



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO - UFERSA
DEPARTAMENTO: CAMPUS CARAÚBAS
CURSO DE BACHARELADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

ACHILEY CRISTINA CÂNDIDO PEREIRA

**BIOENGENHARIA DOS SOLOS: TÉCNICAS PARA ESTABILIZAÇÃO DE
TALUDES**

CARAÚBAS – RN
2016

ACHILEY CRISTINA CÂNDIDO PEREIRA

**BIOENGENHARIA DOS SOLOS: TÉCNICAS PARA ESTABILIZAÇÃO DE
TALUDES**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado a Universidade Federal Rural
do Semi-Árido – UFERSA, campus
Caraúbas, para obtenção do título de
Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador (a): Prof.^a Ma. Desireé Alves De
Oliveira

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei n° 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei n° 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

P436b Pereira, Achiley Cristina Cândido.
BIOENGENHARIA DOS SOLOS: TÉCNICAS PARA
ESTABILIZAÇÃO DE TALUDES / Achiley Cristina
Cândido Pereira. - 2016.
47 f. : il.

Orientadora: Desireé Alves De Oliveira.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2016.

1. Bioengenharia de Solos. 2. Taludes. 3.
Instabilidade. 4. Segurança. 5. Preservação
Ambiental. I. Alves De Oliveira, Desireé,
orient. II. Título.

ACHILEY CRISTINA CÂNDIDO PEREIRA

**BIOENGENHARIA DOS SOLOS: TÉCNICAS PARA ESTABILIZAÇÃO DE
TALUDES**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado a Universidade Federal Rural
do Semi-Árido – UFERSA, campus
Caraúbas, para obtenção do título de
Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Aprovada em 07/11/16

BANCA EXAMINADORA

[REDACTED]

Profª. Ms. Desiree Alves de Oliveira - Presidente

[REDACTED]

Profª. D.Sc. Rejane Ramos Dantas- Membro

[REDACTED]

Prof. D.Sc. Manoel Dênis Costa Ferreira - Membro

Dedico este trabalho, primeiramente à Deus, por permitir que os meus objetivos fossem cumpridos. E principalmente aos meus pais, Adonias e Auriene, por acreditarem no meu sucesso e estarem sempre ao meu lado.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por se mostrar presente em todos os momentos da vida, e não permitir que eu desistisse de lutar pelos meus sonhos, me dando todos os dias coragem, saúde e sabedoria para conseguir atingir meus objetivos.

Aos meus pais, Adonias Pereira da Silva e Auriene Cândida Pereira da Silva, por serem o meu motivo de orgulho diário e exemplos de pessoas. Pelo apoio, pela confiança e toda a dedicação e investimento depositados em mim.

As minhas irmãs, Andryca Cândido Pereira e Alane Cândido Pereira, por serem um dos grandes motivos para seguir em frente e em meio a turbulências do dia a dia me proporcionarem momentos de alegria.

Ao meu namorado, Manoel Firmino da Silva Filho, por todo amor, pela ajuda, motivação, incentivos e conselhos durante a jornada de dedicação a este trabalho.

A toda a minha família, por estarem sempre ao meu lado e acreditarem no meu sucesso.

Aos amigos que a Ufersa me presenteou, por todos os momentos bons ou ruins que passamos juntos, por todos os dias de lutas, noites cansativas e principalmente pelo apoio e carinho.

A minha Orientadora, Prof.^a Ma. Desireé Alves De Oliveira, por aceitar participar deste projeto comigo, pela orientação, incentivo e sugestões que enriqueceram este trabalho.

A todos que contribuíram, direta ou indiretamente, para a execução e conclusão desse trabalho.

Embora intelectualmente útil, o termo sustentabilidade parece não empolgar e mobilizar as pessoas. Por isso começamos a falar sobre salvar a civilização em vez de desenvolvimento sustentável, porque é disso que realmente se trata. Assim, a discussão adquire um senso de urgência muito maior ao que está em jogo.

Lester Brown

RESUMO

A Bioengenharia de Solos promove a adoção de técnicas simples de estabilização de taludes, utilizando soluções práticas com recursos naturais, de forma segura e com baixo custo, preocupando-se com a redução do impacto ao meio ambiente e a segurança do projeto. Este trabalho faz um estudo acerca da instabilidade dos taludes apresentando as novas alternativas propostas pela bioengenharia, que são soluções em uso da engenharia moderna. O objetivo deste estudo é apresentar estas novas técnicas da Bioengenharia de Solos como alternativas adicionais, visando garantir uma melhor otimização dos recursos e do local de construção, considerando que os recursos encontrados no meio ambiente podem ser ótimos materiais de construção. Para melhor compreensão do assunto, foi desenvolvido um protótipo simulando problemas de erosão em dois taludes: um talude sem nenhuma medida de proteção, e no outro a adoção de uma técnica simples da bioengenharia. A partir dos experimentos realizados foi possível comprovar a eficiência das soluções naturais na situação de instabilidade dos maciços, garantindo a segurança e a preservação ambiental.

Palavras-Chave: Bioengenharia de Solos. Instabilidade. Taludes. Segurança. Preservação Ambiental.

ABSTRACT

The Bioengineering of Soils promotes the adoption of simple techniques of slope stabilization, using practical solutions with natural resources, securely and with low cost, worrying with the reduction of the impact on the environment and the safety of the project. This work is a study about the instability of the slope featuring the new alternatives proposed by bioengineering, which are solutions in use of modern engineering. The aim of this study is to present these new techniques of Bioengineering of Soils as additional alternatives, in order to ensure better optimization of resources and from the construction site, whereas the resources found in the environment can be great building materials. For better understanding of the subject, we developed a prototype simulating erosion problems in two slopes: a slope without any measure of protection, and on the other the adoption of a simple technique of bioengineering. From the experiments performed it was possible to prove the efficiency of natural solutions in the situation of instability of the massive, ensuring the safety and preservation of the environment.

Key words: Soil bioengineering. Instability. Slopes. Security. Environmental Preservation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Partes que Compõem um Talude.....	16
Figura 2 - Tipos de Talude.....	17
Figura 3 – Queda Rochosa.....	18
Figura 4 - Tombamento de Taludes	18
Figura 5 - Escorregamento Rotacional em Taludes	19
Figura 6 - Escorregamento Translacional em Taludes	19
Figura 7 - Extensão Lateral em Taludes.....	20
Figura 8 - Fluência em Taludes	20
Figura 9 - Espalhamento em Taludes.....	21
Figura 10 - Esforços Atuantes em um Talude	22
Figura 11 - Efeito da vegetação na estabilidade de talude, em função do fator de segurança.....	27
Figura 12 - Semeadura Manual	32
Figura 13 - Hidrossemeadura	32
Figura 14 - Mantas Orgânicas	33
Figura 15 - Aplicação da Biomanta.....	34
Figura 16 - Paliçada Viva	34
Figura 17 - Entrançado Vivo	35
Figura 18 - Faixas de Vegetação.....	36
Figura 19 - Muro de Suporte Vivo.....	36
Figura 20 - Grade Viva	37
Figura 21 - Terra Reforçada	38
Figura 22 - Gabiões Vivos	39
Figura 23 - Protótipo Simulando dois Taludes.....	41
Figura 24 - Da Esquerda para Direita têm-se Pedregulho, Fibra Natural e Folhas. .	43
Figura 25 - À Esquerda a Representação de um Talude Desprotegido, e à Direita um Talude com Proteção Natural.....	44
Figura 26 - Protótipo Após o Experimento.....	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Grau de Segurança Esperado – Vidas Humanas.....	23
Tabela 2 – Grau de Segurança Esperado – Perdas Materiais e Ambientais.....	23
Tabela 3 – Fatores de Segurança.....	24
Tabela 4 – Principais Geossintéticos e suas Principais Funções em Obras de Engenharia.....	30

