protegidas pela geomanta. A Figura 4.21 ilustra esta afirmação.

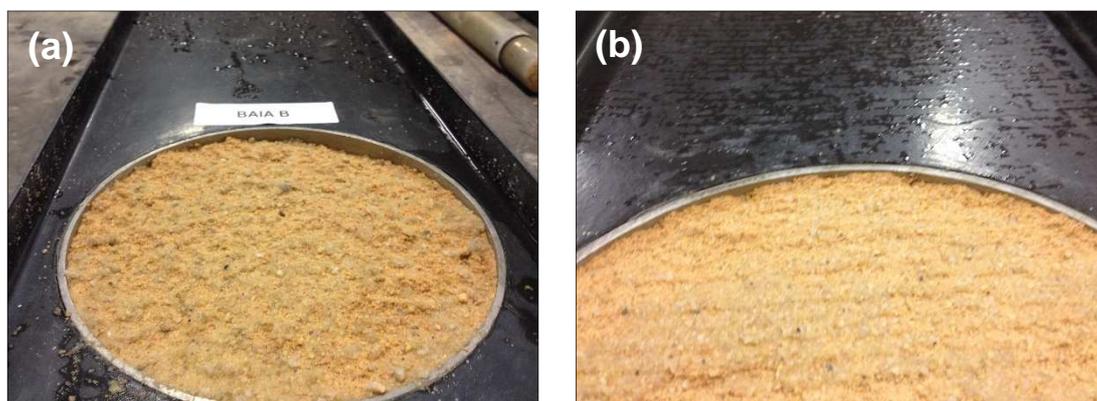


Figura 4.21 – Aspecto final da amostra de solo após 30 minutos de precipitação. (a) Ensaio sem geomanta, (b) Ensaio com geomanta.

Os resultados apresentados na Tabela 4.5 representam a perda de solo média em função da intensidade de precipitação incidente. A média obtida para a intensidade de  $150 \pm 4$  mm/h, considera todos os resultados apresentados na baia A, enquanto que para a intensidade de  $100 \pm 4$  mm/h, considera os valores correspondentes as baias B e C.

Tempo (minutos)	Perda de solo média para amostras sem cobertura		Perda de solo média para amostras com cobertura	
	I = 150 mm/h	I = 100 mm/h	I = 150 mm/h	I = 100 mm/h
0 - 5	46,96	24,46	3,82	2,59
5 - 10	80,22	49,33	9,34	6,34
10 - 15	109,86	69,68	12,67	8,73
15 - 20	138,11	89,52	15,64	10,47
20 - 25	164,64	109,40	17,60	11,86
25 - 30	191,52	128,12	20,06	13,14

Tabela 4.6 – Valores médios para perda de solo acumulada por intensidade de chuva.

### 4.3 Cálculo do índice de ensaio de bancada

A ASTM (2008) define o resultado final do ensaio através do índice de cobertura em escala de bancada (Bench-Scale Cover Index, BSCI), calculado a partir da relação entre perda de solo média acumulada do ensaio com solo descoberto e a perda de solo média acumulada com o solo descoberto.

De forma semelhante, neste trabalho o desempenho da geomanta é representado pelo Índice do Ensaio de Bancada, IEB. O IEB representa a proteção efetiva da geomanta para as condições do ensaio realizados. O cálculo do IEB, em percentual, é obtido através da expressão:

$$IEB = \frac{M_g}{M_{sg}} \times 100 \quad \text{Equação 4.1}$$

Onde,

$M_g$  é a média da massa de solo perdido das amostras protegidas pela geomanta, em gramas;

$M_{sg}$  é a média da massa de solo perdido das amostras desprotegidas, em gramas.

O índice não representa as condições reais de campo e deve ser utilizado com efeitos comparativos entre diferentes produtos.

A partir dos valores apresentados na Tabela 4.6, o valor do IEB para a intensidade de  $150 \pm 4$  mm/h ( $IEB_{150}$ ) foi calculado utilizando os valores de perda de solo acumulado da baía A. Já o IEB para intensidade de  $100 \pm 4$  mm/h ( $IEB_{100}$ ), foi calculado a partir da média entre as baias B e C.

