UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

GENILSON GOMES ALVES

UTILIZAÇÃO DA BIOMANTA DE FIBRA DE COCO COMO TÉCNICA DE BIOENGENHARIA PARA O CONTROLE DE EROSÃO EM TALUDES

JOÃO PESSOA
2023

GENILSON GOMES ALVES

UTILIZAÇÃO DA BIOMANTA DE FIBRA DE COCO COMO TÉCNICA DE BIOENGENHARIA PARA O CONTROLE DE EROSÃO EM TALUDES

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal da Paraíba – UFPB, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Lopes Soares.

JOÃO PESSOA

2023

Catalogação na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

A474u Alves, Genilson Gomes.
Utilização da biomanta de fibra de coco como técnica de bioengenharia para o controle de erosão em taludes / Genilson Gomes Alves. - João Pessoa, 2023.
67 f. : il.

Orientação: Fábio Lopes Soares.
TCC (Graduação) - UFPB/CT.

1. Estabilização de taludes. 2. Bioengenharia de solos. 3. Biomanta. I. Soares, Fábio Lopes. II. Título.

UFPB/CT/BSCT CDU 624(043.2)

Elaborado por ONEIDA DIAS DE PONTES - CRB-15/198

FOLHA DE APROVAÇÃO

GENILSON GOMES ALVES

UTILIZAÇÃO DA BIOMANTA DE FIBRA DE COCO COMO TÉCNICA DE BIOENGENHARIA PARA O CONTROLE DE EROSÃO EM TALUDES

Trabalho de Conclusão de Curso em 09/11/2023 perante a seguinte Comissão Julgadora:

Fábio Lopes Soares — APROVADO

Fábio Lopes Soares
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

Aline Flávia Nunes Remigio Antunes — APROVADO

Aline Flávia Nunes Remigio Antunes
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

Clóvis Dias — APROVADO

Clóvis Dias
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

Digitalizado com CamScanner

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, desejo expressar minha profunda gratidão a Deus por todas as bênçãos que têm ocorrido em minha vida. Especialmente, sou grato pela oportunidade de ingressar neste curso que tanto me identifiquei. Além disso, agradeço a Ele por ter me iluminado e guiado durante essa caminhada de cinco anos na UFPB.

Aos meus familiares, em particular aos meus pais, Marilene Gomes e Genivaldo Gouveia, expresso minha gratidão pelo amor e carinho que sempre depositaram em mim, bem como pelo apoio e incentivo ao longo da minha jornada acadêmica. Também não posso deixar de mencionar meus amigos que conheci na universidade, com destaque para Jânio Emerson e Gabriel Freire, que estiveram ao meu lado durante todo o curso.

Expresso minha sincera gratidão aos amigos da Igreja Adventista Central de João Pessoa, em particular aos do grupo "PG Jovem Centro". Foi com eles que pude compartilhar todas as alegrias e dificuldades ao longo do curso.

Meu professor e orientador, Fábio Lopes, merece uma menção especial, pois sempre foi atencioso não só comigo, mas também com meus colegas, desempenhando um papel fundamental na construção deste trabalho de conclusão, além de ser um profissional exemplar. E não posso esquecer de agradecer a todos os professores que lecionaram durante o curso, contribuindo significativamente para minha formação.

Por fim, quero expressar minha gratidão a todas as pessoas que fizeram parte da minha jornada, aquelas que me incentivaram e apoiaram de maneira a concluir o curso.

RESUMO

Os deslizamentos de terra no Brasil constituem um problema grave que impacta várias regiões do país, especialmente durante os períodos de chuvas intensas. Esses eventos naturais têm provocado inúmeras tragédias ao longo dos anos, resultando em perdas humanas e materiais significativas. A fim de prevenir essas situações, a engenharia geotécnica tem buscado soluções tradicionais para estabilizar encostas. No entanto, muitas dessas soluções apresentam custos elevados e podem enfrentar desafios devido à topografia do terreno, o que por vezes dificulta a utilização de equipamentos. Por outro lado, surge a bioengenharia de solos como uma alternativa, que se concentra na combinação de elementos biologicamente ativos com elementos inertes. Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo descrever o processo artesanal de fabricação de uma biomanta de 1,50x2,00 metros, elaborada a partir de fibras de coco, com o propósito de avaliar seu desempenho quando aplicada em um talude natural. Para isso, coletaram-se 35 cocos descartados em um quiosque na região de João Pessoa, que serviram como fonte primária para a confecção da biomanta. Dessa forma, após uma análise de desempenho da biomanta ao longo de 5 semanas, podemos concluir que essa solução se mostra viável, pois não agride o ecossistema e reutiliza materiais descartados, além de estimular fontes de renda local e possuir um custo de produção inferior ao valor de compra de telas convencionais.

Palavras-chave: Estabilização de Taludes; Bioengenharia de solos; Biomanta.

ABSTRACT

Landslides in Brazil constitute a serious problem that affects various regions of the country, especially during periods of heavy rainfall. These natural events have caused numerous tragedies over the years, resulting in significant human and material losses. In order to prevent these situations, geotechnical engineering has been seeking traditional solutions to stabilize slopes. However, many of these solutions come with high costs and may face challenges due to the terrain's topography, which sometimes makes equipment usage difficult. On the other hand, soil bioengineering emerges as an alternative, focusing on the combination of biologically active elements with inert ones. In this context, this work aims to describe the artisanal process of manufacturing a 1.50x2.00 meter biomat made from coconut fibers, with the purpose of evaluating its performance when applied to a natural slope. To do this, 35 discarded coconuts were collected from a kiosk in the João Pessoa region, which served as the primary source for making the biomat. Thus, after a performance analysis of the biomat over 5 weeks, we can conclude that this solution proves to be viable as it does not harm the ecosystem, reuses discarded materials, stimulates local income sources, and has a lower production cost than the purchase value of conventional screens.

Keywords: Slope Stabilization; Soil Bioengineering; Biomat.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Composição de um talude....13
Figura 02 – Tipos de taludes....14
Figura 03 – Esquema para ocorrência de quedas e rolamentos de blocos....15
Figura 04 – Esquema para ocorrência de tombamento de blocos....16
Figura 05 – Esquema para ocorrência de escorregamentos rotacionais/circulares..17
Figura 06 – Esquema para ocorrência de escorregamentos translacionais/planares17
Figura 07 – Esquema para ocorrência de escorregamentos em cunha....18
Figura 08 – Esquema para ocorrência de escoamento do tipo rastejo....19
Figura 09 – Esquema para ocorrência de escoamento do tipo corrida....19
Figura 10 – Processos e formas erosivas....20
Figura 11 – Esquema da influência do impacto das chuvas causando a desagregação do solo....21
Figura 12 – Exemplo de erosão do tipo sulco....22
Figura 13 – Exemplo de erosão do tipo ravina....22
Figura 14 – Exemplo de erosão do tipo voçoroca....23
Figura 15 – Biomantas antierosivas de fibra de coco e palha agrícola....25
Figura 16 – Bermalongas com fibras vegetais prensadas e envolvida por uma malha de polipropileno....27
Figura 17 – Bermalongas associados ao plantio de gramíneas....27
Figura 18 – Demonstração de aplicação de hidrossemeadura em talude de corte...29
Figura 19 – Aplicação da hidrossemeadura em conjunto com biomantas de fibra de coco....30
Figura 20 – Grama São Carlos....32
Figura 21 – Coqueiro da espécie anão (a esquerda) e gigante (a direita)....33
Figura 22 – Morfologia do fruto do coco....34
Figura 23 – Fibras de coco verde....34
Figura 24 – Compra de coco verde por semana em alguns bairros da capital João Pessoa....36
Figura 25 – Quiosque no qual foi coletado os cocos....37
Figura 26 – Abertura realizada nos cocos....38
Figura 27 – Procedimento de extração das fibras de coco....38
Figura 28 – Extração das fibras de coco....39

Figura 29 – Fibras imersas em baldes contendo água.....39
Figura 30 – Processo de secagem das fibras 40
Figura 31 – Construção da fôrma.....41
Figura 32 – Distribuição das fibras no molde 42
Figura 33 – Biomanta de fibra de coco enrolado em formato de bobina 43
Figura 34 – Detalhes da região em estudo 44
Figura 35 – Talude para a fixação da biomanta.....44
Figura 36 – Detalhe do micro-coveamento.....45
Figura 37 – Espaçamento entre as covas 46
Figura 38 – Detalhamento das micro-covas no talude 46
Figura 39 – Sementes da grama São Carlos 47
Figura 40 – Adubo NPK 04-14-08 48
Figura 41 – Mistura das sementes com o fertilizante 48
Figura 42 – Aplicação da mistura das sementes com o fertilizante 49
Figura 43 – Fechamento das covas e regularização do talude 49
Figura 44 – Valeta na parte superior do talude.....50
Figura 45 – Detalhe da biomanta na valeta.....50
Figura 46 – Esquema da ancoragem superior da biomanta.....51
Figura 47 – Tipos e características dos grampos para fixação das biomantas 51
Figura 48 – Grampos de aço utilizados para fixação da biomanta.....52
Figura 49 – Quantidade de grampos necessário de acordo com inclinação do talude 52
Figura 50 – Esquema da ancoragem inferior da biomanta.....53
Figura 51 – Biomanta fixada na face do talude 53
Figura 52 – Aparecimento dos primeiros brotos da grama São Carlos 54
Figura 53 – Desenvolvimento da vegetação sobre a biomanta 2 semanas depois...55
Figura 54 – Desenvolvimento da vegetação sobre a biomanta 3 semanas depois...56
Figura 55 – Desenvolvimento da vegetação sobre a biomanta 4 semanas depois...57
Figura 56 – Desenvolvimento da vegetação sobre a biomanta 5 semanas depois...58
Figura 57 – Detalhe da tela grama armada.....60
Figura 58 – Talude de corte localizado no município de Santa Rita 61
Figura 59 – Biomanta antes e depois de ser danificada.....61

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Características da grama São Carlos 31
Tabela 02 – Custos de materiais para a produção da biomanta.....59

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 11
1.1 Justificativa 12
1.2 Objetivos 12
1.2.1 Objetivo Geral *12*
1.2.2 Objetivos Específicos *13*
1.3 Metodologia 13
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 13
2.1 Talude 13
2.2 Movimentos de Massa 14
2.2.1 Quedas e Rolamentos *15*
2.2.2 Tombamento *15*
2.2.3 Escorregamentos *16*
2.2.4 Escoamentos *18*
2.3 Processo Erosivo 20
2.3.1 Erosão pluvial *21*
2.4 Bioengenharia de solos na proteção de taludes 23
2.4.1 Biomantas antierosivas *25*
2.4.2 Bermalongas *26*
2.4.3 Hidrossemeadura *28*
2.5 Espécies vegetais empregadas na estabilização de taludes 30
2.5.1 Grama São Carlos *31*
2.6 Coco 32
2.6.1 Morfologia vegetal do fruto *33*
2.6.2 Aplicação das fibras de coco na fabricação de biomantas *34*
2.6.3 Problemática dos resíduos associados ao coco *35*
3. PROCEDIMENTOS 37
3.1 Confecção da biomanta 37
3.1.1 Coleta dos cocos *37*
3.1.2 Processo de retirada das fibras *37*
3.1.3 Preparo da resina ligante biodegradável *40*
3.1.4 Desenvolvimento de um molde para a fabricação da manta *41*
3.1.5 Confecção da biomanta *41*
3.2 Caracterização da área de estudo 43

3.3 Implantação da biomanta 44
3.3.1 Acerto e regularização do terreno *45*
3.3.2 Micro-coveamento do solo *45*
3.3.3 Preparo dos insumos e semeio *46*
3.3.4 Ancoragem superior da Biomanta *49*
3.3.5 Fixação da biomanta *51*
3.3.6 Ancoragem inferior da biomanta *53*
4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS 54
4.1 Desempenho da grama São Carlos 54
4.2 Desempenho da biomanta 58
4.3 Custo de produção da biomanta 59
4.4 Desafios na utilização da biomanta 60
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS 62
5.1 Sugestões para trabalhos futuros 63
6. REFERÊNCIAS 64

1. INTRODUÇÃO

Os movimentos de massa são fenômenos geológicos que envolvem o deslocamento de grandes volumes de solo, rochas e detritos ao longo de encostas e terrenos inclinados. Esses movimentos, como deslizamentos, avalanches e erosão, são frequentemente desencadeados por fatores como chuvas intensas, terremotos ou ação humana. Eles representam uma ameaça significativa para áreas urbanas e rurais, causando danos materiais, interrupções econômicas e riscos à vida (Antonelli, 2018).

No Brasil, tais movimentos quando acontecem em regiões densamente povoadas, resultam em desastres que causam prejuízos a uma parte da população. Essa questão está intrinsecamente ligada ao rápido crescimento desordenado da maioria das cidades brasileiras, que carecem de um planejamento apropriado (Araújo, 2021).

Com o propósito de tornar as áreas de encostas mais seguras para a população, a engenharia tem empregado uma variedade de soluções convencionais para a estabilização de taludes. No entanto, muitas dessas abordagens acabam se tornando onerosas para as entidades governamentais, devido a fatores como a geometria do talude e a dificuldade de acesso com determinados equipamentos. Isso frequentemente inviabiliza a execução de certos projetos e intervenções necessárias.

É a partir desse cenário que surge a bioengenharia de solos como alternativa para o controle de erosão em taludes. Ela concentra seus esforços na combinação de elementos biologicamente ativos, como ramos, brotos e raízes de vegetação, com elementos inertes, tais como concreto, madeira, ligas metálicas e polímeros naturais e sintéticos, a fim de realizar intervenções voltadas para a estabilização de solos e sedimentos. A principal finalidade dessa abordagem é aproveitar as características estruturais e mecânicas das raízes e caules como componentes essenciais para a contenção e proteção de solos, por meio da aplicação de diversos arranjos geométricos (Moretto, 2012).

Uma das técnicas empregadas inclui o uso de biomantas antierosivas, frequentemente confeccionadas a partir de fibras naturais, como as provenientes do coco. Estas mantas desempenham a importante função de proteger a camada

superficial do solo, atuando como dissipadores de energia. Ao estabelecer um contato direto com o solo, elas criam barreiras que reduzem a velocidade do escoamento da água, diminuindo, assim, o impacto da erosão, principalmente ocasionada pelas chuvas (Couto *et al.*, 2010).