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1 OBJETIVO GERAL	15
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
2. TALUDES E OS MOVIMENTOS DE MASSA	16
2.1 TALUDES	16
2.2 MOVIMENTOS DE MASSA	17
2.2.1 Descrições dos Principais Movimentos De Massa	17
3 ESTABILIDADE DE TALUDES	22
3.1 ANÁLISE DA ESTABILIDADE	22
3.1.1 Norma 11682:2006: Fator de Segurança	23
3.2 CAUSAS DA INSTABILIZAÇÃO DE TALUDES	25
3.3 IMPORTÂNCIA DA COBERTURA VEGETAL NA ESTABILIDADE DE TALUDES	26
3.3.1 Equação de Perdas de Solo	27
4 BIOENGENHARIA DE SOLOS	29
4.1 CONCEITO DE BIOENGENHARIA DE SOLOS	29
4.2 TIPOS DE MATERIAIS USADOS NA BIOENGENHARIA DE SOLOS	30
4.2.1 Materiais Vivos	30
4.2.2 Materiais Inertes	30
4.2.3 Geossintéticos	30
4.3 TÉCNICAS DE BIOENGENHARIA NA ESTABILIZAÇÃO DE TALUDE	31
4.3.1 Técnicas de Revestimento	31
4.3.2 Técnicas de Estabilização	34
4.3.3 Técnicas de Consolidação	36
4.4 DURABILIDADE DAS TÉCNICAS DA BIOENGENHARIA DE SOLOS	39
5 MATERIAIS E MÉTODOS	41
5.1 METODOLOGIA	41
5.2 MATERIAIS	42
5.2.1 Solo	42
5.2.2 Água	42
5.2.3 Pedregulhos	43

5.2.4 Cobertura Vegetal	43
5.3 MÉTODOS	43
5.3 RESULTADOS	44
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	46
REFERÊNCIAS.....	47

1. INTRODUÇÃO

Taludes são maciços de solo e/ou rocha inclinados, que podem ter origem natural, como as encostas, ou artificial, como os taludes de corte e taludes de aterro. Os taludes encontram-se sob a ação de diversos fatores desestabilizadores, além da ação da gravidade, que podem provocar ocorrências de movimentos de massa, ou seja, processos pelos quais as massas rochosas e/ou de solo movem-se encosta abaixo.

Os fatores desestabilizadores podem ser naturais ou antrópicos, e são responsáveis por diminuir a resistência ao cisalhamento do solo e/ou aumentar as solicitações impostas. Quando as tensões atuantes ultrapassam a resistência ao cisalhamento acontecem os movimentos de massa.

Preocupando-se com as consequências que os movimentos de massa podem trazer para a obra, o meio ambiente e o bem estar da sociedade, muitas técnicas foram estudadas ao longo dos anos, visando minimizar os problemas causados pela instabilidade dos maciços.

A Bioengenharia de Solos, também conhecida por engenharia natural, trata-se de técnicas para solucionar problemas de cursos de água, estabilização de encostas, restauração de áreas devastadas e processos de erosão. É considerado um método correto, de baixo custo e com diminuição considerada dos impactos ambientais, pois faz uso dos recursos naturais, geralmente encontrados próximos à obra, como instrumentos da Engenharia Civil.

A preocupação com este tema partiu da necessidade de práticas sustentáveis, ou seja, o crescimento econômico e avanço tecnológico aliados à preservação do meio ambiente no setor da construção civil.

O segundo capítulo ocupa-se das definições de talude e de movimento de massa, bem como a descrição dos principais tipos de movimento de massa, comumente estudados. O terceiro capítulo, trata-se especificamente da análise da estabilidade dos taludes e da importância do coeficiente de segurança. Descrevendo, também, as causas da instabilidade dos maciços, e como a cobertura vegetal atua de forma positiva na estabilidade de taludes.

No quarto capítulo, são apresentados o conceito de Bioengenharia de Solos, os tipos de materiais comumente utilizados na execução das técnicas, as várias medidas que podem ser adotadas para a estabilização dos taludes e informações

sobre a durabilidade, cuidado e manutenção necessários após a implementação das técnicas.

O quinto capítulo traz um modelo desenvolvido para este estudo. Trata-se de um protótipo simulando dois taludes, em um, o solo encontra-se totalmente desprotegido, e no outro, o solo recebe uma cobertura natural, ambos sofrendo a ação da água e da gravidade. O objetivo do protótipo é verificar a viabilidade da Bioengenharia de Solos e comprovar a sua eficiência numa situação de instabilidade dos taludes, aumentando a sua resistência e minimizando a possibilidade de rompimento do maciço.

1.1 OBJETIVO GERAL

Apresentar a Bioengenharia de Solos como uma alternativa viável para a estabilização de taludes, fornecendo várias técnicas passíveis de serem utilizadas, podendo ser combinadas com a engenharia tradicional.

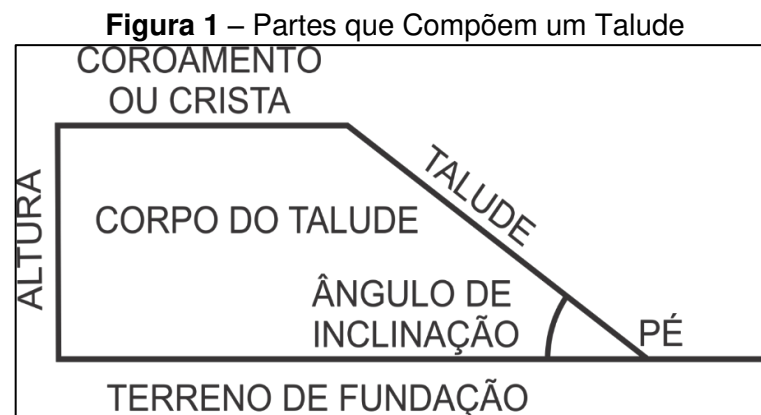
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar um levantamento sobre diferentes técnicas proposta pela bioengenharia de solos no combate ao escorregamento de taludes;
- Analisar a eficácia da teoria defendida pela Bioengenharia de Solos através da construção de um protótipo simulador de erosão.

2. TALUDES E OS MOVIMENTOS DE MASSA

2.1 TALUDES

Talude é a forma de caracterizar a inclinação de um terreno. Podemos dividir um talude em 3 partes principais: crista, talude e pé. A Figura 1 representa os componentes de um talude.



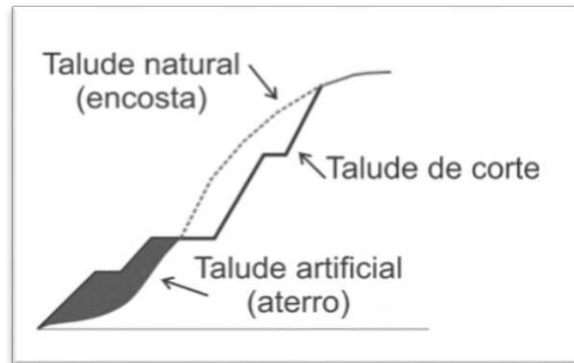
Fonte: O Autor

Os taludes podem ser naturais, caso das encostas, ou artificiais, como os taludes de cortes e aterros. Os taludes naturais foram originados há milhões de anos pela ação de diversos agentes naturais e são encontrados principalmente em montanhas. Os fatores naturais podem atuar isolados ou em conjunto durante o processo de formação de um talude, e classificam-se em dois grupos: os geológicos e os ambientais. Os fatores geológicos são responsáveis pela constituição química, organização e modelagem do relevo terrestre. No caso dos fatores ambientais, não devem ser analisados separadamente dos fatores geológicos, tem como principal agente a erosão, influenciada pelo clima, topografia e vegetação (PASSOS, 2010).

Taludes artificiais são aqueles construídos pelo homem, geralmente para atender alguma necessidade, onde as ações humanas alteram as paisagens originais, interferindo sobre os fatores ambientais, como por exemplo, alterações na topografia, modificações na vegetação e em alguns casos provocando variações climáticas. Podem ser de dois tipos, aterro e corte, sendo talude de aterro aquele em que há preparação do terreno para obter uma forma desejada através da deposição de terra e se necessário deve ser acompanhado de serviços de compactação, e os taludes de

corte são formados a partir de um processo de retirada de material até atingir a inclinação desejada (PASSOS, 2010). A Figura 2 ilustra os três tipos de talude.

Figura 2 - Tipos de Talude



Fonte: Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT)

2.2 MOVIMENTOS DE MASSA

Movimentos de massa é o termo geológico utilizado para descrever a ação de desprendimento e transporte do solo e/ou fragmentos de rochas nas superfícies inclinadas, denominadas de taludes.

As ocorrências dos movimentos de massa estão relacionadas tanto a fatores endógenos, agentes internos de transformação do relevo, por exemplo: tectonismo, vulcanismo, terremoto; quanto a exógenos, elementos naturais que alteram as formas superficiais a partir de processos externos, por exemplo, intemperismo, erosão, podendo destacar principalmente a ação da gravidade (NOWATZKI, 2016).