Para determinação do  $IEB_{150}$  os parâmetros  $M_g$  e  $M_{sg}$  são, respectivamente, 20,06g e 191,52g. Portanto, tem-se que:

$$IEB_{150} = 10,47 \%$$

Para determinação do  $IEB_{100}$ , os parâmetros são obtidos conforme descrito. Portanto, tem-se que:

$$M_g = 13,14g$$

$$M_{sg} = 128,12g$$

Substituindo os valores de  $M_g$  e  $M_d$  calculados na expressão 4.1 tem-se que:

$$IEB_{100} = 10,25 \%$$

Analisando os valores obtidos, observa-se que quanto maior o IEB, menor é a proteção oferecida pela geomanta. No caso da amostra ensaiada, a baía submetida à intensidade  $150 \pm 4$  mm/h apresenta um IEB de 10,47% e percentual de redução de perda de solo acumulada de 89,53%. As baias submetidas a intensidade de  $100 \pm 4$  mm/h, apresentam um IEB médio de 10,25% e percentuais de redução de 89,40% (Baía B) e 90,09% (Baía C).

O ECTC Test Method 2 (ECTC, 2003) apresenta um outro parâmetro designado por “taxa de perda de solo” (SLR, soil loss ratio) que corresponde ao inverso do valor do IEB utilizada.

Tem-se para a intensidade de  $150 \pm 4$  mm/h,  $SLR = 9,55$  e para a intensidade de  $100 \pm 4$  mm/h,  $SLR = 9,75$ .

Thomson and Ingold (1988) definiram dois parâmetros para os sistemas estudados, o fator de rendimento e a eficiência de proteção. O fator (FR) de rendimento é a razão entre o peso de solo observado em uma parcela protegida em relação a parcela desprotegida, ambas sob as mesmas condições. A eficiência de proteção (EP) é definido como um complemento do fator de rendimento, expresso em percentual.

As Equações 4.5 e 4.6 apresentam as expressões do FR e EP modificadas para os parâmetros adotados neste trabalho.

$$FR = \frac{M_{sg}}{M_g} \quad \text{Equação 4.5}$$

$$EP = 100 \times (1 - FR) \quad \text{Equação 4.6}$$

Observa-se que a expressão do FR é idêntica a expressão do IEB (equação 4.5). Considerando os valores do IEB calculados como valores para  $FR_{150}$  e  $FR_{100}$ , a eficiência de proteção calculada para cada intensidade é apresentada a seguir:

$$EP_{150} = 100 \times (1 - 0,104) = 89,6\%$$

$$EP_{100} = 100 \times (1 - 0,102) = 89,8\%$$

O  $EP_{150}$  corresponde ao percentual de redução na perda de solo acumulado total da baía A. O  $EP_{100}$  corresponde ao percentual médio de redução da perda de solo acumulado total das baias B e C.

Thomson & Ingold (1988) observaram resultados de eficiência da ordem de 92% para amostras de geotêxteis a base de juta e lã de madeira, com ensaios submetidas a condições variáveis. A eficiência média obtida para a geomanta no presente trabalho é de aproximadamente 90%.

## CAPÍTULO 5

# Conclusões e recomendações

### 5.1 Conclusões

Através do equipamento construído é possível avaliar em laboratório, a capacidade de um geossintético em reduzir a perda de solo causada por erosão hídrica. A correspondência entre o projeto elaborado e as diretrizes inicialmente fornecidas promovem ao equipamento a confiabilidade necessária para efetuar comparações entre os diversos materiais geossintéticos empregados no controle de erosão superficial. Na configuração atual, o equipamento e método desenvolvidos restringem-se a geossintéticos de pequena espessura.

O equipamento desenvolvido bem como o método de ensaio, geraram resultados repetitivos e coerentes com resultados presentes na literatura técnica. As limitações técnicas apresentadas pelo simulador de chuvas utilizado permitiram o cumprimento parcial das características exigidas para a simulação de chuva segundo a ASTM. A principal limitação foi a obtenção de intensidades de chuva diferentes sobre as baias. Entretanto, tal fato não impede o estabelecimento de análises paramétricas considerando as geomantas disponíveis no mercado nacional.

Constata-se na execução dos ensaios, a variação da perda de solo em função da intensidade de chuva. Nos ensaios realizados sem a presença do geossintético, a perda de solo média para intensidade de  $150 \pm 4$  mm/h foi de 191,52g, enquanto que para a intensidade de  $100 \pm 4$  mm/h, a média obtida foi 128,12g. A mesma observação é verificada nos ensaios com a presença da geomanta, a redução média da perda de solo constatada é cerca de 34% menor para intensidade de  $100 \pm 4$  mm/h.