Portanto, este estudo descreve o processo de fabricação artesanal de uma biomanta elaborada a partir de fibras de coco e avalia seu desempenho quando aplicada em um talude natural, juntamente com a técnica de semeadura usando a grama São Carlos. Além disso, busca promover a conscientização ambiental sobre a reutilização da casca de coco, apresentando-se como uma solução para reduzir a quantidade de resíduos sólidos gerados nas cidades e criando oportunidades de renda para pequenas comunidades.

1.1 Justificativa

Evidencia-se que as soluções convencionais continuam sendo amplamente adotadas para o controle de erosão em taludes. No entanto, muitas dessas abordagens acarretam elevados custos e requerem a mobilização de equipamentos volumosos. Com isto, as execuções de certos projetos acabam sendo frequentemente inviabilizadas.

Nesse contexto, as técnicas de bioengenharia de solos se destacam como uma alternativa viável devido à sua eficiência e custo reduzido, além de contribuir para a reciclagem dos cocos, evitando descarte inadequado do resíduo. Por tanto, este estudo é notavelmente relevante, pois avalia o desempenho da biomanta em conjunto com a grama São Carlos, quando aplicada em um talude.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Descrever o processo de fabricação artesanal de uma biomanta elaborada a partir de fibras de coco e avaliar seu desempenho quando aplicada em um talude natural, em conjunto com a técnica de semeadura utilizando a grama São Carlos.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Descrever o processo de confecção da biomanta de fibra de coco artesanal e sua instalação no talude;
- Verificar o desempenho de crescimento da grama São Carlos utilizada na semeadura;
- Verificar o desempenho da biomanta ao longo do período de análise;

1.3 Metodologia

Esta monografia foi fundamentada por uma revisão bibliográfica, através de trabalhos de conclusão de curso com temas semelhantes ao apresentado, dissertações de mestrado e artigos especializados no assunto.

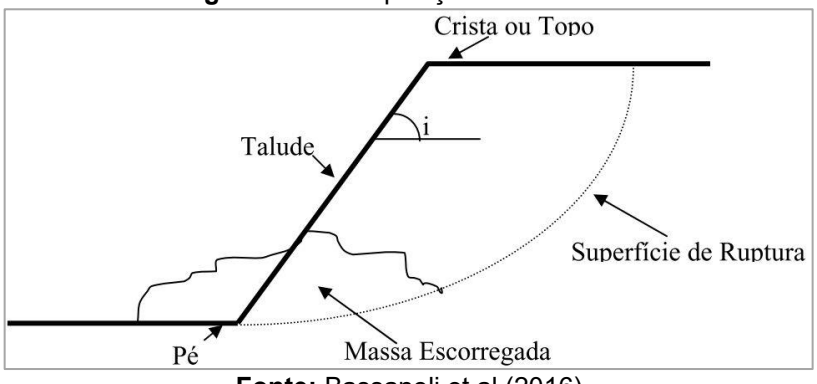
Além disto, o trabalho consistiu na fabricação de uma biomanta artesanal feita a partir de fibras de coco, no qual foi posteriormente instalada em um talude natural situado no município de Santa Rita.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Talude

O termo "talude" se refere a uma superfície inclinada do solo que marca os limites de um platô (Figura 01). De acordo com Fiori (2015), essas características topográficas são igualmente identificadas como encostas, rampas ou colinas, podendo ser originadas de processos naturais ou deliberadamente construídas pelo ser humano.

Figura 01 – Composição de um talude.

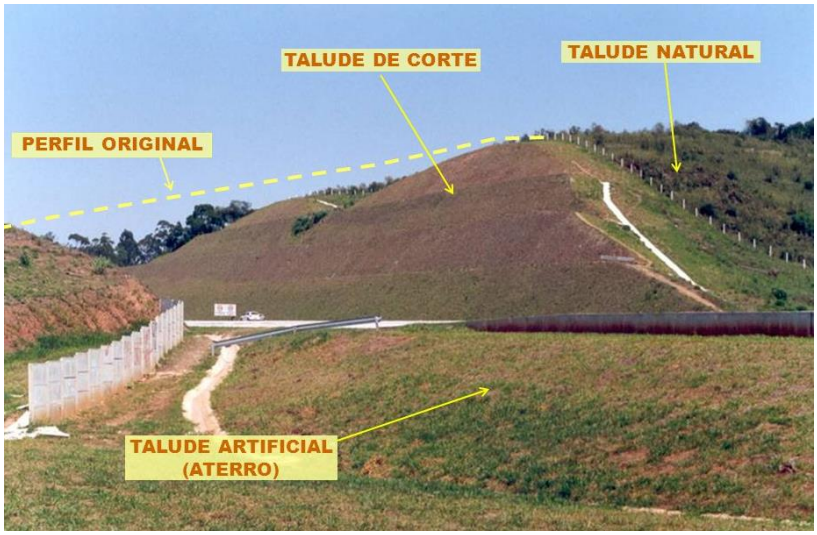


Fonte: Bassaneli et al (2016).

Conforme Bertoni (2017), nos taludes de origem natural, é possível identificar a presença de solos remanescentes da decomposição local e/ou de sedimentos acumulados por processos de movimentação de solo, além de fragmentos de rocha. Ainda segundo Bertoni (2017), os solos residuais mantêm-se no local onde foram formados, enquanto os de sedimentos acumulados se desenvolvem em decorrência do deslocamento, sendo a gravidade a principal força motriz desse processo.

Já os taludes construídos pelo ser humano podem ser caracterizados como de corte ou aterro. O talude de corte é compreendido como uma inclinação resultante de diversas atividades humanas de escavação, enquanto o talude de aterro diz respeito à inclinação de montes artificiais compostos por materiais de variadas granulometrias e proveniências, abrangendo resíduos industriais, urbanos ou de atividades de mineração (Bassaneli *et al.*, 2016).

Figura 02 – Tipos de taludes.



Fonte: Araújo (2021).

2.2 Movimentos de Massa

Conforme destacado por Facuri (2020), o conceito de movimentos de massa engloba qualquer deslocamento de pedras, rochas, sedimentos (fragmentos minúsculos de rochas) ou solo nas encostas de morros, resultado da influência da gravidade.

Os agentes que desencadeiam movimentos de massa ocorrem em dois grupos: agentes predisponentes e agentes efetivos. Os primeiros representam as condições geológicas, geométricas e ambientais do local onde os processos ocorrem, como

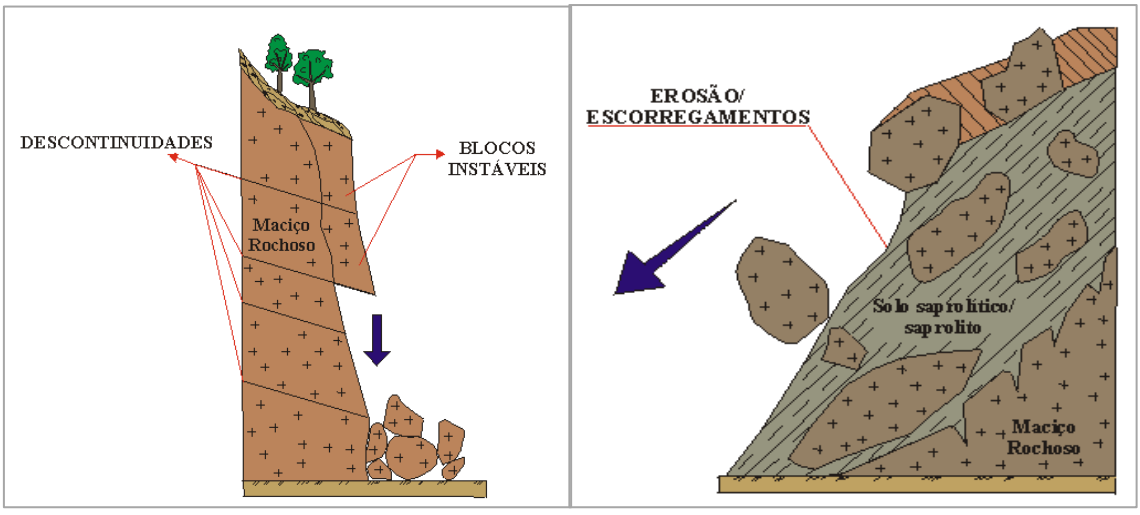
complexidade geológica, morfológica e fatores climáticos. Os agentes efetivos são responsáveis diretos pelos movimentos, divididos em imediatos (chuva intensa, erosão, ventos e ação humana) e preparatórios (pluviosidade, erosão, temperatura, reações químicas e nível do lençol freático) (Antonelli, 2018).

De acordo com o site da Cemaden[1], ao levar em conta os mecanismos particulares e a variedade de materiais relacionados, são possíveis categorizar os deslocamentos de terra em quatro categorias principais: quedas, tombamentos, escorregamentos e escoamentos.

2.2.1 Quedas e Rolamentos

Conforme Ahrendt (2005), no deslocamento de quedas e rolamentos ocorrem o desprendimento de uma quantidade variável de solo e/ou rocha de encostas íngremes ou escarpas, ao longo de superfícies onde o deslocamento cisalhante é mínimo ou praticamente inexistente. Estes deslocamentos são primariamente caracterizados pela queda livre do material, assim como pelo rolamento ou até mesmo saltos do mesmo, evidenciando movimentos que variam de rápidos a excepcionalmente velozes (Figura 03).

Figura 03 – Esquema para ocorrência de quedas e rolamentos de blocos.



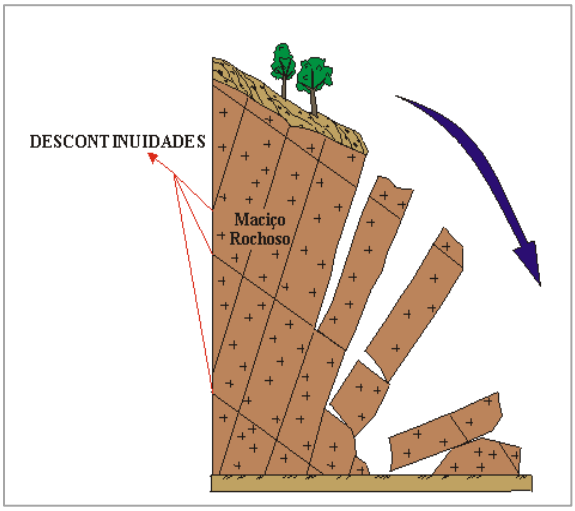
Fonte: Peixoto (2022) *apud* Junior e Fornasari (1998).

2.2.2 Tombamento

O tombamento ocorre quando um bloco de material rochoso rotaciona para fora a partir de uma encosta (Figura 04). Esse movimento acontece quando o vetor

resultante das forças atuantes está posicionado abaixo ou fora do centro de gravidade do bloco, frequentemente localizado na base do segmento afetado. Essas forças podem ser atribuídas à gravidade ou serem exercidas por unidades geológicas adjacentes, bem como pela presença de fluidos presentes nas descontinuidades do terreno (Ahrendt, 2005).

Figura 04 – Esquema para ocorrência de tombamentos de blocos.



Fonte: Peixoto (2022) *apud* Junior e Fornasari (1998).

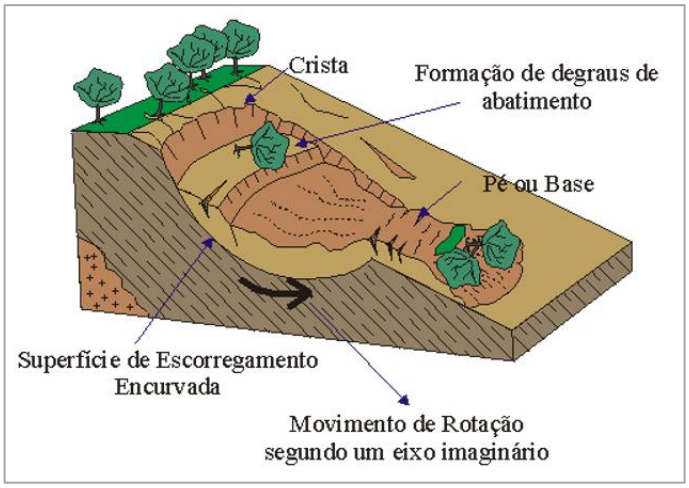
2.2.3 Escorregamentos

De acordo com Gerscovich (2016), os escorregamentos são movimentos que se manifestam de forma rápida e possuem uma superfície de ruptura distintamente delineada. A desencadeação desse movimento ocorre quando as tensões cisalhantes mobilizadas no volume do solo ou rocha alcançam a resistência característica ao cisalhamento desse material. Isso é aplicável tanto a terrenos compostos por solos quanto por rochas, em que a quebra se concretiza ao longo da superfície que apresenta menor resistência. Segundo Ahrendt (2005), os escorregamentos são divididos em duas classes: Escorregamentos Rotacionais e Translacionais. Contudo, de acordo com Peixoto (2022), também há o escorregamento em cunha.

a) **Escorregamentos Rotacionais ou Circulares:** Trata-se de deslizamentos nos quais o material em deslocamento experimenta mínima deformação, frequentemente afetando apenas uma ou algumas unidades litológicas. Esses eventos ocorrem principalmente em aterros, pacotes de solo ou depósitos mais espessos, rochas sedimentares ou cristalinas intensamente fraturadas. Uma característica proeminente é a formação de uma superfície curvada, geralmente

com a curvatura voltada para cima. Após o movimento, as fissuras expostas seguem um padrão concêntrico quando observadas em planta, e côncavo na direção do movimento, conforme a Figura 05 (Ahrendt, 2005).

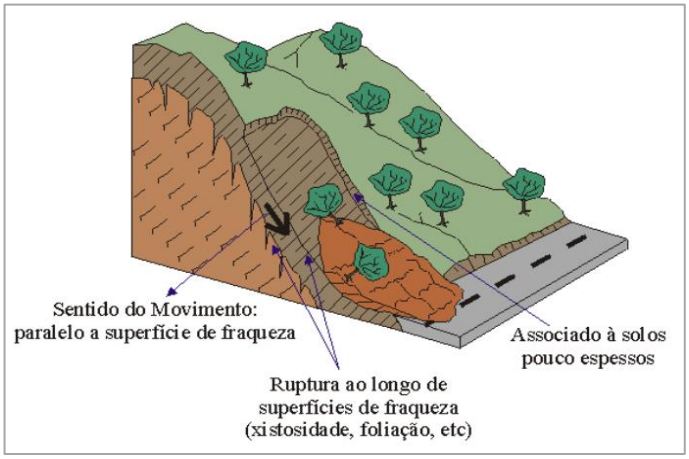
Figura 05 – Esquema para ocorrência de escorregamentos rotacionais/circulares.