Nos movimentos de massa ocorre um movimento coletivo do solo e/ou rocha, onde a gravidade/declividade possui um papel significativo. A água pode tornar ainda mais catastrófico, mas não é necessariamente o principal agente desse processo (Cunha e Guerra, 2008)

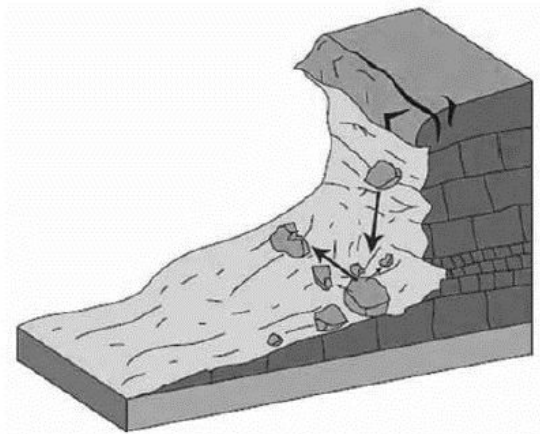
2.2.1 Descrições dos Principais Movimentos De Massa

Existem muitos tipos de movimentos de massa que são classificados dependendo de vários fatores, como por exemplo o tipo de material envolvido, a velocidade com que ocorre o movimento e dos parâmetros ambientais locais. Silva (2012) descreveu os principais movimentos de massa, baseado nos estudos feitos por

Varnes e Cruden (1996) e classificou as rupturas em taludes nas categorias principais descritas a seguir:

- Queda (Fall): São caracterizados por movimentos muito rápidos que sofrem ação da gravidade, resultando nas quedas de blocos de rochas, detritos ou solo, situados em superfícies íngremes. A Figura 3 ilustra o movimento de queda rochosa.

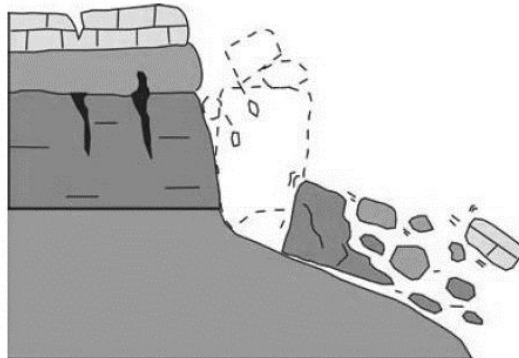
Figura 3 – Queda Rochosa



Fonte: Highland e Bobrowsky (2008)

- Tombamentos (Topple): É um tipo de ruptura que ocorre em maciços rochosos com camadas espaçadas, gerando assim existência de fendas no maciço, permitindo a infiltração de água, provocando pressões hidrostáticas no interior do maciço, que empurram os blocos de rocha para o exterior do maciço. A Figura 4 ilustra a situação de um tombamento de Taludes.

Figura 4 - Tombamento de Taludes

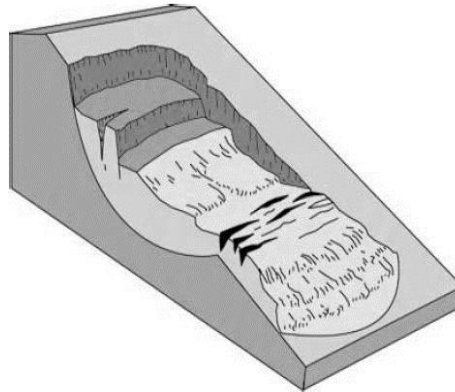


Fonte: Highland e Bobrowsky (2008)

- **Escorregamentos:** São movimentos rápidos, sob influência da gravidade. O escorregamento ocorre em planos inclinados quando as forças atuantes são superiores às forças resistentes, levando a um desequilíbrio de forças. Diferentes tipos de escorregamentos podem ser identificados, levando em consideração a natureza e a geometria do material que se torna instável. De acordo com a superfície que lhe dão origem, os escorregamentos podem ser rotacionais ou translacionais.

Escorregamento Rotacional são movimentos rotacionais (giratórios) que formam uma ruptura curva. A Figura 5, ilustra um escorregamento rotacional em taludes.

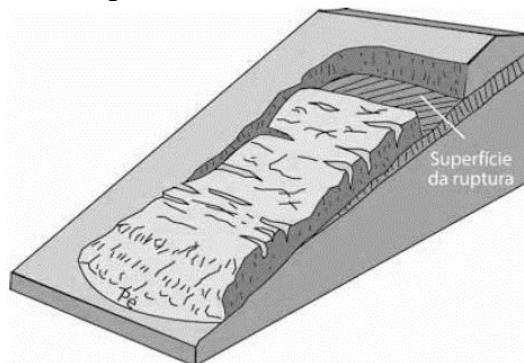
Figura 5 - Escorregamento Rotacional em Taludes



Fonte: Highland e Bobrowsky (2008)

O Escorregamento Translacional caracteriza-se por uma ruptura plana. Podem ser classificados de acordo com o material que sofre a ação, ou seja, de rocha, de solo, e de ambos os materiais. A Figura 6 representa o escorregamento translacional em taludes.

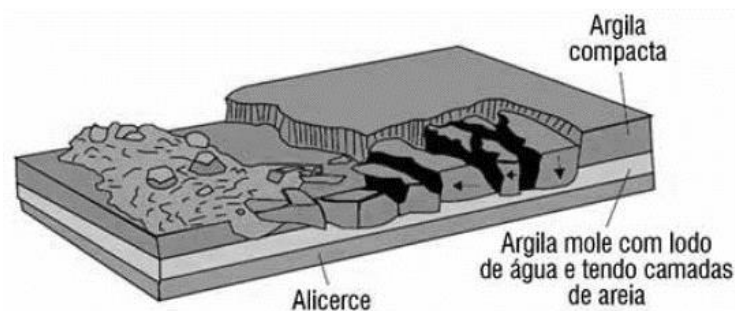
Figura 6 - Escorregamento Translacional em Taludes



Fonte: Highland e Bobrowsky (2008)

- Extensão Lateral: São movimentos muito lentos de blocos rochosos, que ocorrem devido a existência de material de alta plasticidade entre as discontinuidades existentes no maciço. A Figura 7 representa o fenômeno de extensão lateral em taludes.

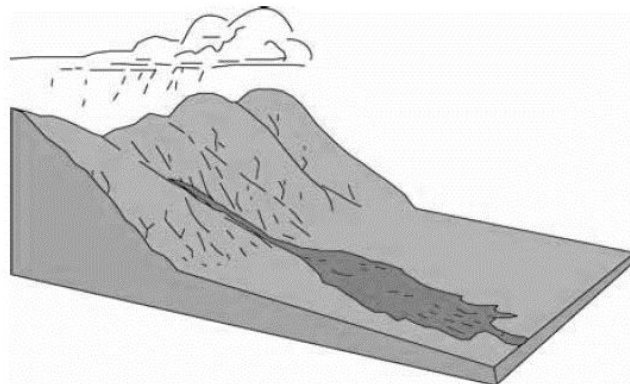
Figura 7 - Extensão Lateral em Taludes



Fonte: Highland e Bobrowsky (2008)

- Fluência: trata-se de um movimento muito rápido de massas de terreno constituídos por uma mistura de solos e fragmentos de rochas. A água é o fator determinante para o início do movimento sendo responsável pelo grau de saturação, pela perda da resistência e consequentemente pela fluidez do material, que tende a escorregar sob ação da gravidade. A Figura 8 demonstra a situação de fluência em taludes.

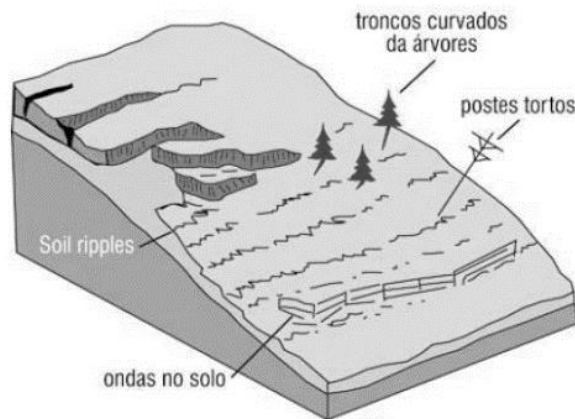
Figura 8 - Fluência em Taludes



Fonte: Highland e Bobrowsky (2008)

- Espalhamentos: podem ser laterais, em blocos ou por liquefação. Quando este tipo de movimento ocorre a massa se desloca por uma distância considerável. A Figura 9 ilustra o movimento de espalhamento em taludes.