Constatou-se a eficiência da geomanta utilizada nos ensaios na redução da perda de solo. Os valores médios de perda de solo para os ensaios empregando este geotêxtil, apresentaram valores de 20,06g para a intensidade de precipitação de  $150 \pm 4$  mm/h e 13,14g para a intensidade de  $100 \pm 4$  mm/h. Destaca-se que em valores médios, a geomanta apresentou o mesmo desempenho na redução da perda de solo para as duas intensidades de precipitação avaliadas.

Para a geomanta empregada, a redução na perda de solo, representa uma eficiência de proteção de aproximadamente 90%, valor condizente com os apresentados por Thomson & Ingold (1988).

## **5.2 Recomendações para trabalhos futuros**

Recomenda-se o desenvolvimento de simulador de chuva que, além de garantir uniformidade na distribuição da chuva, seja integrado a estrutura do equipamento desenvolvido.

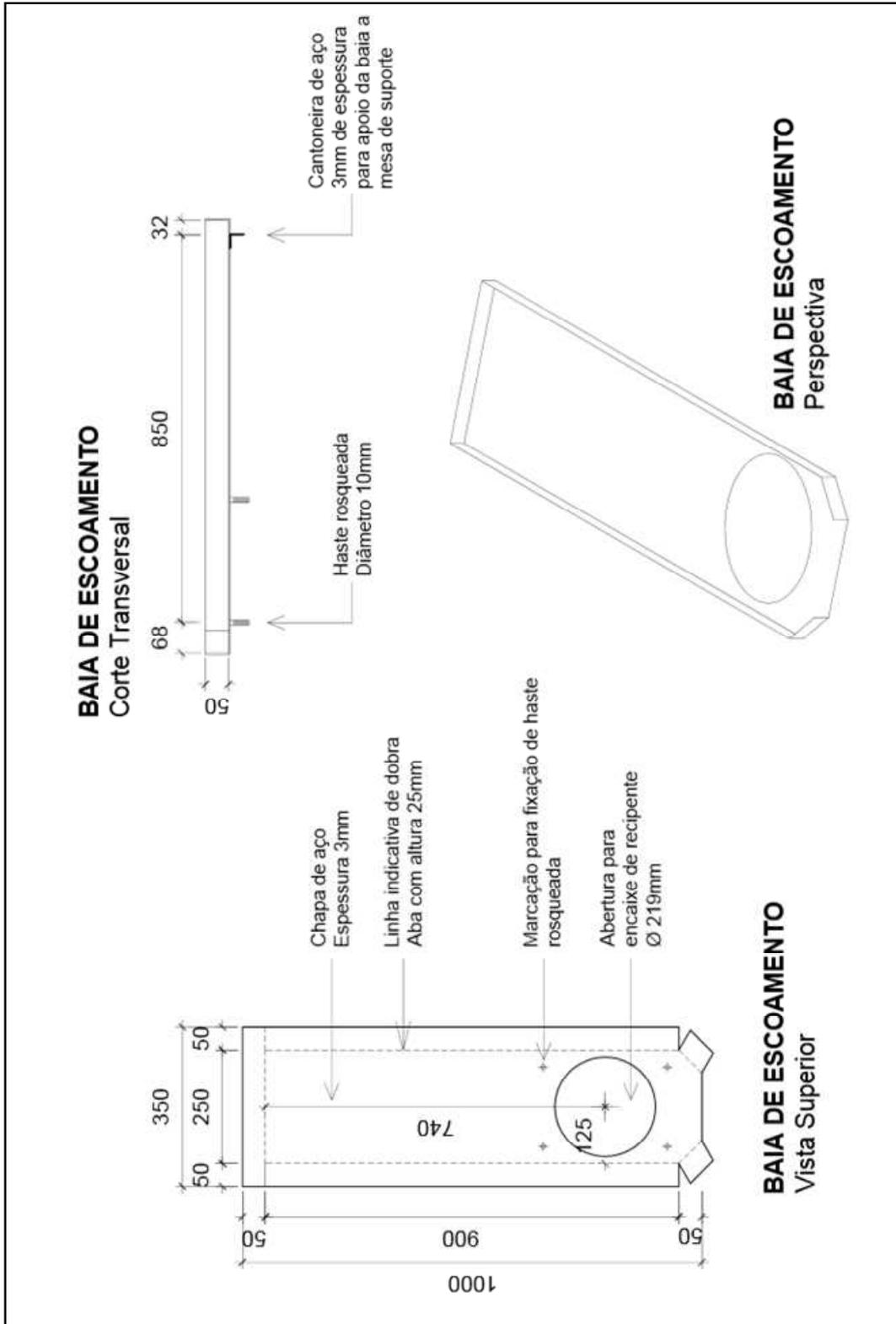
Recomenda-se a utilização de outros solos para aferir o desempenho do equipamento e método de ensaio desenvolvidos, adotando os parâmetros estabelecidos para intensidade de precipitação e diâmetro de gotas.