Fonte: Peixoto (2022) *apud* Junior e Fornasari (1998).

b) **Escorregamentos Translacionais ou Planares:** Trata-se de deslizamentos nos quais o material em deslocamento experimenta considerável deformação, afetando múltiplas unidades parcialmente independentes (Ahrendt, 2005). Conforme Antonelli (2018), a zona de ruptura apresenta variação entre 0,5m a 5,0m da sua espessura, tornando-os mais finos em comparação com os movimentos rotacionais. Esses deslizamentos ocorrem em uma configuração planar que frequentemente segue as descontinuidades mecânicas ou hidrológicas presentes no interior do material (Figura 06). A formação desses planos de fraqueza resulta de fatores como camadas sedimentares, orientações geológicas, fraturas, falhas, juntas e também influências geomorfológicas, como depósitos nas encostas, ou pedológicas, como interfaces entre diferentes horizontes de solo.

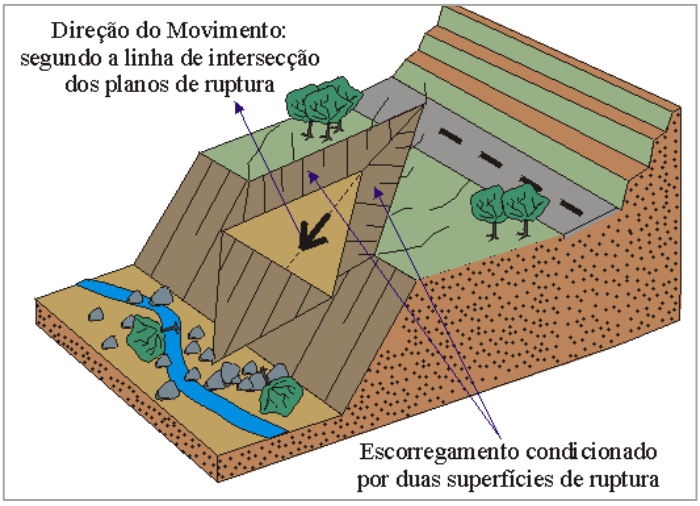
Figura 06 – Esquema para ocorrência de escorregamentos translacionais/planares.



Fonte: Peixoto (2022) *apud* Junior e Fornasari (1998).

c) **Escorregamentos em Cunha:** Os deslizamentos em forma de cunha ocorrem em áreas de rochas decompostas e compactas, onde duas estruturas planares instáveis influenciam o movimento de uma porção de rocha ao longo do ponto de interseção desses planos (Figura 07). Esses deslizamentos são comuns em encostas inclinadas ou taludes que passaram por algum processo de desestabilização (Peixoto, 2022).

Figura 07 – Esquema para ocorrência de escorregamentos em cunha.



Fonte: Peixoto (2022) *apud* Junior e Fornasari (1998).

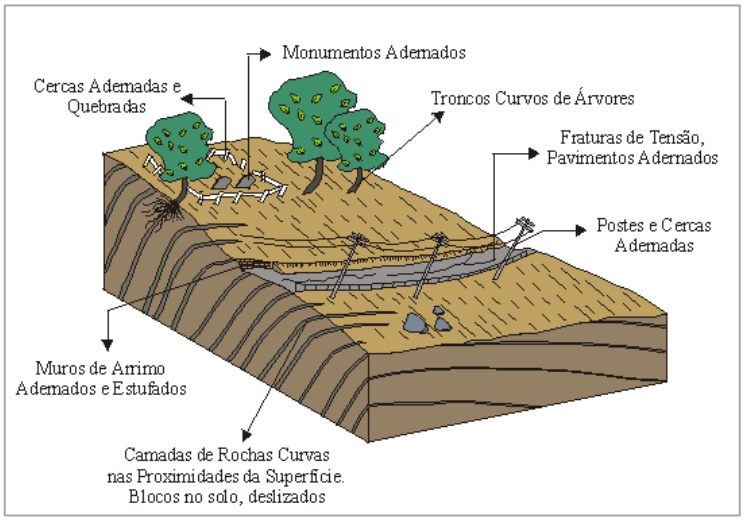
2.2.4 Escoamentos

O fenômeno dos escoamentos refere-se a movimentos contínuos, podendo ocorrer com ou sem uma fronteira de deslocamento bem definida, e não estão restritos a uma velocidade específica. Conforme discutido por Gerscovich (2016), é possível classificar esses escoamentos em duas categorias: movimentos lentos (rastejos) e movimentos rápidos (corridas).

a) **Movimentos Lentos (Rastejos):** são caracterizados por deslocamentos gradualmente lentos (geralmente em centímetros por ano) e contínuos de materiais presentes em encostas, cujos limites não são nitidamente definidos. Esses movimentos são desencadeados tanto pela influência da gravidade quanto por flutuações nas condições de temperatura e umidade, as quais levam à expansão e contração dos materiais envolvidos. Esses ciclos de mudança podem, por sua vez,

resultar na quebra e deformação dos materiais. Quando observados em superfícies, os efeitos do rastejo podem ser identificados pela inclinação de árvores, postes, cercas ou muros, conforme a Figura 08 (Antonelli, 2018).

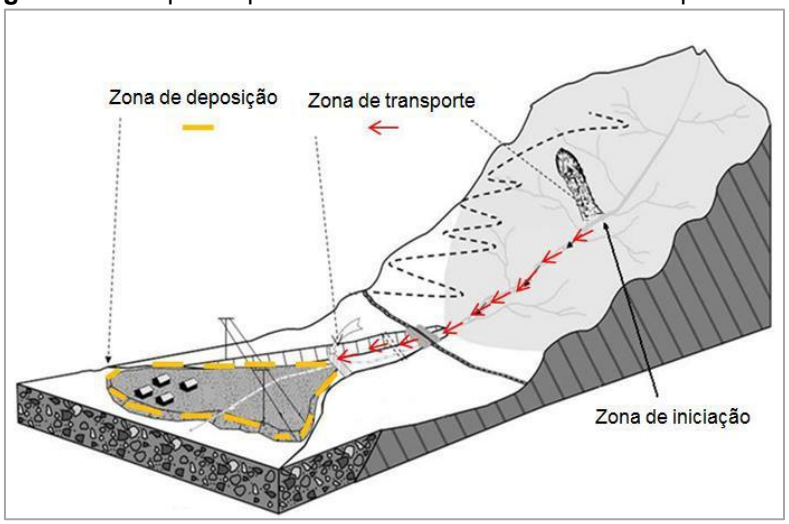
Figura 08 – Esquema para ocorrência de escoamento do tipo rastejo.



Fonte: Peixoto (2022) *apud* Junior e Fornasari (1998).

b) **Movimentos Rápidos (Corridas):** As corridas constituem eventos caracterizados pela rápida dissipação de energia e alta velocidade (>10km/h), apresentando uma natureza fundamentalmente hidrodinâmica. Esses fenômenos ocorrem devido à redução do atrito interno causado pela deterioração da estrutura do solo em decorrência do acúmulo excessivo de água. Esses movimentos resultam na formação de um fluido denso e viscoso, capaz de cobrir vastas áreas e até transportar blocos de grande escala, tendo assim um potencial destrutivo considerável, conforme mostra a ilustração na Figura 09 (Antonelli, 2018).

Figura 09 – Esquema para ocorrência de escoamento do tipo corrida.



Fonte: PUC Rio *apud* Nunes e Sayão (2014).

2.3 Processo Erosivo

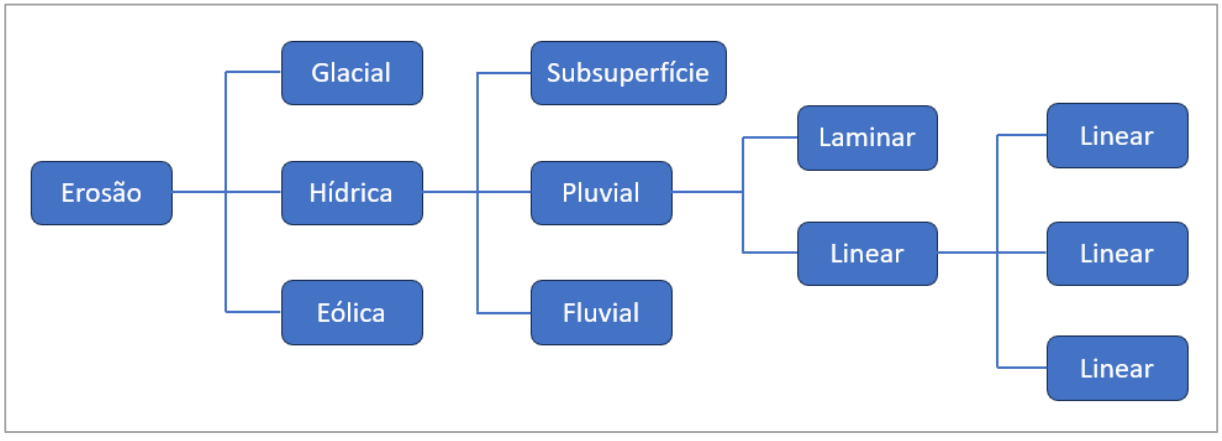
De acordo com Pinese *et al.* (2008), a erosão é definida como o fenômeno que compreende o descolamento, o transporte e a deposição das partículas constituintes do solo, sendo desencadeada pela atuação de agentes erosivos. Este processo se manifesta quando o potencial de transporte do agente erosivo supera o limite de agregação das partículas do solo, ocasionando sua desagregação e possibilitando, assim, seu transporte. A erosão, como destacado por Jesus (2013), desempenha um papel crucial na esculturação da superfície terrestre, representando um processo inerente à evolução natural da paisagem.

A erosão pode ser categorizada em três principais tipos: erosão hídrica, erosão eólica e erosão glacial (Jesus, 2013). Segundo Mendes (2015), a erosão hídrica é caracterizada pela ação erosiva da água como seu principal agente, enquanto a erosão eólica resulta da influência vigorosa dos ventos como fator erosivo predominante, por sua vez, a erosão glacial é ocasionada pelo gelo como agente erosivo.

A erosão hídrica se subdivide em diferentes tipos, sendo eles: erosão fluvial, que se desencadeia devido à ação erosiva das águas provenientes de rios; erosão pluvial, cujo agente erosivo principal é a água da chuva; e erosão de subsuperfície, que ocorre nas camadas mais profundas do solo, resultando no seu desgaste progressivo (Mendes, 2019).

As categorizações e subdivisões da erosão em relação aos seus agentes podem ser visualizadas na Figura 10.

Figura 10 – Processos e formas erosivas.



Fonte: Jesus (2022), modificado pelo autor.

2.3.1 Erosão pluvial

Conforme Santos (2015), a erosão pluvial é o resultado da ação da energia cinética do impacto da água da chuva em contato com o solo. Esse processo não apenas causa a desagregação parcial dos agregados naturais do solo, mas também promove a liberação das partículas finas, projetando-as para fora da massa de solo (Figura 11).

Figura 11 – Esquema da influência do impacto das chuvas causando a desagregação do solo.

Fonte: www.eos.com/pt/blog/erosao-hidrica/

A erosão pluvial é categorizada em dois tipos principais: erosão laminar e erosão linear. A erosão laminar ocorre em chuvas fortes com solo saturado, causando desgaste suave na camada superficial. Já a erosão linear envolve o escoamento concentrado da água na superfície do solo, resultando no desprendimento e transporte de partículas. A erosão linear pode ser subdividida em três categorias distintas: sulco, ravina e voçoroca. (Mendes, 2019).

De acordo com Mendes (2019) *apud* Foster (1981), as erosões em sulcos costumam manifestar-se com dimensões que, em geral, não excedem os 30 centímetros de profundidade, acompanhadas de pequenas rupturas na superfície do terreno ao longo de suas bordas (Figura 12).

Figura 12 – Exemplo de erosão do tipo sulco.

Fonte: www.eos.com/pt/blog/erosao-hidrica/

À medida que o fluxo de água persiste na superfície por um período prolongado, pode-se propiciar o desenvolvimento de ravinas, as quais se caracterizam por erosões mais significativas, alcançando profundidades superiores a 30 centímetros, como observado na Figura 13.

Figura 13 – Exemplo de erosão do tipo ravina.

Fonte: www.eos.com/pt/blog/erosao-hidrica/

Conforme Branco (2014), o estágio final do processo erosivo é caracterizado pelo desenvolvimento de voçorocas, as quais se destacam por suas extensas dimensões (Figura 14). Essas voçorocas começam a se manifestar quando o ravinamento atinge o nível do lençol freático. A partir desse ponto, seu desenvolvimento se torna consideravelmente difícil de conter, uma vez que não dependem mais da precipitação pluvial para expandir.

Figura 14 – Exemplo de erosão do tipo voçoroca.

Fonte: www.conhecimentocientifico.r7.com/vocoroca/

Diante disto, a cobertura vegetal desempenha um papel crucial no controle da erosão, reduzindo os efeitos do impacto das gotas de chuva e do escoamento superficial. Quando as gotas de chuva atingem a vegetação, se fragmentam em gotas menores, diminuindo o impacto inicial. Além disso, a vegetação atua como obstáculo no escoamento, dissipando a energia cinética e contribuindo para a prevenção da erosão (Oliveira; Araújo, 2020).

Segundo Oliveira; Araújo (2020), a cobertura vegetal é responsável por: proteção contra o impacto direto das gotas de chuva, a dispersão da energia decorrente do escoamento, a promoção da infiltração por meio dos poros criados pelo sistema radicular e o aumento da capacidade de retenção de água no solo.

2.4 Bioengenharia de solos na proteção de taludes

No contexto da engenharia geotécnica, a estabilização de encostas e contenção de movimentos de massa são desafios importantes. Embora soluções convencionais tenham sido amplamente utilizadas para enfrentar esses desafios, muitas delas podem acarretar custos elevados para as entidades públicas envolvidas. Além disso, fatores como a topografia do terreno e dificuldades de acesso a certos locais podem tornar inviáveis a implementação de obras e intervenções. É com base nesse contexto que a bioengenharia desempenha um papel fundamental.