Figura 9 - Espalhamento em Taludes



Fonte: Highland e Bobrowsky (2008)

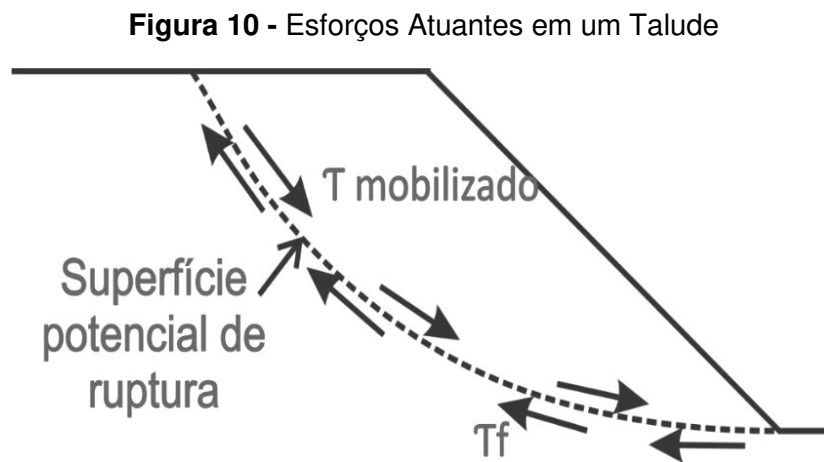
3 ESTABILIDADE DE TALUDES

3.1 ANÁLISE DA ESTABILIDADE

A análise de estabilidade em taludes tem por finalidade avaliar a necessidade de medidas estabilizadoras, sendo necessário quantificar os coeficientes de segurança contra o rompimento do talude. A ruptura é caracterizada pela formação de uma superfície de cisalhamento no corpo do talude. A zona cisalhada perde suas características durante a ruptura.

O objetivo da análise de estabilidade é avaliar a possibilidade de ocorrência de escorregamentos de massa e solo presente em talude natural ou construído. Em geral essas análises são realizadas pela comparação das tensões cisalhantes mobilizadas com a resistência ao cisalhamento. (Gerscovich, 2012, p. 85. Apud ROESNER, 2015)

A Figura 10 mostra a atuação dos esforços em um talude.



Fonte: O Autor

A linha tracejada da figura, também chamada de linha crítica, representa a superfície suscetível ao rompimento do talude e a sua posição varia de acordo com o coeficiente de segurança. Esse coeficiente, ou Fator de Segurança (FS), trata-se da relação entre as forças resistentes ao cisalhamento (τ_f) e as forças atuantes no maciço ($T_{\text{MOBILIZADO}}$), e é dado pela Equação 1:

$$FS = \frac{\tau f}{\tau_{\text{mobilizado}}} \quad (\text{Eq. 1})$$

Em situações críticas, o valor do coeficiente de segurança encontra-se em torno 1, e nesta condição o talude tende a romper. Fatores de segurança menores que 1 no maciço caracterizam o movimento de massa, em que o talude perde suas características iniciais e passa a ser massa escorregada, por isso não podem ser observados em taludes se este não apresentar movimento de massa. Para valores no intervalo de 1 a 1,5, o talude encontra-se em estabilidade incerta, os esforços atuantes ainda são inferiores às forças de resistência, porém quaisquer interferências do meio no sentido de reduzir o fator de segurança poderão levar à situação de instabilidade do talude. Geralmente, utiliza-se o valor de 1,5 para o coeficiente de segurança para o projeto de um talude estável.

3.1.1 Norma 11682:2006: Fator de Segurança

A NBR 11682:2006 é a norma brasileira que regulamenta a estabilidade de taludes. Esta norma preocupa-se com a diminuição dos efeitos da instabilidade em encostas em áreas específicas, objetivando definir intervenções nas etapas de elaboração do projeto, execução, acompanhamento e manutenção da obra. Tendo em vista que a área de estudo pode ser influenciada por fatores externos, devem ser analisadas tais condicionantes antes do estudo específico do local.

Os valores dos Fatores de Segurança atribuídos pela norma, possuem a finalidade de garantir a segurança na obra cobrindo incertezas naturais, podendo variar de acordo com o potencial de ruptura do talude. Os fatores apresentados são válidos para todos os tipos de carregamentos identificados pelo projetista.

Dependendo dos riscos envolvidos, deve-se enquadrar o projeto em umas das classificações do Grau de Segurança apresentadas a seguir. A Tabela 1 apresenta as classificações de Grau de Segurança, definidas a partir da possibilidade de perdas de vidas humanas.

Tabela 01 – Grau de segurança esperado – Vidas humanas

Grau de segurança	Critérios
Alto	- Áreas urbanas com intensa movimentação e permanência de pessoas, como edifícios públicos, residenciais, comerciais e industriais, escolas, hospitais, estádios, praças e demais locais, urbanos ou não, com possibilidade de elevada concentração de pessoas. - Ferrovias. Rodovias de tráfego intenso.
Médio	- Áreas e edificações com movimentação e permanência restrita de pessoas. - Rodovias de tráfego moderado.
Baixo	- Áreas e edificações com movimentação e permanência eventual de pessoas. - Rodovias de tráfego baixo.

Fonte: NBR 11682:2006

A Tabela 2 considera perdas materiais e ambientais para a classificação do Grau de Segurança.

Tabela 02 – Grau de segurança esperado – Perdas materiais e ambientais

Grau de segurança	Critérios
Alto	- <u>Propriedades</u>: Locais junto a propriedades de alto valor histórico, social ou aquisitivo, obras de grande porte e áreas que afetem serviços essenciais. - <u>Dano ambiental</u>: Locais sujeitos a acidentes com dano ambiental elevado, como junto a oleodutos, barragens de rejeito, fábricas de produtos tóxicos e outras.
Médio	- <u>Propriedades</u>: Locais junto a propriedades de valor médio. - <u>Dano Ambiental</u>: Locais sujeitos a acidentes com dano ambiental moderado.
Baixo	- <u>Propriedades</u>: Locais junto a propriedades de valor baixo. - <u>Dano ambiental</u>: Locais sujeitos a acidentes com dano ambiental baixo.

Fonte: NBR 11682:2006

O enquadramento dos casos das Tabelas 1 e 2 deverá ser justificado pelo projetista, em comum acordo com o proprietário da área afetada e atendendo as exigências dos órgãos públicos competentes. A Tabela 3 indica os fatores de segurança, referentes a análise de estabilidade interna e externa do solo.

Tabela 03 – Fatores de segurança

Grau de segurança Perdas de vidas Grau de segurança Perdas materiais e ambientais	Alto	Média	Baixo
Alto	1,5	1,4	1,3
Médio	1,4	1,3	1,2
Baixo	1,4	1,3	1,10

Fonte: NBR 11682:2006

3.2 CAUSAS DA INSTABILIZAÇÃO DE TALUDES

Os movimentos de massa dependem, principalmente, da resistência interna do talude ao escorregamento. Um talude é considerado instável a partir do momento que as solicitações externas aplicadas ao maciço tornam-se maiores do que a resistência interna do solo, causando assim os movimentos de massa. As causas dos escorregamentos estão relacionadas à redução do fator de segurança do talude para valores iguais ou menores que 1, por isso podem ser classificadas como fatores que reduzem à resistência ao cisalhamento do talude e/ou fatores que elevam as solicitações externas. As principais causas para a ocorrência de rupturas em taludes estão ligadas a fatores naturais ou causas humanas, e por vezes são agravadas por ambos os fatores. LIMA (1979), destaca as principais causas para a instabilidade de taludes, dentre elas temos:

- **Oscilações térmicas:** as variações de temperatura ocasionam mudanças de volume do material, provocando fissuramentos e deslocamentos das rochas.
- **Intemperismo:** a ação de intempéries provoca a gradual desagregação e transporte do solo, reduzindo os parâmetros de resistência do talude, levando-o a ruptura.
- **Alterações na geometria do talude:** o acréscimo de sobrecarga na porção superior ou remoção de parte de sua massa na parte inferior, pode reduzir as forças solicitantes, mas também a força de atrito resistente, levando a instabilidade do maciço.