Recomenda-se também, a avaliação comparativa dos diversos materiais geossintéticos existentes no mercado nacional, a fim de compor um banco de informações relativo a eficiência de redução da perda de solo para o ensaio proposto.

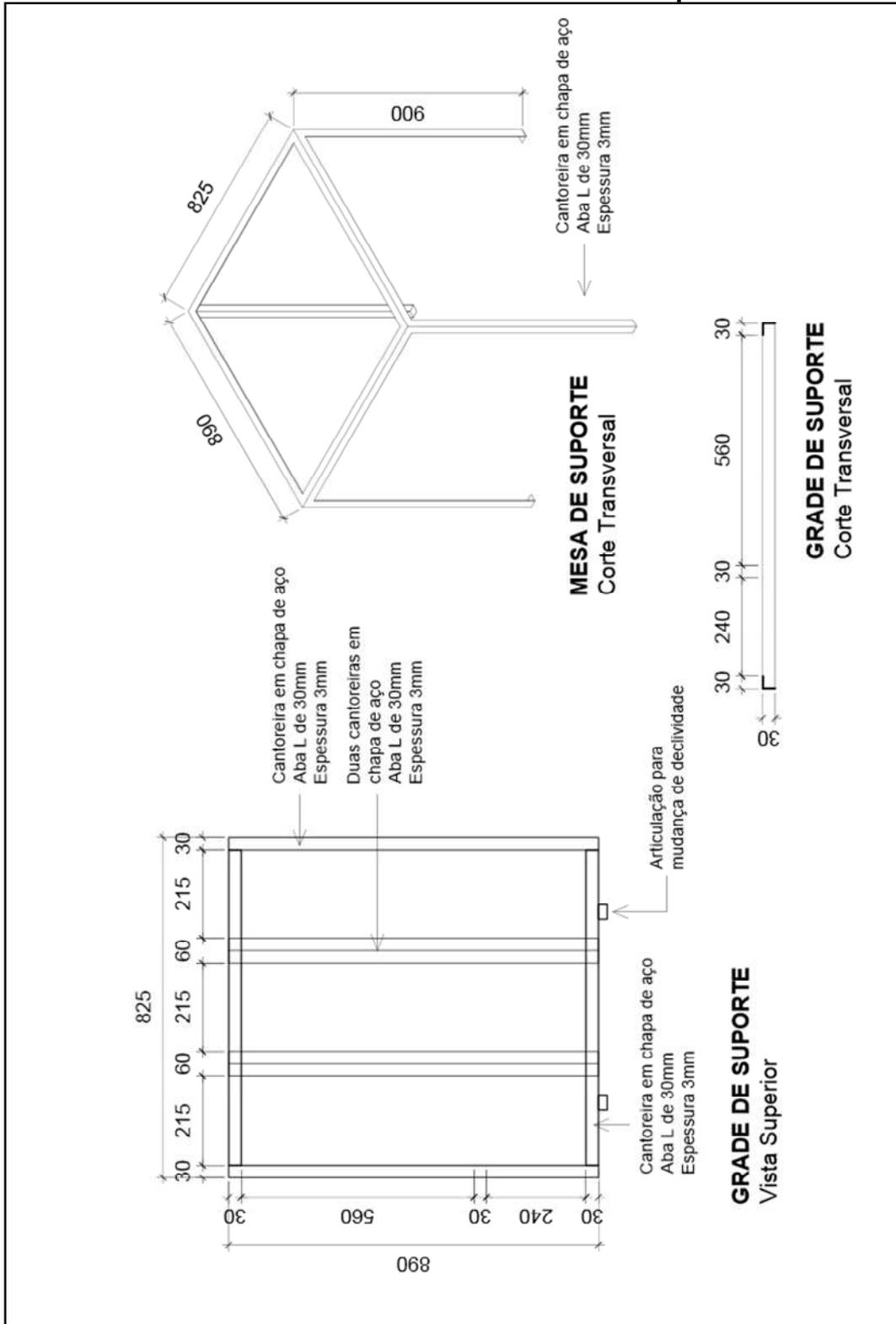
Como sugestão para trabalhos futuros, importante ainda é estudar a perda de solo em taludes experimentais, paralelamente a utilização do equipamento proposto para avaliar qualitativamente os índices obtidos em laboratório e em campo.