De acordo com Moretto (2012), a bioengenharia se concentra na combinação de elementos biologicamente ativos, como ramos, brotos e raízes de vegetação, com

elementos inertes, tais como concreto, madeira, ligas metálicas e polímeros naturais e sintéticos, em intervenções destinadas à estabilização de solos e sedimentos.

Essa técnica tem como objetivo principal a utilização das características estruturais e mecânicas das raízes e caules como elementos fundamentais para a contenção e proteção de solos, empregando diversos arranjos geométricos (Moretto, 2012).

Segundo Couto *et al.* (2010), dentre as diversas vantagens decorrentes da implementação de tecnologias fundamentadas na bioengenharia dos solos, destacam-se:

- Exigência de maquinaria mínima e a possibilidade de recrutar trabalhadores com menor especialização técnica;
- Incorporação de recursos naturais e locais, como madeira, pedras e compostos orgânicos, resultando em economia de custos no transporte;
- Compatibilidade ambiental intrínseca, uma vez que geralmente requerem menos equipamentos e menos movimentação de terra, minimizando a perturbação ambiental durante a execução;
- Capacidade de autorreparação devido à habilidade das plantas em crescer e se regenerar naturalmente;
- Adequação para locais de difícil acesso ou inacessíveis para maquinaria convencional, tornando as técnicas de bioengenharia de solos a única alternativa viável de projeto;
- Redução da umidade e das pressões no solo, resultando em maior estabilidade geotécnica.

Entretanto, além dos pontos positivos mencionados anteriormente, a vegetação também pode gerar impactos percebidos de maneira negativa na estabilização de um talude. No que diz respeito aos efeitos negativos, é possível observar um aumento na rugosidade do terreno devido à ação das raízes, o que pode resultar na elevação da taxa de infiltração e, consequentemente, no aumento da permeabilidade superficial devido à formação de fissuras. Ademais, as raízes podem provocar deslocamentos de blocos de rochas (Pinto, 2009).

A seguir, serão abordadas algumas das técnicas de bioengenharia de solos utilizadas no Brasil e no mundo, tais como biomantas antierosivas, Bermalongas e hidrossemeadura.

2.4.1 Biomantas antierosivas

O geossintético representa uma manta composta por uma variedade de materiais, incluindo componentes sintéticos e naturais, o que culmina na categorização em duas classes distintas, nomeadamente, geossintéticos degradáveis e não degradáveis (Bezerra *et al.*, 2011). Assim, quando o material utilizado na produção da manta apresenta características biodegradáveis, elas são também denominadas como biomantas antierosivas.

As biomantas antierosivas se configuram como uma estratégia adotada pela engenharia para enfrentar problemas de erosão do solo, proporcionando sua proteção por meio de uma intervenção sustentável e economicamente viável (Mariani, 2016).

Conforme Couto *et al.* (2010), as biomantas são produzidos a partir de uma variedade de matérias-primas disponíveis, incluindo o algodão, a fibra de coco, o sisal, o trigo, o milho e palhas compostas por restos de culturas agrícolas (Figura 15). Além disso, as biomantas frequentemente são confeccionadas em materiais sintéticos, como o polipropileno, o polietileno, o nylon e outros compostos utilizados para amarrar os resíduos vegetais.

Figura 15 – Biomantas antierosivas de fibra de coco e palha agrícola.

Fonte: Deflor Engenharia (2007).

De acordo com informações disponíveis no site da Deflor Engenharia, as biomantas antierosivas oferecem uma série de aplicações cruciais e vantagens significativas, destacando-se:

- Oferece proteção imediata contra a erosão superficial do solo.
- Atua como uma cobertura protetora para facilitar a germinação das sementes.
- Aumenta a capacidade de retenção de nutrientes no solo por meio da troca catiônica.
- Reduz a suscetibilidade à erosão e enriquece o solo com matéria orgânica.
- Possui um processo de degradação controlada e programável.
- Minimiza a evaporação da umidade do solo, promovendo a conservação da água.
- Diminui a incidência direta da luz solar sobre o solo, auxiliando na regulação da temperatura.
- Fixa sementes, fertilizantes, material orgânico e camada superficial do solo.
- Reduz o escoamento superficial da água, prevenindo a erosão hídrica.
- Facilita a infiltração da água no solo, contribuindo para a recarga dos lençóis freáticos.
- Diminui a perda de sedimentos para os corpos d'água, protegendo os recursos hídricos.
- Permite o plantio em períodos de escassez de chuvas, aumentando a flexibilidade.
- Melhora imediatamente a estética de áreas degradadas, tornando-as mais atrativas.
- Acelera o processo de revegetação e recuperação ambiental.
- Previne a erosão causada pelo vento em áreas expostas.
- Protege as margens de corpos d'água, reservatórios e canais de drenagem, preservando os ecossistemas aquáticos.

2.4.2 Bermalongas

Conforme Gomes *et al.* (2005), os bermalongas são estruturas flexíveis de formato cilíndrico, caracterizadas por sua diversidade em termos de comprimento e

diâmetro. Eles são constituídos por fibras vegetais desidratadas e compactadas, envoltas por uma malha de polipropileno (Figura 16). Esses dispositivos são empregados em terrenos com elevada inclinação, com o objetivo de mitigar a erosão superficial, sendo, por essa razão, conhecidos como sistemas de contenção de sedimentos.

Figura 16 – Bermalongas com fibras vegetais prensadas e evolvida por uma malha de polipropileno.

Fonte: Couto *et al.* (2010).

De acordo com Couto *et al.* (2010), o Bermalonga pode ser empregado de forma independente para a captura e retenção de sedimentos, sendo adequado para áreas com menor inclinação e um fluxo reduzido de sedimentos. Deve ser posicionado transversalmente à inclinação do talude e ancorado com estacas vivas, de madeira ou de aço. Além disso, é possível combiná-lo com o plantio de gramíneas, conforme a Figura 17.

Figura 17 – Bermalongas associados ao plantio de gramíneas.

Fonte: https://deflor.com.br/bermalonga/

Conforme mencionado no site da Deflor Engenharia, os bermalongas apresentam diversas características técnicas, algumas das quais serão destacadas abaixo.

- **Eficiência Drenante:** As fibras vegetais desse material têm a habilidade de reter sedimentos, enquanto ainda permitem a livre passagem da água, evitando obstruções. Isso torna o Bermalonga uma escolha viável para ser utilizado parcialmente como um sistema de drenagem profunda;
- **Leve e Manuseável:** se destaca por sua leveza, com uma densidade de apenas 100Kg/m³ no caso da variante de fibra vegetal. Isso o torna fácil de manusear, sendo possível o transporte manual para locais de difícil acesso;
- **Alto Poder de Retenção de Umidade:** Este material possui uma notável capacidade de absorver e reter umidade, conseguindo absorver até cerca de cinco vezes o seu próprio peso em água. Um exemplo típico de Bermalonga, com diâmetro de 40cm e comprimento de 1,60m, consegue reter até 100 litros de água enquanto pesa apenas 20kg;
- **Flexibilidade na Aplicação:** é extremamente maleável e pode ser moldado facilmente no local de aplicação, permitindo a criação de dobras e curvas conforme necessário. Além disso, quando é submetido à pressão, ele tem a capacidade de reduzir parcialmente o seu volume, o que é uma característica valiosa em diversas aplicações.

2.4.3 Hidrossemeadura

De acordo com Moretto (2012), a técnica da hidrossemeadura envolve a semeadura através de uma solução aquosa, utilizando sementes de plantas herbáceas e outros componentes que estimulam a germinação e o desenvolvimento das sementes, bem como a retenção de umidade (incluindo fertilizantes, adesivos e frequentemente celulose), como ilustrado na Figura 18. Para executar essa prática, é necessário o uso de equipamentos específicos, como um tanque equipado com pás agitadoras dispostas em um eixo horizontal, além de uma moto-bomba para a aplicação da mistura.

Figura 18 – Demonstração de aplicação de hidrossemeadura em talude de corte.

Fonte: https://deflor.com.br/hidrossemeadura/hidrossemeadura-5/

A aplicação da hidrossemeadura é apropriada para a preservação contra os efeitos dos agentes erosivos em várias situações, incluindo áreas recentemente aterradas, taludes com inclinação reduzida, locais com vegetação insuficiente e qualquer superfície de solo desprotegida. Isso ajuda a mitigar os riscos de processos erosivos, como a mobilização e o transporte de partículas.

Segundo Couto *et al.* (2010), é fundamental que a superfície do talude seja o mais uniforme possível, e isso pode ser alcançado por meio de ajustes e nivelamentos, que podem ser realizados tanto manualmente como por métodos mecânicos. O objetivo é eliminar os sulcos erosivos, preencher eventuais espaços vazios e garantir a fixação dos sedimentos soltos.

As vantagens predominantes incluem a rapidez e a eficiência econômica em largas extensões de terreno, bem como a eficácia em locais de difícil acesso, tudo isso a um custo geralmente acessível. No entanto, é importante considerar as desvantagens, como a necessidade de proximidade de fontes de água, a obrigação de realizar correções para preencher falhas, os desafios na promoção do crescimento de espécies naturais, a exigência de uma quantidade maior de sementes em comparação com o plantio manual e a necessidade de contar com mão de obra especializada (Moretto, 2012).

Conforme mencionado por Araújo (2021), é relevante enfatizar que a estratégia da hidrossemeadura pode ser aplicada em conjunto com a utilização das biomantas

(Figura 19). Isso proporciona a segurança necessária para preservar as sementes e os insumos contra a ação erosiva da água, ao mesmo tempo que a biomanta desempenha a função de reter a umidade e criar condições ideais para o crescimento das sementes. Como resultado, essa abordagem promove uma maior probabilidade de sucesso no desenvolvimento da vegetação.

Figura 19 – Aplicação da hidrossemeadura em conjunto com biomantas de fibra de coco.

Fonte: https://www.gabioesbr.com.br/Servicos/21/BIOMANTA-em-campo-bom

2.5 Espécies vegetais empregadas na estabilização de taludes

O manual técnico da Deflor (2005) destaca que para a estabilização de Taludes, existem duas categorias de espécies vegetais fundamentais: gramíneas e leguminosas. As gramíneas crescem rapidamente, têm baixa exigência de nutrientes e produzem biomassa, contribuindo para a sustentabilidade do solo. As leguminosas têm alta capacidade reprodutiva, exigem pouca fertilidade do solo e melhoram o substrato através da fixação de nitrogênio, fortalecendo as camadas mais profundas do solo.

Segundo Araújo (2021), entre as espécies mais comuns de uso estão a Grama Bermuda, a Grama São Carlos, a Grama Esmeralda, o Capim Vertiver e o Capim Agulha. De acordo com a Deflor (2005), a escolha das espécies deve ser orientada por critérios como sua adaptabilidade ao ambiente, resistência, habilidade de reprodução e perfilhamento, taxa de crescimento e disponibilidade de sementes. Além

disto, as sementes a serem empregadas devem incluir informações relativas à pureza e à viabilidade germinativa.

Diante disso, optou-se pela grama São Carlos, cujas características serão detalhadas a seguir.

2.5.1 Grama São Carlos

A grama São Carlos, cientificamente denominada Axonopus compressus, tem sua origem mais provável na América do Sul, possivelmente sendo nativa da região Sul do Brasil. Um dos seus nomes comuns, "Curitibana", faz referência à sua possível origem nessa área. Essa espécie demonstra uma notável capacidade de prevenir a erosão do solo e, uma vez estabelecida, também oferece um controle eficaz das plantas invasoras (Gurgel, 2003).

Conforme Saraiva *et al.* (2015), a Grama São Carlos se sobressai por sua incrível resistência à sombra, sendo uma escolha ideal para áreas que recebem apenas 4 horas de luz solar diariamente ou até mesmo mais. Suas folhas, mais largas e com um tom verde-escuro característico, conferem-lhe um visual rústico singular (Figura 20). Além disso, essa variedade de grama apresenta um crescimento notavelmente rápido em comparação aos outros tipos, como a Grama Esmeralda e a Grama Americana, e tem a capacidade surpreendente de se recuperar rapidamente de qualquer dano sofrido. A Tabela 01 apresenta as características da grama São Carlos

Tabela 01 – Características da Grama São Carlos.

Habito de crescimento.	Estabelecimento	Tolerância ao Pisoteio	Tolerância A Sombra	Tolerância Ao Frio	Tolerância a Seca	Obs
Estolonífera	20 dias Rápido	Alta	Muito Boa	Muito Boa	Boa 750 mm/ano	Resistente a solos ácidos e de baixa fertilidade

Fonte: BRSEEDS, 2011.

Figura 20 – Grama São Carlos

Fonte: www.planaltogramas.com/single-post/grama-são-carlos-características

2.6 Coco

O coco, também conhecido como coco-da-baía, representa o fruto do coqueiro (Cocos nucifera), uma espécie pertencente à família Arecaceae. Esta palmeira que dá origem ao coco é nativa do sudeste da Ásia, mais especificamente das regiões da Malásia, Filipinas e Indonésia, assim como das ilhas situadas entre os oceanos Pacífico e Índico (Lima *et al.*, 2015).

A espécie Cocos nucifera apresenta diversas variedades, incluindo a C. nucifera var. typica, também conhecida como coqueiro gigante, e a C. nucifera var. nana, referida como coqueiro anão (Figura 21). Além destas, há também uma variedade híbrida, resultante do cruzamento entre essas duas formas. No contexto agroindustrial e socioeconômico, destaca-se que as duas primeiras, o coqueiro gigante e o coqueiro anão, desempenham papéis de maior relevância do ponto de vista agroindustrial e socioeconômico (Benassi *et al.*, 2013).

De acordo com dados da Embrapa (2006), o coqueiro da espécie Gigante foi introduzido no Brasil pelos portugueses durante o século XVI, principalmente na região litorânea do Nordeste. Recentemente, observa-se uma expansão significativa de seu cultivo para outras áreas do país, abrangendo o Norte, Centro-Oeste, Sudeste, Sul e também a Região Semi-Árida do Nordeste. Essa expansão tem sido

impulsionada por meio de iniciativas tanto governamentais quanto privadas, que visam promover a cultivo do coqueiro-gigante.