- Vibrações: as vibrações são provocadas por terremotos, explosões, cravações de estacas, movimento de veículos, etc., essas ações contribuem para o aumento do nível de tensões e diminuição da resistência do talude.
- Aumento da poropressão: o aumento da poropressão pode ocasionar a ruptura, pois provoca a redução da tensão efetiva, ou seja reduz a resistência ao cisalhamento do terreno.
- Sobrecarga: pode ser gerada pelo peso da água da chuva e/ou vegetação, depósito de material natural, construções, etc., e resulta no aumento das tensões solicitantes no talude.
- Rebaixamento rápido do nível da água: fenômeno que ocorre em talude de solos finos, em que o rebaixamento do nível na água no interior do solo não acompanha a rápida velocidade de rebaixamento de água do exterior do solo. Esta diferença de velocidade implica em uma força de percolação atuante contra a resistência ao cisalhamento do solo, sendo desfavorável a segurança do talude.
- “Piping”: consiste em um fenômeno no qual a água percola pelo interior do maciço com elevada carga hidráulica, inicialmente carregando os grãos mais finos, ocasionando a abertura de um “tubo” (pipe) no interior do solo, com o passar do tempo os tubos aumentam de diâmetro e provocam a ruptura do talude.
- Redução da sucção: a redução da sucção, ou seja a redução da capacidade que o solo tem de reter água, gera uma redução na resistência, contribuindo para o processo de ruptura.
- Desmatamento: o desmatamento pode acarretar em um aumento da infiltração e da erosão do solo, elimina o efeito estabilizante das raízes, contribuindo para a ruptura do talude.

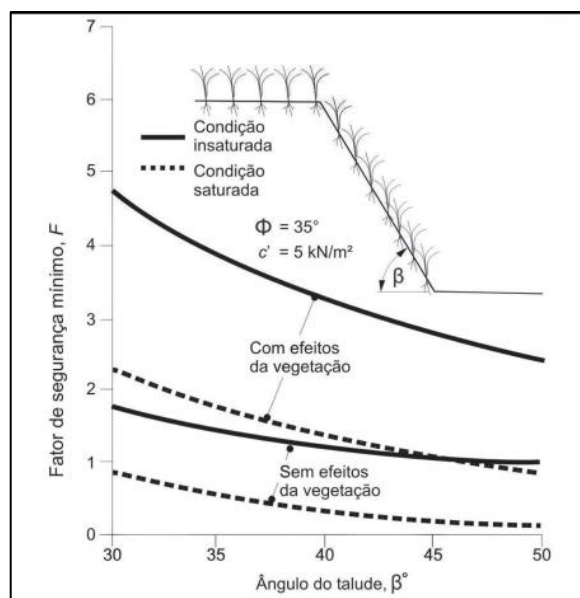
3.3 IMPORTÂNCIA DA COBERTURA VEGETAL NA ESTABILIDADE DE TALUDES

A vegetação melhora a resistência dos taludes contra a erosão. Em taludes desprotegidos, o solo fica exposto e sujeito a intempéries. As raízes, por exemplo, atuam como reforço na resistência ao cisalhamento do solo, funcionam como canais de sucção, e reduzem o volume de água infiltrada. A copa e o caule das árvores também atuam reduzindo o volume de água e a energia com a qual chegam a superfície, impedindo o desprendimento e o transporte das partículas, evitando assim

o escorregamento. Magalhães (2005) afirma que a perda ou remoção da vegetação no talude pode resultar no aumento da taxa de erosão e aumento da frequência de rupturas no talude.

A Figura 11 mostra o efeito da vegetação na melhoria da estabilidade de taludes, quando comparado à mesma condição de um talude com e sem vegetação, em razão da inclinação e do fator de segurança, nos casos de saturação e instauração do solo.

Figura 11 - Efeito da vegetação na estabilidade de talude, em função do fator de segurança



Fonte: Boletim Técnico - Deflor Engenharia (2006)

3.3.1 Equação de Perdas de Solo

A Equação de Perdas de Solo proposta por Smith e Wischmeier (1958), foi desenvolvida para determinar a perda de solo em áreas agrícolas, campos e áreas impactadas. Porém, tem sido bastante utilizada como forma de avaliar o potencial de erodibilidade de uma determinada área. A equação traz a perda de solo (A) em função de vários fatores associados à erodibilidade do solo, e é representada pela Equação 2:

$$A = R \times K \times LS \times C \times P \quad (\text{Eq. 2})$$

Sendo:

A = Perda anual de solo por unidade de área (t./ha.ano);

R = fator de precipitação e run-off (Coeficiente de escoamento superficial): é afetado pela energia potencial, pela intensidade, quantidade de chuva e pelo run-off.

K = fator de erodibilidade do solo: é afetado pela textura do solo, pela matéria orgânica, pela estrutura e pela permeabilidade.

LS = fator topográfico: é afetado pela inclinação, pelo comprimento e pela forma do talude (côncavo ou convexo).

C = fator de manejo de culturas: é afetado pela superfície de recobrimento, pelo dossel, pela biomassa, pelo uso de solo e pelo tipo de cobertura vegetal.

P = fator de práticas de proteção e manejo do solo: é afetado pela rotação de culturas, pelo tipo de proteção do solo, pelas barreiras, pelo mulch (cobertura vegetal seca) para recobrir o solo, pelas biomantas, pelos terraços e pelas técnicas de proteção do sol.

O valor de cada fator pode ser obtido por meio de fórmulas, de dados já obtidos experimentalmente, de gráficos ou de dados do local da obra. É importante possuir conhecimento técnico para determinar os fatores e interpretar os fatores para que os resultados obtidos sejam os mais seguros possíveis.

4 BIOENGENHARIA DE SOLOS

4.1 CONCEITO DE BIOENGENHARIA DE SOLOS

A Bioengenharia de Solos, também conhecida por engenharia natural, trata-se de uma tecnologia moderna utilizada mundialmente para recuperação ambiental. Consiste em técnicas que utilizam recursos inertes como o concreto, aço, madeira e fibras sintéticas associados a recursos naturais, como a vegetação.

Vegetação tem sido utilizada na engenharia há séculos, no controle de processos erosivos e como proteção e reforço em obras civis, sendo denominadas as técnicas que conjugam a utilização deste elemento vivo na engenharia de BIOENGENHARIA DE SOLOS. (Kruegener, 1951, apud LUCENA, 2009)

O uso destas técnicas como recurso da Engenharia Civil preocupa-se com a proteção de taludes e controle da erosão, utilizando as raízes e o caule como elementos estruturais e mecânicos, atuando no fortalecimento do solo, na atuação das movimentações de terra e no controle da drenagem.

Trata-se de técnicas de baixo custo, devido empregar elementos vivos que geralmente são encontrados na própria região a ser recuperada, além de requerer utilização mínima de maquinário e mão de obra especializada. O uso das técnicas da bioengenharia tem ganhado cada vez mais espaço devido a sua simplicidade de instalação e manutenção, e comprovada eficiência técnica em termos de segurança, bem como a preocupação com o meio ambiente.

Devido a seu baixo custo, a requerimentos técnicos relativamente simples para instalação e manutenção, a adequação paisagística e ambiental, estas operações têm encontrado largo campo de aplicação em regiões tropicais e semitropicais, já que nestas regiões as condições favoráveis ao crescimento da vegetação ocorrem na maior parte do ano (Golfari e Caser, 1977, apud LUCENA, 2009).

Em locais onde o acesso é difícil, ou o maquinário é inacessível as técnicas da bioengenharia de solos torna-se a única alternativa viável para solucionar problemas encontrados na natureza.

4.2 TIPOS DE MATERIAIS USADOS NA BIOENGENHARIA DE SOLOS

4.2.1 Materiais Vivos

Os materiais vivos são as vegetações, geralmente encontradas no local de construção, considerando que elas são adaptadas às características locais. Podem ser utilizados as partes de plantas, sementes e associações vegetais, ou seja qualquer agrupamento de plantas em equilíbrio entre si e com o meio ambiente. Os materiais vivos possuem função estabilizadora, substituindo os materiais inertes usados na engenharia tradicional (SILVA, 2012).

4.2.2 Materiais Inertes

Os materiais inertes podem ser madeira, pedras, geotêxteis, metais, e fibras. São utilizados como preparação de terreno, para assegurar a estabilidade do local enquanto a vegetação se desenvolve. São selecionados pelas suas características técnicas, facilidade de aquisição, abundância na região e custo (SILVA, 2012).