# Anexos

Anexo 01: Detalhamento da baia de escoamento

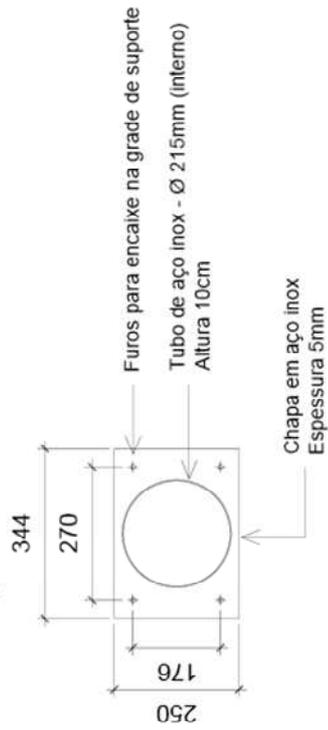


## Anexo 02: Detalhamento da mesa de suporte



### Anexo 03: Detalhamento dos núcleos de solo

**NÚCLEO DE SOLO**  
Vista Superior



**NÚCLEO DE SOLO**  
Perspectiva

## Referências Bibliográficas

ABNT (2013): NBR ISO 10318. Geossintético – Terminologia. Associação Brasileiro de Normas Técnica, Brasil, 3 p.

ABNT (2013): Geossintéticos – Amostragem e preparação de corpos de prova para ensaios. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Brasil, 4 p.

Aguiar, P. R., Vertematti, J. C. (2004): Tipos e Classificação. In: Manual Brasileiro de Geossintéticos, Vertematti, J. C. (editor). Associação Brasileira das Indústrias de Tecidos e Não Tecidos Técnicos. São Paulo. p. 9

Assouline, S.; Ben-Hur, M. (2006): Effects of rainfall intensity and slope gradient on the dynamics of interrill erosion during soil surface sealing. *Catena*, v. 66, p. 211–220.

ASTM (2008): Standart Index Test Method for Determination of Unvegetated Rolled Erosion Control Product (RECP) Ability to Protect Soil from Rain Splash and Associated Runoff Under Bench-Scale Conditions – D 7101-08. ASTM International, West Conshohocken, Pennsylvania, USA, 6 p.

Baccaro, C. A. D. (1994). As unidades morfológicas e a erosão nos chapadões do município de Uberlândia. *Sociedade & Natureza*. Uberlândia.

Barbosa, C. A. F. (2008): Soluções para Estabilização de Taludes Sujeitos a Erosão Superficial. Dissertação (Mestrado). Universidade de Aveiro. Porto. 133 p.

Bastos, C. A. B. (1999): Estudo Geotécnico sobre a erodibilidade de solos residuais não saturados. Tese (doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 303 p.

Bastos, C. A. B.; Milititsky, J.; Gehling, W. (2000): A avaliação da erodibilidade dos solos sob o enfoque geotécnico – pesquisas e tendências. *Teoria e Prática na Engenharia Civil*, Porto Alegre, n. 1, p. 17-25.

Bertoni, J.; Lombardi Neto, F. (2005): Conservação do solo. Editora ícone. São Paulo.

Bhattacharyya, R., Fullen, M.A., Booth, C.A., Kertesz, A., Toth, A., Szalai, Z., Jakab, G., Kozma, K., Jankauskas, B., Jankauskasiene, G., Buhmann, C., Paterson, G., Mulibana, E., Nell, J.P., van der Merwe, G.M.E., Guerra, A.J.T., Mendonca, J.K.S., Guerra, T.T., Sathler, R., Bezerra, J.F.R., Peres, S.M., Yi, Z., Yongmei, L., Li, T., Panomtarachichigul, A., Peukrai, S., Thu, D.C., Cuong, T.H., Toan, T.T., (2011): Effectiveness of biological geotextiles for soil and water conservation in different agro-environments. *Land Degradation and Development*, v. 22, p. 495–504.