Figura 21 – Coqueiro da espécie anão (a esquerda) e gigante (a direita).

Fonte: https://botanicaipe.com.br/tipos-de-coqueiros/

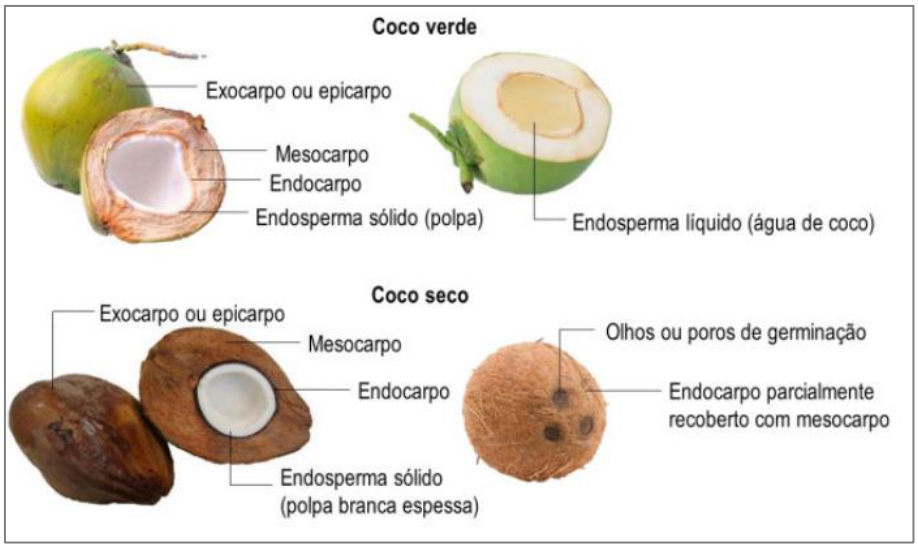
A capacidade de adaptação do coqueiro a diferentes condições de clima e solo, além de seu excelente desempenho no cultivo em consórcio com outras espécies, apresenta um grande potencial de exploração no cultivo de coco, especialmente para os pequenos produtores com áreas de cultivo limitadas (Araújo, 2021).

2.6.1 Morfologia vegetal do fruto

O fruto da Cocos nucifera, que é classificado como uma drupa fibrosa, apresenta distintas camadas. A superfície externa é caracterizada pela epiderme lisa, também conhecida como epicarpo ou exocarpo. Logo abaixo, encontramos o mesocarpo, uma camada fibrosa, seguida pelo endocarpo, que é a casca que envolve a polpa, conforme ilustrado na Figura 22 (Santana *et al.*, 2020).

O endosperma, que é a parte interna do fruto, possui diferentes texturas conforme o seu grau de maturação: no estágio inicial, quando o coco é verde, ele é gelatinoso e translúcido, enquanto no estágio de maturação completa (coco seco), torna-se espesso, rígido e adquire uma coloração branca. A água de coco, que é o endosperma na forma líquida, é armazenada no interior do fruto e passa por alterações à medida que o coco amadurece (Santana *et al.*, 2020).

Figura 22 – Morfologia do fruto do coco.



Fonte: Santana *et al.*, 2020.

2.6.2 Aplicação das fibras de coco na fabricação de biomantas

A composição das fibras de coco é uma combinação de diversos componentes, incluindo celulose, hemicelulose, lignina, pectina e minerais. A lignina desempenha um papel crucial na formação da parede celular e tem uma influência significativa na estrutura e flexibilidade das fibras, afetando positivamente sua qualidade. No mesocarpo, a parte central de interesse, encontramos uma matriz contínua de lignina fortalecida por fibras à base de celulose. É a partir desta região do fruto verde que as fibras de coco podem ser extraídas, o que torna seu processo de obtenção economicamente vantajoso (Araújo, 2021). Segue abaixo uma imagem das fibras retirada do mesocarpo.

Figura 23 – Fibras de coco verde.

Fonte: Araújo, 2021.

As fibras de coco foram empregadas como material para a criação de uma manta de contenção. Tradicionalmente, as mantas de contenção costumam ser fabricadas a partir de poliéster e são colocadas sobre os taludes com o propósito de prevenir a corrosão, evitar deslizamentos e, em última instância, proporcionar estabilidade à encosta. No entanto, à medida que a vegetação auxiliar cresce, essas mantas não se degradam naturalmente no ambiente, permanecendo no solo sem cumprir sua função original, uma vez que a vegetação auxiliar passa a ser responsável por conter a erosão nos taludes (Barbosa *et al.*, 2016).

Conforme Barbosa *et al.* (2016), o uso de fibra de coco na produção de mantas destinadas à proteção de encostas, recuperação de áreas degradadas pela mineração e prevenção da erosão do solo representa uma notável inovação no mercado. Existem diversas vantagens associadas à sua utilização, incluindo a capacidade de programar sua degradação e a adição de materiais orgânicos e nutrientes ao solo.

2.6.3 Problemática dos resíduos associados ao coco

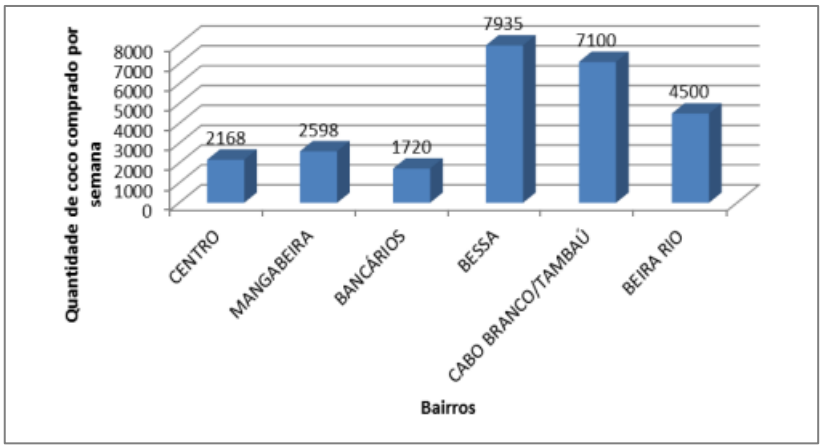
Em áreas litorâneas e destinos turísticos do Brasil, é comum encontrar grandes quantidades de cocos verdes sendo descartados diariamente, tanto por vendedores informais quanto por empresas envolvidas na comercialização da sua polpa ou da água deste fruto (Andrade *et al.*, 2004). Esse cenário tem gerado um aumento considerável na demanda por serviços municipais de coleta, transporte e disposição de resíduos sólidos, uma vez que, aproximadamente 80% a 85% do peso bruto do coco verde é composto por resíduos, ou seja, pelas cascas (Rosa *et al.*, 2001).

Além disso, Rosa et al. (2001) cita que o descarte desses resíduos sólidos implica em custos adicionais, uma vez que as indústrias envolvidas no processamento são classificadas como "grandes geradoras de resíduos", o que as obriga a assumir a responsabilidade pela coleta dos materiais residuais.

Conforme Carrijo *et al.* (2002), é relevante destacar que o coco é um material de lenta decomposição, requerendo mais de oito anos para se desintegrar por completo. Dessa forma, a reutilização da casca do coco verde não apenas apresenta importância econômica e social, mas também desempenha um papel significativo no contexto ambiental.

Da mesma forma que ocorre no Brasil em geral, a cidade de João Pessoa também apresenta um consumo significativo de água de coco. Nesse contexto, em um estudo realizado por Santos *et al.* (2016), foi conduzida uma pesquisa que se propôs a realizar uma análise comparativa sobre a origem e a demanda de coco verde em diversos bairros da cidade de João Pessoa. O principal objetivo desse estudo foi quantificar a quantidade de resíduos gerados por semana, como ilustrado na Figura 24. Os bairros abrangidos por essa análise incluem Bancários, Centro, Mangabeira, Cabo Branco, Tambaú e Bessa, além da Avenida Beira Rio.

Figura 24 – Compra de coco verde por semana em alguns bairros da capital João Pessoa.



Fonte: Santos et al. (2016).

Os bairros Bessa, Cabo Branco e Tambaú lideram o consumo semanal de coco verde em João Pessoa, impulsionados pela presença de quiosques e vendedores na orla, atendendo à necessidade de hidratação dos transeuntes e banhistas devido ao clima quente. A Avenida Beira Rio também registrou alto consumo devido ao tráfego e pontos de venda. Os bairros da Zona Sul, Bancários, Mangabeira e o Centro também demonstraram um consumo significativo de coco verde. (Santos *et al.*, 2016).

De acordo com Santos *et al.* (2016), o coco verde, em média, pesa 1,5 kg após a extração do líquido. Com base nos dados coletados, verificou-se que a cidade de João Pessoa descarta cerca de 4000 cocos diariamente. Portanto, há um potencial de aproximadamente seis toneladas de resíduos diários que podem ser reciclados.

Com base no exposto, o objetivo deste estudo é explorar uma das possíveis aplicações para esses resíduos, que é a produção de biomantas caseiras feitas de fibras de coco, e avaliar seu potencial na mitigação dos efeitos erosivos em taludes na região da Grande João Pessoa.

3. PROCEDIMENTOS

3.1 Confecção da biomanta

3.1.1 Coleta dos cocos

Para a obtenção da matéria-prima necessária, foram realizadas análises dos locais disponíveis para a aquisição de cocos. Nesse processo de pesquisa, identificou-se um quiosque (Figura 25) estrategicamente situado no bairro Jaguaribe, onde se constatou uma alta demanda pelo consumo de cocos. Essa observação proporcionou a oportunidade de adquirir um total de 35 cocos, todos em perfeito estado.

Figura 25 – Quiosque no qual foi coletado os cocos.

Fonte: Google maps (2022).

3.1.2 Processo de retirada das fibras

Após a obtenção dos cocos, procedeu-se à etapa de preparação, que consistiu na remoção de todas as impurezas por meio de uma limpeza com água e sabão. Em seguida, utilizou-se um facão para abrir os cocos, permitindo o acesso à sua polpa (Figura 26). A partir desse ponto, todos os cocos foram mantidos juntos, para dar continuidade a próxima etapa.

Figura 26 – Abertura realizada nos cocos.

Fonte: Arquivo pessoal (2023).

A etapa seguinte envolveu a remoção das fibras do coco, conhecidas como mesocarpo. Para realizar essa operação, empregou-se um método que consiste em bater na parte verde do coco, chamada epicarpo, utilizando uma marreta (Figura 27). Esse processo faz com que as fibras se soltem do epicarpo, facilitando a sua separação.

Figura 27 – Procedimento de extração das fibras de coco.

Fonte: Arquivo pessoal (2023).

Em seguida, procedeu-se à separação das fibras de forma manual, com a retirada cuidadosa do mesocarpo e do endocarpo, conforme a Figura 28.

Figura 28 – extração das fibras de coco.

Fonte: Arquivo pessoal (2023).

Posteriormente, as fibras foram submersas em baldes contendo água, permanecendo imersas por um período de dois dias (Figura 29). Isso foi essencial para eliminar substâncias tóxicas (tanino) e para eliminar fungos e bactérias, garantindo a qualidade das fibras.

Figura 29 – Fibras imersas em baldes contendo água.

Fonte: Arquivo pessoal (2023).

Por último, após o período de dois dias, as fibras foram deslocadas para uma lona transparente e expostas ao sol para o processo de secagem, como demonstrado na Figura 30. Após 48 horas de exposição ao sol, as fibras estavam completamente secas e prontas para serem utilizadas.

Figura 30 – Processo de secagem das fibras.

Fonte: Arquivo pessoal (2023).

3.1.3 Preparo da resina ligante biodegradável

O papel do ligante é de extrema importância, pois ele desempenha a função de unir as fibras para criar a biomanta. Nesse contexto, o estudo conduzido por Barbosa (2016) possibilitou a análise de três tipos de matrizes ligantes: gelatina, goma xantana e cola branca escolar à base de PVA, em diferentes proporções combinadas com água.

De acordo com as conclusões de Barbosa (2016), tanto as amostras produzidas com gelatina quanto as produzidas com goma xantana foram consideradas impróprias para aplicação. A gelatina propiciou o desenvolvimento de colônias de fungos na biomanta, devido à sua alta concentração de carboidratos. Por outro lado, a goma xantana não conseguiu manter a integridade da união das fibras após o processo de secagem. Assim, a solução contendo cola branca escolar à base de PVA apresentou os resultados mais promissores.

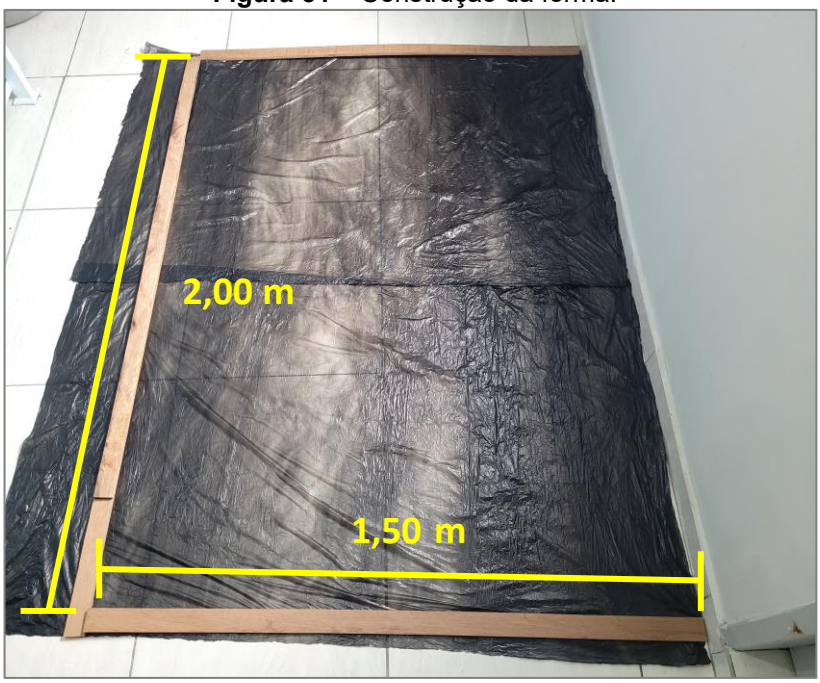
Nesse sentido, optou-se pela utilização da cola branca escolar à base de PVA como matriz ligante, empregando a proporção de 1 de cola para 2 de água. Essa mistura foi preparada e colocada em um borrifador para facilitar sua aplicação.