4.2.3 Geossintéticos

Segundo a Associação Brasileira de Geossintéticos, os geossintéticos são uma tecnologia que vem ganhando cada vez mais espaço no mercado trabalho por solucionar problemas na geotecnia. Trata-se de produtos industrializados em que pelo menos um de seus componentes é fabricado com polímeros sintéticos ou naturais. Existem vários tipos de geossintéticos que possuem diferentes composições e funções. A Tabela 4, indica as classes de geossintéticos e as principais funções que podem desempenhar em obras da engenharia.

Tabela 4: Principais Geossintéticos e suas Principais Funções em obras de Engenharia

Geossintético	E	D	F	B	P	R	S	C
Geotêxtil	x	x	x	-	x	x	x	x
Geomembranas	-	-	-	x	-	-	x	-
Geogrelhas, Geotiras, e Geobarras	-	-	-	-	-	x	-	-
Georredes, Geotubos e Goespaçadores	-	x	-	-	-	-	-	-
Geomantas	x	-	-	-	-	-	-	-
Geocélulas	-	-	-	-	-	-	-	x

Nota: E – Controle de erosão superficial; D – Drenagem; F – Filtração; B – Barreira impermeabilizante; P – Proteção; R – Reforço; S – Separação; C – Confinamento.

Fonte: Associação Brasileira de Geossintéticos, 2012.

4.3 TÉCNICAS DE BIOENGENHARIA NA ESTABILIZAÇÃO DE TALUDE

As técnicas propostas pela bioengenharia estão ganhando cada vez mais espaço no cenário nacional, embora as aplicabilidades no Brasil sejam poucas, exemplos vistos por países estrangeiros comprovam a eficácia dos métodos e mostram que é possível, de maneira correta, solucionar problemas de instabilidade em taludes, proporcionando um efeito ecológico e paisagístico.

São utilizadas para estabilização de taludes em casos de instabilidade pouco profunda e que não haja envolvimento de massas de terreno de grandes dimensões. Podem ser combinadas, utilizando os materiais inertes e vivos, sendo que a função do material inerte é estabilizar os taludes até que a vegetação seja capaz de realizar sua função. Podem ser divididas em divididas em 3 tipos: revestimento, consolidação e estabilização.

4.3.1 Técnicas de Revestimento

a) Semeadura Manual: após a remoção de imperfeições, desníveis e vegetação indesejada, dá-se o início do preparo do solo, onde são feitas covas pequenas e próximas um das outras, logo após é feito a distribuição manual de sementes de diferentes espécies herbáceas nas covas, depois as sementes são cobertas com terreno. Recomenda-se esta atividade em período de atividade vegetativa, e posteriormente cuidados com irrigação, cortes periódicos e adubações. A semeadura

permite a consolidação, revestimento de superfícies suscetíveis à erosão, diminui a saturação de água no solo, reduzindo, assim, as pressões neutras (LAN GEOTECNIA E FUNDAÇÃO, 2015). A Figura 12, ilustra a técnica de semeadura feita manualmente.

Figura 12 - Semeadura Manual



Fonte: LAN GEOTECNIA E FUNDAÇÃO

b) Hidrossemeadura: a técnica de hidrossemeadura possui o mesmo princípio da semeadura manual, porém, a distribuição de uma mistura de água, sementes de espécies herbáceas, fibras de madeiras, fertilizantes e aditivos biológicos do solo, é feita através de equipamentos. É uma técnica que visa o revestimento rápido e fácil de superfícies suscetíveis a erosão (LAN GEOTECNIA E FUNDAÇÃO, 2015). A Figura 13 demonstra como é executado a técnica de hidrossementeira.

Figura 13 - Hidrossemeadura



Fonte: LAN GEOTECNIA E FUNDAÇÃO (2015)

c) **Barreiras Contra o Fluxo:** as barreiras são compostas por uma malha geossintética com inclusão de fibra de origem vegetal. As mantas criam um tipo de barreira contra o fluxo, impondo um obstáculo ao escoamento de água, diminuindo a velocidade da enxurrada, retendo sedimento e diminuindo a erosão. Pode ser usada associada a técnica de hidrossemeadura na proteção de taludes, melhorando o aspecto visual (FERNANDES & FREITAS, 2011). A Figura 14 ilustra as mantas orgânicas, também conhecidas por biorrollos.

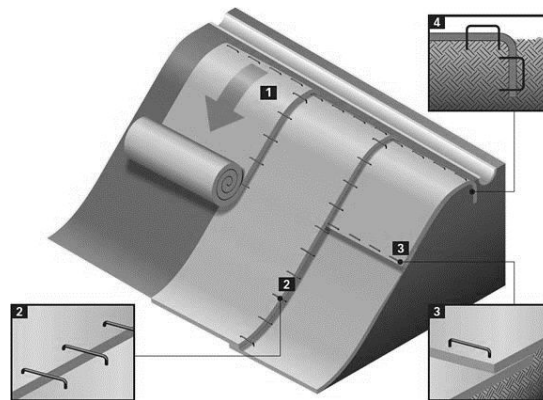
Figura 14 - Mantas Orgânicas



Fonte: Livro Engenharia Natural, vol. II

d) **Biomantas:** são geossintéticos que desempenham funções de drenagem, filtração, separação, reforço e proteção, auxiliando na regularização da temperatura, facilitando o desenvolvimento da vegetação. Revestem o solo, evitando a erosão e as perdas de água por evaporação. É desejável que a superfície esteja o mais regularizável possível, para melhor adesão da biomantas à superfície. A aplicação deve-se iniciar desde o topo do talude, e com o auxílio de uma bobina desenrola-se a biomanta, ajusta-a ao longo do talude e utilizam-se grampos para a fixação. É uma técnica simples, econômica e de fácil aplicação (SEOANE, 2011). A Figura 15 mostra a aplicação dos geotêxtis em taludes.

Figura 15 - Aplicação da Biomanta



Fonte: Revistas PINI

4.3.2 Técnicas de Estabilização

e) Paliçada Viva: consiste em cravar estacas vivas verticalmente com uma profundidade mínima de $\frac{1}{3}$ do comprimento total. A união das estacas é feita por estacas de espécies lenhosas na horizontal. Essa estrutura é aplicada em talude de solos argilosos e/ou arenosos. O material vivo, depois de enraizado, possibilita a consolidação do terreno (ECOSALIX, 2016). A Figura 16 mostra um exemplo de paliçada viva.

Figura 16 - Paliçada Viva



Fonte: ECOSALIX (2016)

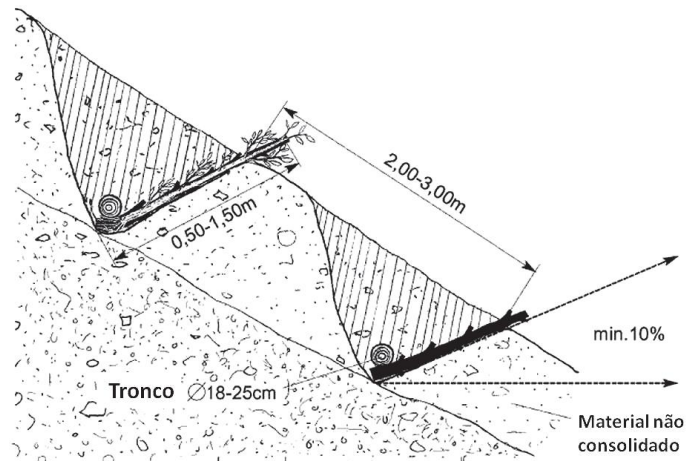
f) **Entrançado Vivo:** consiste na realização de um entrançado de ramos de espécie lenhosa em volta de estacas cravadas no solo. Quanto maior a estaca, maior a profundidade onde irão se desenvolver as raízes, resultando numa maior estabilidade. O entrançado vivo visa a estabilização dos taludes, a retenção da camada superficial do solo (ECOSALIX, 2016). A Figura 17 é uma representação de entrançado vivo.