Bhattacharyya, R.; Smets, T.; Fullen, M. A.; Poesen, J.; Booth, C. A. (2010): Effectiveness of geotextiles in reducing runoff and soil loss: A synthesis. *Catena*, v. 81, p. 184-195.

Bryan, R. B.; Luk, S. (1981): Laboratory experiments on the variation of soil erosion under simulated rainfall. *Geoderma*, v. 26, p.245-265.

Cantalice, J. R. B. (2001): Escoamento e erosão em sulcos e entressulcos em distintas condições de superfícies do solo. Tese (doutorado). Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 140 p.

Caputo, H.P., *Mecânica dos solos e suas aplicações: fundamentos*. Volume 1. 6ª edição. Livros Técnicos e Científicos Editora. Rio de Janeiro/RJ.

Carvalho, J. C.; Sales, M. M.; Souza, N. M.; Melo, M. T. S. (2006): *Processos erosivos no centro-oeste brasileiro*. Universidade de Brasília. Editora Finatec. Brasília

Carvalho, M. F.; Tarqui, J. L. Z.; Silva, V. S.; Lobo, B. R. H. (2012): Avaliação do Funcionamento de um Simulador de chuva pelo método da farinha. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 17, n. 3, p. 115-124.

Castro, F. S. (1979): *Conservacion de Suelos*. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, 3ª edição, Editora IICA. San José, Costa Rica.

Cassol, E. A.; Cantalice, J. R. B.; Reichert, J. M.; Mondardo, A. (2004): Escoamento superficial e desagregação do solo em entressulcos em solo fran-argilo-arenoso com resíduos vegetais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 39, n. 7, p. 685-690.

Conceição, M. A. F. (2002): Simulação da distribuição de água em microaspersores sob condição de vento. Tese (doutorado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. Piracicaba. 110 p.

Davies, K., Fullen, M.A. & Booth, C.A. (2006): A pilot project on the potential contribution of palm-mat geotextiles to soil conservation. *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 31, p. 561–569.

Deflor (2005): Principais vantagens das biomantas antierosivas. Disponível em <http://www.deflor.com.br/portugues/produtos.html#>. Acessado em 21 de junho de 2013.

ECTC. (2003): “Standard index test method for the determination of unvegetated RECP ability to protect soil from rain splash and associated runoff under bench-scale conditions.” Disponível em <http://www.ectc.org/guide/ECTC%20Bench%20Slope%20Test%20Method.pdf>. Acessado em 13 de Julho de 2013.

Eigel, J. D.; Moore, I. D. A (1983): Simplified technique for measuring raindrop size and distribution. *Transactions of the ASAE*, v.26, n. 4, p. 1079-1084.

Eltz, F. L. F. (1977): Perdas por erosão sob precipitação natural em diferentes manejos de solo e coberturas vegetais. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 106 p.

Epamig (2009). Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais. Práticas Conservacionista. Minas Gerais. Disponível em <http://www.epamig.br>. Acessado em 10 de Junho de 2013.

FAO (1967): La erosión dei suelo por el água. Organizacion de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentacion. Rome, 207 p. (APUD)

Farias, R. J. C. (1999): Utilização de geossintéticos no controle de erosão. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília. 120 p.

Ferreira, P. H. M. (1981). Princípios de manejo e conservação do solo. Nobel, 2ª Edição. São Paulo.

Griebeler, N. P.; Martins Junior, D.; Pruski, F.F. & Silva, D.D. (2001): Avaliação de um modelo para estimativa da lâmina máxima de escoamento superficial. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. V. 25, p. 411-417.

Guerra, A. J. T. (2005): O início do Processo erosivo. In: Guerra, A. J. T. et al. (org.). Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações. Bertrand Brasil, 2ª edição. Rio de Janeiro.

Guerra, A., Marcal, M., Polivanov, H., Sathler, R., Mendonça, J., Guerra, T., Bezerra, F., Furtado, M., Lima, N., Souza, U., Feitosa, A., Davies, K., Fullen, M.A. & Booth, C.A. (2005): Environmental management and health risks of soil erosion gullies in São Luíz (Brazil) and their potential remediation using palm-leaf geotextiles, In: Environmental health risk III (eds C. A Brebbia, V. Popov & D. Fayzieva). WIT Press, Southampton, UK, p. 459–467.