3.1.4 Desenvolvimento de um molde para a fabricação da manta

A fim de produzir a manta, foi essencial criar um molde para acomodar tanto as fibras quanto a solução ligante. Assim, o molde foi cuidadosamente preparado com dimensões adequadas para viabilizar o estudo. Nesse contexto, optou-se por uma manta retangular, cujas dimensões foram estabelecidas em 1,50x2,00 metros, resultando em uma área total de 3,00 m².

O molde foi confeccionado utilizando ripas de madeira para assegurar suas dimensões, além de ter uma base revestida com uma lona de plástico, conforme Figura 31. Essa cobertura de plástico na base do molde foi implementada com o objetivo de evitar que a manta aderisse ao piso durante o processo de aplicação da solução ligante.

Figura 31 – Construção da fôrma.



Fonte: Arquivo pessoal (2023).

3.1.5 Confecção da biomanta

Com as fibras completamente secas e o molde preparado, a próxima etapa consistiu na fabricação da manta. Nesse processo, as fibras foram cuidadosamente distribuídas de forma uniforme por toda a extensão do molde (Figura 32). Posteriormente, a solução ligante foi aplicada ao longo de toda a superfície da manta.

Para assegurar uma espessura regular da manta, utilizaram-se peças de cerâmica de piso que cobriram toda a superfície. Essas peças foram mantidas sobre a manta por um período de 2 horas, a fim de evitar que esta aderisse à cerâmica.

O processo de aplicação da solução ligante foi executado em duas camadas distintas. Na primeira demão, empregou-se uma quantidade de 500 ml da solução, e na segunda demão, repetiu-se a utilização de 500 ml. Isso resultou em um total de 1 litro de ligante utilizado no processo. Consequentemente, podemos calcular que a quantidade de cola branca PVA utilizada foi aproximadamente de 333,3 ml, em combinação com 666,7 ml de água para compor a solução ligante.

Figura 32 – Distribuição das fibras no molde.

Fonte: Arquivo pessoal (2023).

Após um período de secagem de dois dias, a manta estava pronta para ser removida do molde. Nesse processo, a manta foi retirada com extremo cuidado da lona de plástico e enrolada em formato de bobina, conforme ilustrado na Figura 33. Essa etapa de enrolamento facilitou o transporte da manta, tornando-a mais conveniente para manuseio e armazenamento.

Figura 33 – Biomanta de fibra de coco enrolada em formato de bobina.

Fonte: Arquivo pessoal (2023).

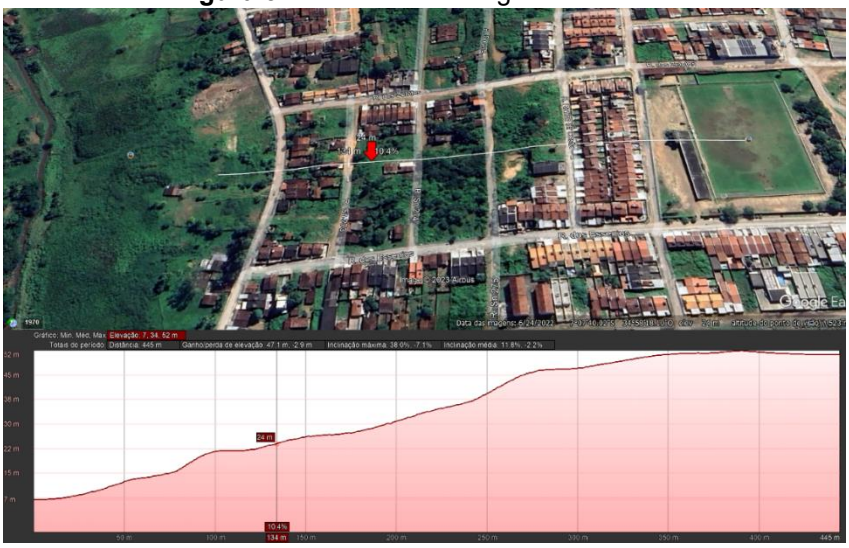
É possível observar na imagem acima a uniformidade das fibras na manta. Além disso, é evidente que a quantidade da solução ligante foi adequada para garantir a união das fibras e a formação da manta. Por fim, a espessura da manta se mostrou ideal para o propósito a que se destinava.

3.2 Caracterização da área de estudo

A área de estudo em questão está situada no município de Santa Rita, mais precisamente no bairro conhecido como Tibirí Fábrica. Este município abrange uma extensão total de cerca de 762,32 km² e está situado a uma distância de 11 km da capital, João Pessoa. Para acessá-lo, é possível utilizar a rodovia BR-230.

A região está localizada às margens de um rio e, como resultado, apresenta uma declividade natural, como ilustrado na Figura 34. Nos últimos anos, a região experimentou um aumento significativo no número de moradores devido à construção de várias residências, transformando-a de uma área rural em uma região mais moderna.

Figura 34 – Detalhes da região em estudo.



Fonte: Google maps (2023).

Este local foi selecionado devido à sua localização estratégica, uma vez que o talude se encontra resguardado em uma área protegida. Isso assegura que não haja interferência externa, e adicionalmente, é um espaço que proporciona um controle eficiente do processo de rega diária.

3.3 Implantação da biomanta

Para realizar as técnicas de bioengenharia, optou-se por escolher uma seção de um talude com declive natural que fosse adequada às dimensões da biomanta, ou seja, 1,50x2,00 metros. Esse declive em particular apresenta uma inclinação suave de 2,5:1 (H:V), sendo 22º de inclinação (Figura 35).

Figura 35 – Talude para a fixação da biomanta.

Fonte: Arquivo pessoal (2023).

Para a fixação da biomanta de fibra de coco, foram seguidas as orientações fornecidas no "Guia de Instalação de Biomantas Antierosivas, Retentores de Sedimentos e Hidrossemeio" da empresa Deflor Bioengenharia como um guia de referência.

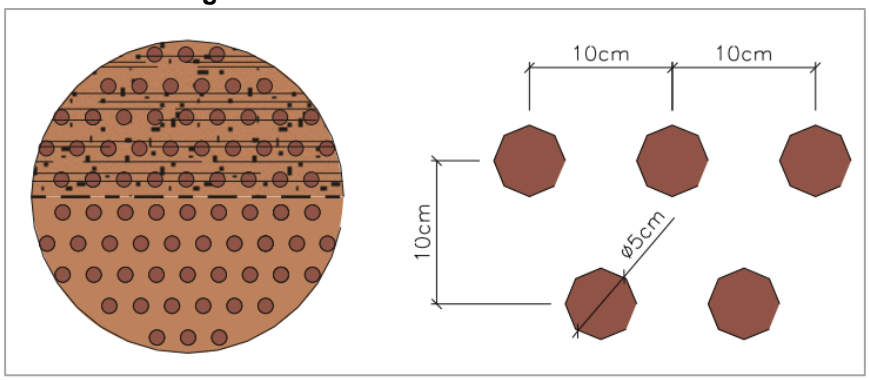
3.3.1 Acerto e regularização do terreno

Inicialmente, realizou-se o ajuste e nivelamento do talude, visando assegurar uma perfeita aderência da biomanta à superfície. Essa regularização foi efetuada de maneira manual, com o auxílio de uma enxada, com o intuito de eliminar sulcos erosivos, preencher espaços vazios e fixar os sedimentos soltos. Adicionalmente, foram minimizadas as irregularidades do terreno e as inclinações negativas dos taludes, a fim de prevenir a formação de novos focos erosivos, desmoronamentos e deslizamentos.

3.3.2 Micro-coveamento do solo

Após a regularização da superfície do talude, deu-se início ao processo de preparo do solo. Esse procedimento envolve a prática do micro-coveamento, que consiste na criação de pequenas covas em proximidade umas das outras, com a profundidade necessária para garantir a retenção adequada de todos os insumos a serem aplicados, tais como fertilizantes e sementes. De acordo com as orientações presentes no guia da Deflor, as covas devem ter um diâmetro de 5 cm e uma profundidade de 5 cm. Além disso, é importante manter um espaçamento de 10 cm entre as covas, conforme exemplificado na Figura 36.

Figura 36 – Detalhe do micro-coveamento.



Fonte: Deflor Bioengenharia (2007).

Para efetuar o micro-coveamento, optou-se por utilizar um tubo de PVC com um diâmetro de 50 cm como uma ferramenta de referência para marcar as covas no solo, assegurando que os espaçamentos adequados fossem mantidos, conforme representado na Figura 37. Com o intuito de simplificar esse processo de marcação, procedeu-se à umidificação do talude com água. Ademais, dado que o talude apresenta uma inclinação suave, foi decidido manter uma profundidade de 2 cm nas covas.

Figura 37 – Espaçamento entre as covas.

Fonte: Arquivo pessoal (2023).

Figura 38 – Detalhamento das micro-covas no talude.

Fonte: Arquivo pessoal (2023).

3.3.3 Preparo dos insumos e semeio

Após concluir o processo de micro-coveamento, procedeu-se com a semeadura. Para isto, optou-se pela utilização da grama São Carlos (Axonopus compressus)

devido ao seu bom desempenho no controle de erosão em taludes. Além disto, para potencializar o crescimento das gramas, utilizou-se o fertilizante NPK 04-14-08, em conjunto com a terra vegetal.

A quantidade de sementes da grama São Carlos utilizadas para o plantio é de 886 gramas por 100 metros quadrados, o que corresponde a 8,86 gramas por metro quadrado (Figura 39). Com base nas dimensões do talude que recebeu a biomanta, considerando 1,50 metros de face por 1,50 metros de largura, foi possível estimar uma área de 2,25 metros quadrados, resultando em uma aplicação de 20 gramas de sementes da grama São Carlos.

Figura 39 – Sementes da grama São Carlos.

Fonte: Arquivo pessoal (2023).

No que diz respeito ao fertilizante com a composição NPK 04-14-08, conforme mencionado por Paniago (2020), a sigla NPK representa os principais macronutrientes essenciais para o desenvolvimento das plantas, que são o nitrogênio (N), o fósforo (P) e o potássio (K). Estes elementos desempenham um papel fundamental nas funções vitais das plantas. Quanto à numeração 04-14-08, ela indica que este adubo é especialmente rico em fósforo, tornando-o adequado para o cultivo de gramíneas, flores, folhagens, árvores frutíferas e hortaliças em fase de crescimento e formação.

Figura 40 – Adubo NPK 04-14-08.

Fonte: Arquivo pessoal (2023).

Conforme orientações do guia da Deflor, a recomendação ideal para a aplicação de fertilizante é de aproximadamente 50 a 70 gramas por metro quadrado. Portanto, seguindo a recomendação de 60 gramas por metro quadrado, foram empregados 135 gramas do fertilizante NPK 04-14-08.

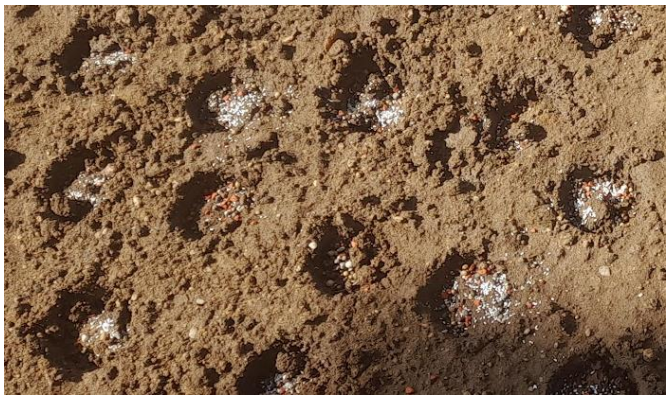
Portanto, após efetuar os cálculos para determinar a quantidade apropriada de sementes e fertilizante a serem aplicados no talude, procedeu à mistura das sementes com o fertilizante por meio de um recipiente, conforme demonstrado na Figura 41.

Figura 41 – Mistura das sementes com o fertilizante.

Fonte: Arquivo pessoal (2023).

Em razão da ausência do equipamento específico para a aplicação de hidrossemeadura, a distribuição dos insumos foi executada manualmente, preenchendo as covas preparadas durante a fase anterior, como pode ser observado na Figura 42.

Figura 42 – Aplicação da mistura das sementes com o fertilizante.



Fonte: Arquivo pessoal (2023).

Posteriormente, procedeu-se o fechamento das covas utilizando terra vegetal, empregando métodos manuais. Por último, realizou-se uma nova etapa de regularização do talude (Figura 43).

Figura 43 – Fechamento das covas e regularização do talude.

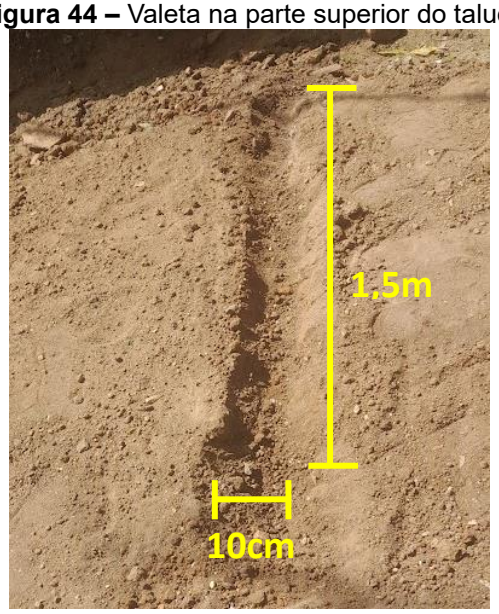
Fonte: Arquivo pessoal (2023).

3.3.4 Ancoragem superior da Biomanta

A etapa subsequente envolve a aplicação da biomanta, um processo que se inicia com a ancoragem na parte superior do talude. Conforme as diretrizes fornecidas no manual de instalação da Deflor Engenharia, deve-se escavar uma vala com as

dimensões de 10 cm de largura por 10 cm de profundidade ao longo do comprimento do talude (Figura 44).

Figura 44 – Valeta na parte superior do talude.



Fonte: Arquivo pessoal (2023).