Figura 17 - Entrançado Vivo



Fonte: ECOSALIX(2016)

g) **Leito de Vegetação ou de Ramagem:** são feitas valas perpendiculares à linha de maior inclinação do talude, a escavação é contrária a inclinação, com um declive de 10 % para o interior da encosta e uma profundidade entre 0,5 e 1,5. Dentro das valas são colocadas espécies autóctones, e cobre-se as raízes com terra, os ramos devem sair cerca de 10 cm para facilitar o desenvolvimento dos rebentos. O procedimento é repetido até o topo da encosta com um espaçamento de 1,5 a 3 metros entre as valas. A grande dificuldade deste procedimento é garantir a fixação da vegetação em climas secos (FERNANDES & FREITAS, 2011). A Figura 18 ilustra o procedimento utilizado pela técnica de leito de vegetação.

Figura 18 - Faixas de Vegetação

Fonte: Livro Engenharia Natural, vol. II

4.3.3 Técnicas de Consolidação

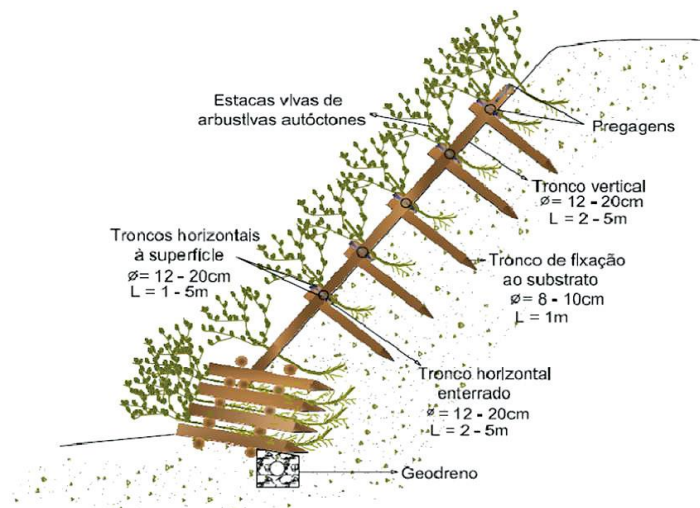
h) Muro de Suporte Vivo: consiste em uma estrutura de troncos de madeira postas perpendicularmente, assumindo formato de caixa, e no seu interior instala-se estacas vegetativas, plantas, pedras e terreno local. É um dos métodos mais utilizados, caracterizando-se por ser uma obra permeável, visando proteger o solo e valorizar a paisagem em espaços terrestres ou aquáticos (FERNANDES & FREITAS, 2011). A Figura 19 exemplifica um muro de Suporte Vivo.

Figura 19 - Muro de Suporte Vivo

Fonte: Livro Engenharia Natural, vol. II

i) **Grade Viva:** é uma estrutura feita com troncos de madeira, com cerca de 10 a 30 cm de diâmetro, posicionados verticalmente e horizontalmente, perpendiculares entre si, e sustentada por prumos de madeira enterrados no solo. Em seguida, é realizada a plantação da vegetação em torrão ou em raiz nua e estacas vivas, e depois enche-se a estrutura com terreno da localidade da obra. A grade viva ajuda na consolidação das camadas de solo até uma profundidade de 30 a 40 cm, evitando deslizamentos ou erosão (FERNANDES e FREITAS, 2011). A Figura 20 mostra o esquema ilustrativo da grade viva.

Figura 20 - Grade Viva



Fonte: Livro Engenharia Natural, vol. II

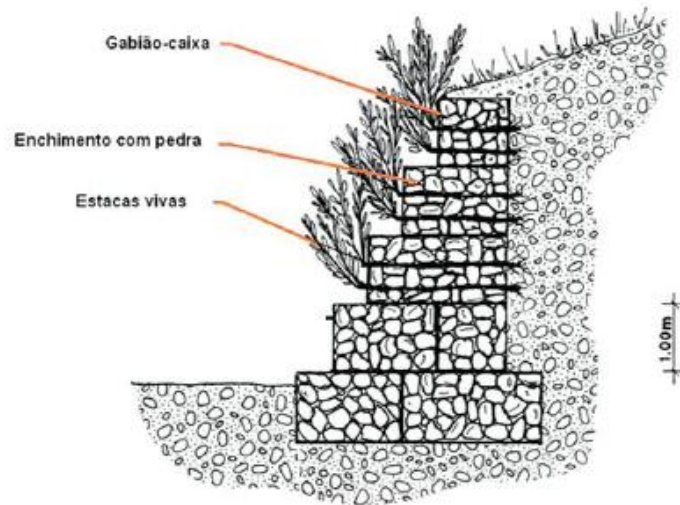
j) **Terra Reforçada:** é uma técnica de reconstrução de talude com grande inclinação. A contenção é feita com vários tipos de materiais inertes, sendo utilizadas mantas reforçadas com plástico ou aço, em seguida cobertos com terra vegetal e finalizada com plantação de espécies enraizadas. Consiste na separação de várias parcelas do terreno, que são estabilizadas através do seu próprio peso (ECOSALIX, 2016). A Figura 21 demonstra a técnica de terra reforçada em um talude.

Figura 21 - Terra Reforçada



Fonte: ECOSALIX (2016)

k) **Gabiões Vivos:** são construídos com arame galvanizado e uma rede de malha, formando uma estrutura de caixa retangular, com o interior preenchido por rochas e colocadas estacas vivas de forma irregular. Para a inserção das estacas vivas, é necessária a colocação de terra vegetal e plantas com capacidade vegetativa, que possuam um comprimento adequado para que atinjam o solo que fica localizado atrás do gabião. Ao contrário das outras técnicas citadas, os gabiões vivos não constituem uma técnica totalmente da bioengenharia de solos, já que a vegetação nunca substituirá as funções de suporte do gabião (FERNANDES, J. P.; FREITAS, A. R. M., 2011). A Figura 22 mostra o esquema da técnica de gabiões vivos.

Figura 22 - Gabiões Vivos

Fonte: Livro Engenharia Natural, vol. II

4.4 DURABILIDADE DAS TÉCNICAS DA BIOENGENHARIA DE SOLOS

A Bioengenharia surgiu do ponto de vista científico, a partir dos trabalhos de Hugo Meinhard Schiechtl, no início do século XX. As construções mais antigas divulgadas por ele datam dos anos 30, e existem várias obras que possuem cerca de 50 anos, e que mesmo não sendo acompanhadas de trabalhos de manutenção, encontram-se funcionais e cumprindo os objetivos para os quais foram criadas.

Ainda não é possível mensurar a durabilidade das Técnicas da Bioengenharia de Solos, mas com base no sucesso das obras de Schiechtl, pode-se comprovar a eficiência das técnicas, considerando a escolha da espécie de plantas e das condições ecológicas durante o processo de planejamento.

Entretanto, para melhor eficiência das técnicas utilizadas pela bioengenharia, são utilizadas medidas de manutenção, que visam a conservação da vegetação utilizada no local da obra. Em locais onde são usadas a vegetação do próprio local, as medidas de manutenção são adotadas a partir do segundo ano no qual foram implementadas as técnicas, devido a vegetação ser adaptadas às condições locais.

Um aspecto que às vezes se torna limitante na Bioengenharia de Solos relaciona-se a falta de mão de obra especializada, sendo necessário a sua promoção para a execução da obra e para a manutenção. Geralmente, as atividades de manutenção precisam de intervalos de tempo 3 a 10 anos. Dentre as principais

medidas de manutenção pode-se citar: irrigação, transporte de material ceifado (cortado com foice ou instrumento apropriado), poda das espécies lenhosas, remoção de plantas mortas, drenagem, prevenção de danos que possam ser causados por gado ou pela fauna local, uso de adubos para melhoramento do solo, uso de pastoreio, por espécies apropriadas ao local.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 METODOLOGIA

A análise de um protótipo simulador de erosão em taludes complementa o estudo sobre Bioengenharia de Solos. Buscando o desenvolvimento científico, e facilitar o entendimento sobre o problema de erosão em taludes, foi-se desenvolveu-se um protótipo simulando dois taludes. Em um talude demonstrou-se o efeito erosivo para uma encosta desprotegida e no outro com solo dotado de elementos encontrados em abundância na natureza, e que são os materiais de construção usuais da bioengenharia de solos.

O protótipo construído baseia-se no Ensaio de Inderbitzen (1961) para determinação do grau de erodibilidade do solo. O ensaio consiste em uma rampa inclinada, na qual é disposta uma amostra de solo, que é imposta a um fluxo de vazão pré-determinada.