Hall, M. J. (1970): Use of the stain method in determining the dropsize distribution of coarse liquid spray. Transaction of the ASAE, v. 13, n. 1, p. 33-37.

Inderbitzen, A.P.L. (1961). "An erosion test for soils". Materials Research; Standards, Philadelphia, v. 1, p.553-554.

Joss, J.; Waldvogel, A. (1969): Raindrop size distribution and sampling size errors. Journal of the Atmospheric Sciences, p. 566-569.

Lafayette, K. P. V. (2006): Estudo Geológico-Geotécnico do Processo Erosivo em Encostas no Parque Metropolitano Armando de Holanda Cavalcanti – Cabo de Santo Agostinho. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Pernambuco, 358 p.

Lal, R.; Elliot, W. (1994). Erodibility and erosivity. Soil erosion research methods. 2 ed. (ed. R. Lal). Flórida: St. Lucie Press, USA, p. 181. 208.

Lepsch, I. F. (2010): Formação e Conservação do Solo. Oficina de Textos, 2ª edição. São Paulo.

Marques, A. C. M. (2004): Aplicações de Geossintéticos em Controle de Erosão Superficial. In: Manual Brasileiro de Geossintéticos, Vertematti, J. C. (editor). p. 321-334.

Meyer, L.D.; Harmon, W.C. (1979): Multiple intensity rainfall simulator for erosion research on row sideslopes. Transactions of the American Society of Agricultural Engineering, v.22, p.100-103.

Ogbobe, O.; Essien, K.S.; Adebayo, A. (1998): A study of biodegradable geotextiles used for erosion control. Geosynthetics International, v. 5, p. 545-553.

Pinho Lopes, M.J.F. (2006). Estudo dos coeficientes de segurança a aplicar a estruturas de controle de erosão e de estabilização de maciços com geossintéticos. Tese (Doutorado). FEUP, Universidade do Porto. Porto, 693p.

Silva, A.M.; Schulz, H.E.; Camargo, P.B. (2003): Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas. Rima. São Carlos.

Smets, T.; Poesen, J.; Fullen, M. A.; Booth, C.A. (2007): Effectiveness of palm and simulated geotextiles in reducing run-off and inter-rill erosion on medium and steep slopes. *Soil Use and Management*, v. 23, p. 306-316.

Smets, T., Poesen, J., Bhattacharyya, R., Fullen, M.A., Subedi, M., Booth, C.A., Kertesz, A., Szalai, Z., Toth, A., Jankauskas, B., Jankauskiene, G., Guerra, A.J.T., Bezerra, J.F.R., Yi, Z., Panomtaranichagul, M., Buhmann, C., Paterson, G. (2011): Evaluation of biological geotextiles for reducing runoff and soil loss under various environmental conditions using laboratory and field data. *Land Degradation and Development*, v. 22, p. 480–494.

Sutherland, R. A. (1998): Rolled erosion control systems for hillslope surface protection: a critical review, synthesis and analysis of available data. I. Background and formative years. *Land degradation & development*. V. 9, p. 465-486.

Thomson, J. C.; Ingold, T. (1988): Erosion control in European construction. *Proceedings of the XIX Conference of the International Erosion Control Association*, p. 5-21.

Vertematti, J. C. (2004): *Manual Brasileiro de Geossintéticos*. Editorial Edgard Blücher, 1ª edição. São Paulo.

Wadt, P. G. S. (2003): *Práticas de conservação do solo e recuperação de áreas degradadas*. Embrapa Acre, Documentos, n. 90. 29p.

Weggel, J. R.; Rustom, R. (1992): Soil Erosion by Rainfall and Runoff – State of the art. *Geotextiles and Geomembranes*. v. 11, n. 4-6, p. 551-572.

Wishcmeier, W. H.; Meyer, L.D. (1960): A universal soil-loss equation to guide conservation farm planning. *International congress of soil science*, 7, v. 1, p. 418-425.

Wishcmeier, W. H.; Smith, D.D. (1978): Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. USDA Handbook, Washington, n. 537, 57p.

Zachar, D. (1982). "Soil Erosion", in: Developments in Soil Science 10, Elsevier Scientific Publishing Company, Bratislava, Czechoslovakia.