Após a escavação da valeta, procedeu-se ao desenrolamento da biomanta a partir do topo do talude, seguindo a inclinação natural do terreno. A biomanta foi adequadamente fixada e moldada sobre a valeta escavada, garantindo um excedente de 20 centímetros além da sua borda (Figura 45).

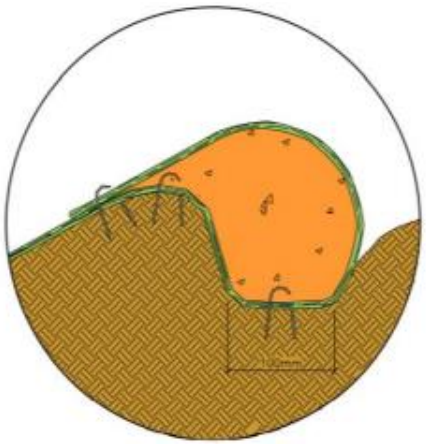
Figura 45 – Detalhe da biomanta na valeta.

Fonte: Arquivo pessoal (2023).

Em seguida, procedeu-se com o grampeamento da biomanta no fundo da valeta utilizando grampos de ferro de 10 centímetros, dispostos a cada 50 centímetros. Após

o grampeamento, o solo previamente escavado foi reintegrado à valeta, sendo compactado manualmente. E, por fim, foi realizado o envelopamento. Na Figura 46 abaixo, tem-se um esquema da ancoragem superior da biomanta.

Figura 46 – Esquema da ancoragem superior da biomanta.



Fonte: Deflor Engenharia (2007).

A fixação no topo do talude é de grande importância, pois tem a função de evitar que ocorra o deslocamento de sedimentos da parte superior do talude por baixo da manta, além de garantir o transporte dos insumos que foram aplicados nas covas.

3.3.5 Fixação da biomanta

Assegurar uma fixação adequada das biomantas é crucial para o êxito da operação. Essa fixação pode ser efetuada utilizando grampos de variados materiais, como aço, madeira, bambu ou polivinil, disponíveis em uma variedade de tamanhos e formatos (Figura 47). A aplicação deve ser realizada de acordo com as instruções detalhadas no projeto, levando em consideração as especificidades do local a ser protegido.

Figura 47 – Tipos e características dos grampos para fixação das biomantas.

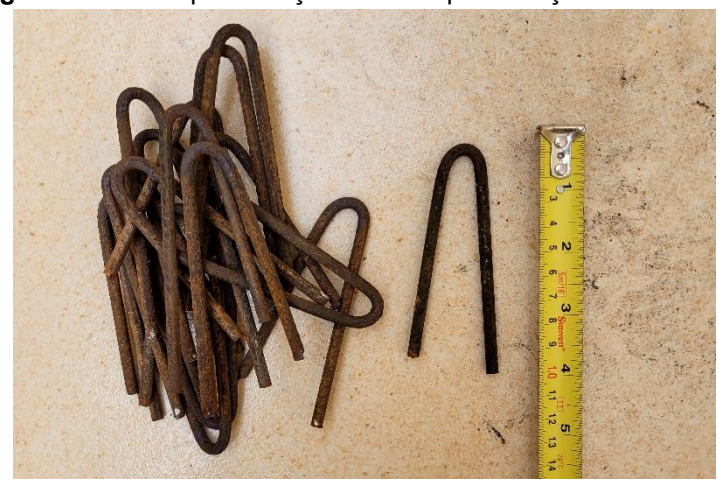
Grampos	Tipo	Comprimento dos Grampos (cm) e Uso em Taludes (corte / aterro)					
		7,5	10,0	12,0	15,0	20,0	30,0
Aço		Corte	Corte	Corte	Aterro	Aterro	Aterro
Bambu		-	-	Corte	Corte	Aterro	Aterro
Madeira		-	-	-	Aterro	Aterro	Aterro

Fonte: Deflor Engenharia (2007).

A qualidade da fixação da biomanta ao solo é fundamental para a segurança do projeto. A fixação inadequada pode dificultar o crescimento da vegetação e causar

erosão devido ao escoamento livre da água na superfície do talude. Baseado nisto, como o talude em estudo se trata de um talude natural com baixa declividade, escolheu-se grampos de aço de 10 cm, conforme a Figura 48.

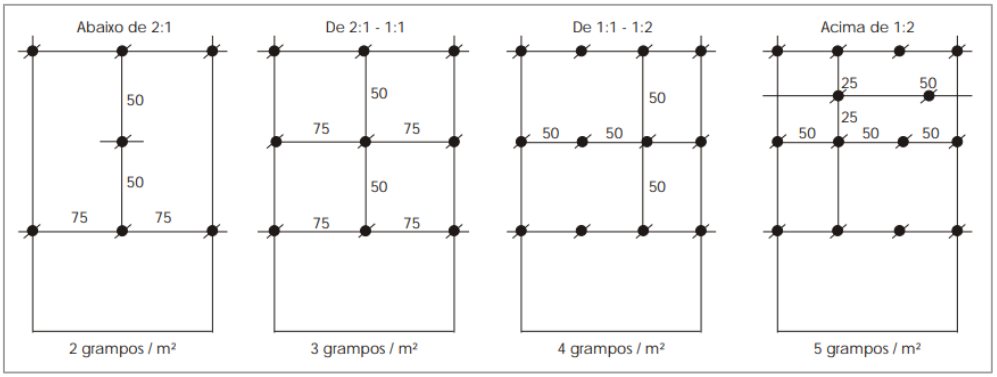
Figura 48 – Grampos de aço utilizados para fixação da biomanta.



Fonte: Arquivo pessoal (2023).

A quantidade de grampos a ser usada varia conforme a inclinação do talude, o risco de erosão, o tipo de material, a segurança necessária para a área e a regularização do terreno. No caso do talude estudado, que possui uma inclinação inferior a 2:1 (H:V), o manual de instalação da deflor recomenda a aplicação de 2 grampos por metro quadrado, conforme ilustrado na Figura 49.

Figura 49 – Quantidade de grampos necessário de acordo com inclinação do talude.



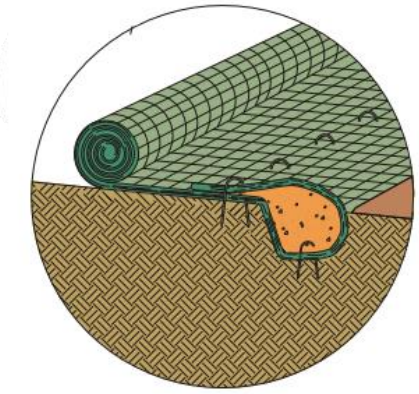
Fonte: Deflor Bioengenharia (2007).

Dessa forma, considerando que a área de superfície do talude totaliza 2,25 metros quadrados, seriam necessários apenas 5 grampos para a fixação adequada. No entanto, com o objetivo de assegurar uma boa fixação da biomanta, optou-se por utilizar 9 grampos, espaçados a cada 50 centímetros.

3.3.6 Ancoragem inferior da biomanta

Finalmente, para completar o processo de fixação da biomanta, foi executada a ancoragem na parte inferior, seguindo o mesmo padrão da ancoragem superior, porém com uma profundidade reduzida para evitar qualquer aceleração potencial da erosão na superfície do talude. O esquema de ancoragem inferior está ilustrado na Figura 50.

Figura 50 – Esquema da ancoragem inferior da biomanta.



Fonte: Deflor Bioengenharia (2007).

Após a execução de todos os procedimentos necessários, a biomanta foi instalada com sucesso no talude, conforme a Figura 51.

Figura 51 – Biomanta fixada na face do talude.

Fonte: Arquivo pessoal (2023).

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 Desempenho da grama São Carlos

A biomanta de fibra de coco foi implantada no talude em 5 de setembro de 2023. Para garantir as condições ideais para a germinação das sementes e o estabelecimento das plantas, um plano de irrigação foi implementado. Nos três primeiros dias após a instalação, a biomanta foi submetida a duas regas diárias: uma pela manhã e outra no final do dia. Após esse período inicial, a biomanta passou a ser regada uma vez ao dia, sempre às 16 horas. Cada rega consistiu no uso de 6 litros de água para garantir o suprimento hídrico necessário.

Uma semana após a instalação, em 12 de setembro de 2023, não foi apresentado nenhum indício de vegetação na biomanta. Os primeiros indícios de brotos da grama São Carlos vieram a ser vistos a partir da segunda semana (Figura 52), no dia 19 de setembro de 2023. No entanto, vale destacar que esses brotos não se desenvolveram de maneira uniforme em toda a biomanta, em vez disso, seu crescimento foi limitado a determinados locais, conforme ilustrado na Figura 53.

Figura 52 – Aparecimento dos primeiros brotos da grama São Carlos.

Fonte: Arquivo pessoal (2023).

Figura 53 – Desenvolvimento da vegetação sobre a biomanta 2 semanas depois.

Fonte: Arquivo pessoal (2023).

A falta de uniformidade no crescimento da grama pode ser atribuída a uma série de fatores. A primeira delas é a qualidade do solo, onde determinadas áreas podem não ser tão férteis como outras. A segunda causa reside na irrigação, que foi realizada de forma manual, levando a disparidades na quantidade de água fornecida a diferentes locais. Por fim, a semeadura também pode desempenhar um papel significativo, uma vez que o lançamento manual das sementes resultou em variações na densidade de plantio e na distribuição de fertilizantes, o que afetou o desenvolvimento das áreas de forma desigual.

Após a terceira semana de acompanhamento, em 26 de setembro de 2023, foi observado um pequeno progresso no crescimento da grama nos trechos onde os primeiros brotos haviam surgido (Figura 54). Além disto, notou-se que a grama estava crescendo apenas nos locais onde as covas foram feitas, o que indica que é necessário um período de tempo para que as gramas cresçam e se entrelacem.

Figura 54 – Desenvolvimento da vegetação sobre a biomanta 3 semanas depois.

Fonte: Arquivo pessoal (2023).

A razão pela qual a grama está crescendo somente nas áreas onde as covas foram feitas se deve ao fato de que o plantio foi realizado manualmente, em oposição ao uso de um equipamento especializado, como um tanque equipado com pás agitadoras. Ao empregar o tanque, torna-se viável assegurar que todas as regiões do talude recebam as sementes de maneira uniforme, sem se restringir apenas às covas.

Na quarta semana, em 03 de outubro de 2023, observou-se um notável aumento no crescimento da grama, com a maior parte da biomanta já preenchida por ela, conforme a Figura 55.

Figura 55 – Desenvolvimento da vegetação sobre a biomanta 4 semanas depois.

Fonte: Arquivo pessoal (2023).

Esse crescimento mais acelerado pode ser atribuído ao fato de a grama ter acesso direto ao sol. Antes de florescer, a grama estava coberta pela biomanta, que proporcionava sombreamento. Embora a grama São Carlos seja conhecida por sua resistência à sombra, seu crescimento é notadamente mais rápido quando exposta ao sol.

Finalmente, após o período de 5 semanas, em 10 de outubro de 2023, constatou-se que em certos pontos da biomanta, a grama já havia atingido o seu tamanho máximo. No entanto, em algumas áreas, a cobertura vegetal ainda estava ausente, como evidenciado na Figura 56.

Figura 56 – Desenvolvimento da vegetação sobre a biomanta 5 semanas depois.

Fonte: Arquivo pessoal (2023).

4.2 Desempenho da biomanta

No que se refere à biomanta, notou-se que, ao longo das 5 semanas, compreendidas entre 05 de setembro e 10 de outubro de 2023, a integridade do material permaneceu intacta. Isso significa que as fibras de coco se mantiveram firmes ao longo de todo o período.

Além disso, pôde-se observar que o uso do ligante com cola PVA se revelou uma solução eficaz, uma vez que as fibras se mantiveram firmemente aderidas durante o período de avaliação. É importante destacar que a cola PVA é solúvel em água, no entanto, mesmo quando submetida à exposição à chuva e à rega, não se dissolveu.

No mais, observou-se uma alteração na coloração da biomanta, resultando na perda de seu brilho, tornando-a opaca. Conforme destacado por Araújo (2021), esse fenômeno pode ser atribuído à sua biodegradação natural, influenciada pela exposição contínua a fatores externos, como a luz solar, variações de temperatura e, ainda, a interação com a água.

4.3 Custo de produção da biomanta

A análise do custo de produção da biomanta de fibra de coco é de suma importância para a avaliação da sua viabilidade econômica como uma solução de controle de erosão em taludes. Além disso, é fundamental comparar esses custos com os de outros materiais frequentemente empregados para a mesma finalidade.

Os componentes utilizados na produção da biomanta incluem fibra do coco e a cola branca PVA. Os custos associados a cada um desses materiais foram calculados levando em consideração as dimensões da biomanta utilizada no trabalho (1,50x2,0 metros), no qual possui uma área de 3,00m². Com base nos cálculos, chegou-se ao custo total para a produção da biomanta, sendo de 10,20 reais (Tabela 02).

Tabela 02 – Custos de materiais para a produção da biomanta.

Materiais	Unidade	Valor por unidade (R$)	Qtd	Custo Total
Coco	und	R$ 0,00	35	R$ 0,00
Cola Branca PVA	l	R$ 30,60	0,33	R$ 10,20
TOTAL				**R$ 10,20**

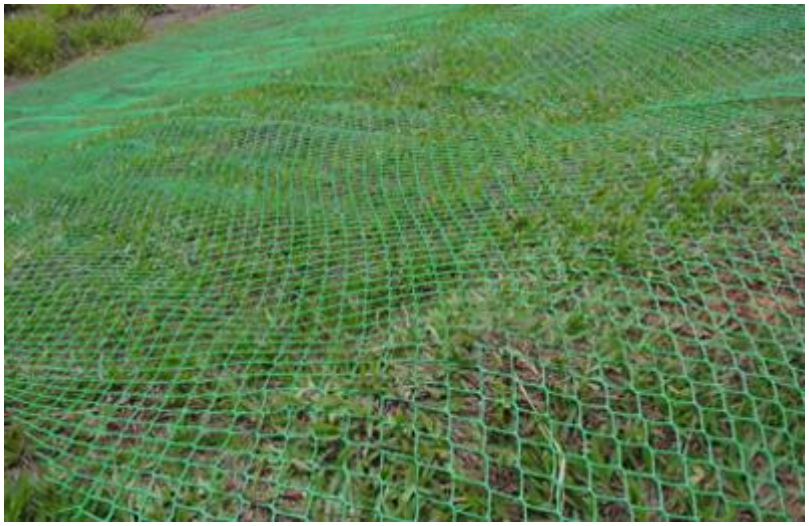
Fonte: Arquivo pessoal (2023).

As fibras de coco utilizadas foram obtidas a partir de cocos coletados em um quiosque, como já mencionado anteriormente. Portanto, não houve despesas associadas à obtenção dessas fibras. No que diz respeito à cola branca PVA, o preço de um litro pode variar dependendo da marca, sendo possível encontrar opções com valores inferiores.

Além disto, o orçamento apresentado abrange exclusivamente os custos dos materiais da biomanta destinados à área em questão. Portanto, os custos relativos ao transporte do coco, do armazenamento e da mão de obra não estão incluídos no cálculo. Uma vez que, são fatores que dependem de diversas variáveis.

Outro tipo de material empregada no controle da erosão é a tela “grama armada", sendo uma tela de plástico fabricada a partir de polietileno de alta densidade (PEAD). Quando combinada com espécies vegetais, essa tela forma um sistema de proteção eficaz para encostas, contribuindo para o controle da erosão (Figura 57). Ademais, o preço comercial do rolo da tela grama armada com dimensões de 1,00x50m custa 480,00 reais.

Figura 57 – Detalhe da tela grama armada.



Fonte: https://www.tegape.com.br/produto/tela-grama-armada/

Quando comparamos os custos associados à obtenção da biomanta de fibra de coco e da tela de polietileno, percebemos que o primeiro teve um custo de R$ 3,40 por metro quadrado, enquanto o segundo apresentou um custo de R$ 9,60 por metro quadrado no preço comercial. Isso evidencia que a utilização da biomanta se revelou uma escolha economicamente vantajosa e eficaz na contenção da erosão.

No mais, vale ressaltar a grande importância ambiental de reutilizar o coco verde como matéria-prima na fabricação de biomantas. Além disto, seu impacto social se torna evidente, uma vez que pode fomentar fontes de renda locais, estimulando a formação de possíveis associações dedicadas à coleta de coco e à confecção de mantas.

4.4 Desafios na utilização da biomanta

Neste estudo, utilizou-se a técnica da biomanta não apenas em um talude natural, mas também a aplicou-se em um talude de corte localizado na entrada para o centro do município de Santa Rita (Figura 58).

Figura 58 – Talude de corte localizado no município de Santa Rita.

Fonte: Arquivo pessoal (2023).

Assim, em 27 de agosto de 2023, procedeu-se à instalação da biomanta. Contudo, em apenas quatro dias, 50% da biomanta tinha sido danificado pela população que circula na área, conforme ilustrado na Figura 59.

Figura 59 – Biomanta antes e após ser danificada.

Fonte: Arquivo pessoal (2023).

Nesse sentido, a aplicação da técnica em taludes exposto a presença da população apresenta um desafio significativo devido à falta de conscientização da mesma, levando à remoção parcial da biomanta por mera curiosidade. Além disso, é necessário regar a grama diariamente até que floresça, o que constitui outro desafio, exigindo um compromisso diário com a rega.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa foi motivada pela busca de compreender a importância da bioengenharia de solos como alternativa para o controle de erosão em taludes, em contraposição às soluções convencionais amplamente adotadas.

Vale ressaltar que a bioengenharia de solos, como discutida ao longo deste trabalho, destaca-se devido à demanda reduzida por maquinário, utilização de recursos locais, compatibilidade ambiental, autorreparação natural das plantas e aplicação eficaz em locais de difícil acesso. Além disso, essas técnicas contribuem para a estabilidade geotécnica, diminuindo a umidade e pressões no solo, resultando em soluções econômicas e sustentáveis para o controle de erosão.

O presente trabalho também teve intenção de trazer uma conscientização ambiental na reutilização da casca de coco, tornando-se uma solução capaz de diminuir a quantidade de resíduos sólidos gerados nas cidades, principalmente nos centros urbanos, fazendo com que diminua a demanda por serviços municipais de coleta, transporte e disposição de resíduo.

Nesse contexto, como resultado dos desafios mencionados, o foco central do projeto consistiu em apresentar os passos envolvidos na produção artesanal de uma biomanta feita a partir de fibra de coco. O objetivo era avaliar o desempenho dessa biomanta quando aplicada em um talude natural, combinando-a com a técnica de semeadura da grama São Carlos.

Mediante a análise dos desempenhos da grama São Carlos e da biomanta, é possível concluir que a grama São Carlos demonstrou uma eficiência notável, com um crescimento rápido conforme o esperado. No que diz respeito à biomanta, também se mostrou altamente eficaz, mantendo-se firme ao longo de todo o período de análise. Ademais, observou-se que a biomanta se destaca economicamente em comparação com o custo de outros materiais, como a tela grama armada.

Portanto, a técnica da biomanta emerge como uma alternativa viável para aplicação em larga escala, especialmente quando associada à grama São Carlos. Contudo, é importante salientar que, em taludes expostos à presença da população, é crucial manter um monitoramento constante a fim de evitar danos à biomanta.

Por fim, este estudo propõe o estímulo ao uso da casca de coco como principal matéria-prima na produção de biomantas destinadas ao controle da erosão em taludes. Essa recomendação se justifica devido aos inúmeros benefícios que ela proporciona. Não somente contribui de maneira positiva para a preservação ambiental, protegendo encostas e reduzindo o desperdício de resíduos, mas também oferece vantagens nos âmbitos econômico e social, ao criar oportunidades de renda para pequenas comunidades e promover a formação de associações dedicadas à coleta de coco e à fabricação de biomantas.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

Por meio das pesquisas e do trabalho realizado, emergem sugestões de temas que podem ser explorados em pesquisas posteriores, sendo:

- Aprimoramento da biomanta de fibra de coco por meio de testes que explorem variações de tamanho, espessura das fibras e abertura de filtração;
- Desenvolvimento de uma biomanta utilizando diferentes tipos de fibra, como o sisal, e comparação de sua eficiência em relação à biomanta de fibra de coco;
- Implementação da biomanta em um talude íngreme para avaliar sua eficácia e o crescimento da grama;
- Criação de um dispositivo caseiro para a realização de hidrossemeadura e melhorias no insumo correspondente.

6. REFERÊNCIAS

ANTONELLI, Tiago. **Análise dos processos deflagradores de movimentos gravitacionais de massa com ênfase para a relação chuva x deslizamentos para o município de Baixo Guandu – ES, Brasil**. 2018. 88 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

AHRENDT, Adriana. **Movimentos de Massa Gravitacionais – Proposta de um Sistema de Previsão: Aplicação na Área de Campos do Jordão – SP**. 2005. 390 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geotecnia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

ARAUJO, Jônatas Santos de. **Confecção de uma biomantas caseira de fibras de coco e propostas de bioengenharia de solos em taludes próximos ao condomínio Alphaville em Bayeux/PB**. 2021. 66 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2021.

ANDRADE, Azarias Machado de; PASSOS, Paulo Roberto de Assis; MARQUES, Luiz Guilherme da Costa; OLIVEIRA, Luciano Basto; VIDAURRE, Graziela Baptista; ROCHA, José das Dores de Sá. **Pirólise de resíduos do coco-da-baía (Cocos nucifera Linn) e análise do carvão vegetal**. Revista Árvore, [S.L.], v. 28, n. 5, p. 707-714, out. 2004.

BARBOSA, Richard Antony. et al. **Produção de Manta de Contenção a Partir de Fibra de Coco Verde**. XX Encontro Latino Americano de Iniciação Científica, XVI Encontro Latino Americano de Pós-Graduação e VI Encontro de Iniciação à Docência – Universidade do Vale do Paraíba. 2016

BASSANELI, Hélio Rodrigues *et al*. **Estabilidade de taludes**. Jornada Científica, São Paulo, v. 1, p. 1-14, 20 out. 2016. Centro Universitário Salesiano de São Paulo.

BERMALONGA. **Deflor Bioengenharia**. Disponível em: https://deflor.com.br/bermalonga/. Acesso em: 18 set. 2023.

BEZERRA, José Fernando Rodrigues *et al*. **Aplicação de geotêxteis biodegradáveis na redução do escoamento superficial e controle da erosão superficial, Uberlândia/MG.** Revista Brasileira de Geomorfologia, Uberlândia, v. 12, n. 2, p. 1-12, 19 dez. 2011.

BIOMANTA ANTIEROSIVA. **Deflor Bioengenharia**. Disponível em: https://deflor.com.br/o-que-e-biomanta/. Acesso em: 18 set. 2023.

BENASSI, A.C., FANTON, C.J. & SANTANA, E.N. (2013). **O cultivo do coqueiro-anão-verde: tecnologias de produção**. Vitória, ES: Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural.

BRANCO, Pércio de Moraes. **O Intemperismo e a Erosão**. 2014. Serviço Geológico do Brasil - CPRM. Disponível em: https://www.sgb.gov.br/publique/SGB-Divulga/Canal-Escola/O-Intemperismo-e-a-Erosao-1313.html. Acesso em: 10 set. 2023.

BRSEEDS. **Grama São Carlos – Carpertgrass (Axonopus Affins CV Carpet)**. Araçatuba. São Paulo. 2011.

CEMADEN – Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (org.). **Movimento de Massa**. Disponível em: http://www2.cemaden.gov.br/deslizamentos/. Acesso em: 22 ago. 2023.

COUTO, Laércio. et al. **Técnicas de Bioengenharia para Revegetação de Taludes no Brasil. Centro Brasileiro para Conservação da Natureza e Desenvolvimento Sustentável**. Boletim Técnico CBCN N° 001. Viçosa. Minas Gerais. 2010.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **A Cultura do Coco**. Coleção Plantar. Série Vermelha – Fruteiras. Brasília. Distrito Federal. 2006.

FACURI, Gabriel Guimarães. **Movimentos de massa**. São Paulo: CPRM, 2020. 1 Ebook. SGBEduca.

FIORI, Alberto Pio. **Fundamentos de mecânica dos solos e das rochas**: aplicações na estabilidade de taludes. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 71 p.

GERSCOVICH, Denise M. S.. **Estabilidade de Taludes**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2016. 194 p.

GOMES, L. G. N.; HOLANDA, F. S. R.; ANJOS, I. R. dos; ROCHA, I. P. **Bioengenharia na estabilização de talude marginal e restauração ambiental da margem no baixo curso do Rio São Francisco**. In: Congresso de Ecologia do Brasil, 7, 2005, Caxambu. Anais... Caxambu: CEB, 2005.

GURGEL, R. G. A. Principais espécies e variedades de grama. In: SIMPÓSIO SOBRE GRAMADOS, 1., 2003, Botucatu. Anais... Botucatu: FCA/UNESP, 2003.

JESUS, Andrelisa Santos. **Investigação Multidisciplinar de processos erosivos Lineares: Estudo de caso da cidade de Anápolis – GO**. 340 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

Lima, E.B.C., Sousa, C.N.S., Meneses, L.N., Ximenes, N.C., Santos-Junior, M.A. & Vasconcelos, G.S. (2015). **Cocos nucifera Linn (Arecaceae): a phytochemical and pharmacological review**. Brazilian Journal of Medical and Biological Research, 00, 1–12.

MARIANI, Priscila Pacheco. **Produção e aplicação de biomantas para controle de erosão em taludes**. 2016. 87 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

MENDES JÚNIOR, Francisco Émerson Braga. **Utilização do capim vetiver como solução da bioengenharia para o controle da erosão de Mata Redonda**. 108 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2019.

MORETTO, R. L. **Análise dos efeitos da vegetação na proteção de taludes rodoviários e proposição de alternativas de revegetação na BR – 386**. 2012. 155 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

OLIVEIRA, Felipe Ferreira; ARAUJO, Rodrigo da Cruz de. Uso de investigação multidisciplinar para diagnóstico de processos erosivos lineares urbanos em uma voçoroca no bairro do Bequimão – São Luís - MA. **Geografia Ensino & Pesquisa**, [S.L.], v. 23, p. 38, 31 jan. 2020. Universidade Federal de Santa Maria.

PANIAGO, Bruno. NPK 10x10x10: Qual a Importância e Como Usar esse Fertilizante. Agrointeli. 2020.

PEIXOTO, Isabella. **Movimentos de Massa: tombamento de blocos, rastejos...** 2022. Igeológico. Disponível em: https://igeologico.com.br/processos-de-dinamica-superficial-movimentos-de-massa/. Acesso em: 22 ago. 2023.

PINESE JÚNIOR, José Fernando. **Monitoramento de erosão laminar em diferentes usos da terra, Uberlândia – MG**. Sociedade & Natureza, Uberlândia, v.20, n.2: p.157-175, 2008.

PINTO, Gabriela Martins. **Bioengenharia de solos na estabilidade de taludes: Comparação com uma solução tradicional**. 2009. 78 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

ROSA, Morsyleide de Freitas. et al. **Caracterização do Pó da Casca de Coco Verde Usado como Substrato Agrícola**. Comunicado Técnico. Embrapa Agroindústria Tropical. Fortaleza. Ceará. 2001.

SANTOS, Luana Maria dos. **Erosão em taludes de corte – métodos de proteção e estabilização**. 75 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.

SANTOS, Sharline Florentino de Melo. et al. **Levantamento de Dados da Geração de Resíduos de Coco Verde na Cidade de João Pessoa**. Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Ciências. Universidade Federal da Paraíba. Campina Grande. 2016.

SARAIVA, Bruno Chieregatti *et al*. **Índice de clorofila foliar em grama São Carlos, cultivada em diferentes substratos e adubos**. VII Sigra - Simpósio Sobre Gramados, Botucatu, v. 7, n. 1, p. 1-4, jun. 2015.

SANTANA, Isabelle; SILVA, Thayná Tales da; MULDER, Alessandra Pinheiro. **COQUEIRO (COCOS NUCIFERA L.) E PRODUTOS ALIMENTÍCIOS DERIVADOS**: uma revisão sobre aspectos de produção, tecnológicos e nutricionais. Tecnologia de Alimentos: Tópicos Físicos, Químicos e Biológicos - Volume 2, [S.L.], p. 80-101, 2020. Editora Científica Digital.