Para a construção do modelo foram utilizados:

- 01 placa de madeira tipo MDF de 28 x 34,5 cm², com uma divisória ao meio de isopor;
- 01 peça de madeira retangular para formar a superfície inclinada de 30°;
- Uma amostra de solo com granulometria variada;
- Amostras coletadas de pedregulhos, fibras de naturais e folhas;

02 pratos, com função de coletar o solo escorregado após simulação da água escorrendo por cima do maciço terroso após uma chuva.

Na Figura 23 têm-se o modelo construído para simular dois taludes.

Figura 23 - Protótipo Simulando dois Taludes



Fonte: O Autor

5.2 MATERIAIS

5.2.1 Solo

O solo é o material utilizado neste estudo na análise de estabilidade. Ele é encontrado nas mais diversas formas e composições, é um excelente material de construção natural, servindo de suporte e de dissipador de tensões aplicadas por uma construção. Os taludes são constituídos por solo e/ou rocha cuja superfície inclinada encontra-se exposta a diversos fatores desestabilizadores, como, por exemplo, a água da chuva e vários agentes erosivos cuja ação promove a deterioração das características mecânicas do solo.

O solo possui a capacidade de absorver água, fazendo com que o seu peso aumente quando encharcado, seja pela ação da chuva ou por outros motivos como rompimento de tubulações próximas. O aumento do peso do maciço é um fator determinante para o aumento das cargas solicitantes no talude, assim como também, a força de percolação da água que ocorre no sentido do escorregamento.

5.2.2 Água

A água atua como a chuva em uma situação real. A chuva é um dos fatores principais que interfere e resulta na erosão do solo. Em um solo desprotegido, as gotas d'água tocam a superfície com energia suficiente para desprender e transportar o material, resultando no escorregamento do talude.

O aumento da umidade reduz a resistência do talude, pois é eliminada progressivamente a pressão de sucção, reduzindo a coesão do solo, e por isso, a tensão efetiva. As tensões efetivas diminuem, também, pelo desenvolvimento de pressões neutras positivas quando ocorre o aumento de nível d'água no maciço.

Portanto, a perda de sua resistência juntamente com o aumento da solicitação nos solos ocorre por diversas causas conjuntas quando há o efeito deteriorante da água. Nessas condições, os solos de taludes têm maior tendência ao escorregamento e seu movimento de massa ocorre de forma mais acelerada.

5.2.3 Pedregulhos

Os pedregulhos representam as rochas presentes na natureza. A sua remoção para atividades econômicas promove grandes impactos em encostas, podendo formar grandes crateras, desestabilizando o maciço. Além do que, as rochas possuem superfície porosa, auxiliando na absorção da água, impedindo que grandes volumes saturam o solo. A presença de pedregulhos na superfície dos taludes serve como cobertura protetora contra os efeitos da erosão, visto que possuem uma resistência maior contra à erosão por agentes externos, como a água.

5.2.4 Cobertura Vegetal

A fibra natural vegetal e as folhas utilizadas no experimento representam a cobertura vegetal. A cobertura vegetal tem função importante no combate e controle da erosão causada pela água da chuva, por absorver a água e atuar numa melhor distribuição da na superfície do solo, além de proteger do impacto direto das gotas. A Figura 24 mostra os materiais para proteção do solo utilizados no experimento.

Figura 24 - Da Esquerda para Direita têm-se Pedregulho, Fibra Natural e Folhas.



Fonte: O Autor

5.3 MÉTODOS

O primeiro passo do ensaio consistiu em realocar o solo no protótipo, metade preenchido somente com solo, sem nenhum tipo de proteção, e a outra metade

protegida com amostras coletadas de pedregulhos, fibra natural e folhas. A Figura 25 mostra o resultado após a montagem do experimento.

Figura 25 - À Esquerda a Representação de um Talude Desprotegido, e à Direita um Talude com Proteção Natural



Fonte: O Autor

Finalizado a montagem do protótipo, foram gotejados 300 mL de água em ambos os solos. A Figura 26 mostra o resultado após adição de água.

Figura 26 - Protótipo Após o Experimento



Fonte: O Autor

5.3 RESULTADOS

Após a execução da simulação do que ocorre em taludes quando encontram-se em uma situação de chuva, pode-se constatar que o solo sem nenhum tipo de proteção sofreu uma erosão consideravelmente maior do que o solo com reforço, baseado na maior quantidade de matéria desprendida após a adição de água. A falta de proteção aliada a declividade atua no maior desprendimento das partículas de solo levando ao rompimento do talude. É notório que o escorregamento superficial é minimizado pela presença da proteção, e o protótipo permite visualizar esse efeito, demonstrando como a cobertura natural é eficaz para evitar o impacto das gotas de água sobre o maciço de solo.

A superfície do talude, com ou sem cobertura, absorve uma parte da água e a outra parcela escoar superficialmente e internamente. A camada protetora criada pela vegetação absorve parte da água, reduzindo o volume de água que encharca e percola no solo. Por isso, sua presença altera a intensidade da força de percolação nos grãos do solo, reduzindo o potencial erosivo no talude, que o levaria a fissuras e desprendimento de material. Sem a proteção, as gotas de água atingem mais facilmente a superfície, com uma energia capaz de desprender as partículas, de forma que possam ser transportadas mais facilmente.

Um talude em escala reduzida possui as mesmas características que uma construção real de grande porte. Por isso, na estrutura montada no ensaio conservam-se as mesmas propriedades, levando a afirmar que os resultados obtidos são verdadeiros e ocorrem em taludes de tamanho real.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Bioengenharia de Solos pretende solucionar problemas de instabilidade de taludes, porém, depende de vários fatores condicionantes como o solo, a geologia, o clima, o local da vegetação e a hidrografia.

Os projetos da bioengenharia de solos requerem planejamento, elaboração de projetos, estudo amplo sobre a área que se deseja executar a obra, sendo necessário um levantamento físico e mecânico do solo, visando a segurança com a utilização das técnicas.

Além das técnicas apresentadas, existem outras formas eficazes para solucionar o problema da instabilidade em taludes, cada uma com suas vantagens limitações e a sua escolha dependerá da análise dos fatores condicionante e da particularidade de cada caso, para determinar a melhor opção de escolha.

Por fim, pode-se constatar que as técnicas da bioengenharia de solos, mostram-se eficazes para minimizar os efeitos erosivos em taludes. O custo-benefício é uma vantagem em relação a outros métodos comumente utilizados pela engenharia tradicional. A diminuição considerada do uso de materiais como aço e concreto, representam um ganho nas questões ambientais.

O protótipo desenvolvido para este estudo, possibilitou um melhor entendimento sobre o tema em questão. Como já era de se esperar, a falta de proteção no solo aliada com a declividade contribuiu para o rompimento da estrutura. A principal finalidade do protótipo é demonstrar como a adoção de medidas simples propostas pela bioengenharia podem solucionar problemas sem muito gasto e com segurança.

Por isso, pode-se enfatizar a importância do presente estudo, como uma forma de aprofundar o conhecimento sobre o assunto, destacando a bioengenharia de solos como uma inovação no setor da construção civil por tratar-se de uma tecnologia relativamente barata que preocupa-se com a preservação do meio ambiente garantindo a segurança da população.

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Geossintéticos (2012). Os geossintéticos e suas funções. Disponível em: <<http://www.igsbrasil.org.br/geo.htm>>. Acesso em: 21 de outubro de 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11682: Estabilidade de Encostas. Rio de Janeiro, 2006. P. 11-12.

COELHO, A. T.; PEREIRA, A. R. Determinação da Perda de Solo. Boletim Técnico: Deflor Bioengenharia, Ano 01, v.1, nº 001, 2006.

COELHO, A. T.; PEREIRA, A. R. Efeitos da vegetação na estabilidade de taludes e encostas. Boletim Técnico: Deflor Bioengenharia, Ano 01, v.1, nº 002, 2006.

CUNHA, Sandra Baptista da & GUERRA, A.J.T., apud OLIVEIRA (2016) - A questão ambiental: Diferentes abordagens. 4ª edição, Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 2008.

ECOSALIX. Soluções de Engenharia Natural. Disponível em <<http://ecosalix.pt/novidades/>>. Acesso em 21 de Outubro de 2016.

Engenharia Estrutural e Construção Civil, Geossintéticos. Disponível em <<https://construcaocivilpet.wordpress.com/2016/03/23/geossinteticos/>>. Acesso em 18 de setembro de 2016.

FERNANDES, J. P.; FREITAS, A. R. M. Introdução à Engenharia Natural. 2001. Edição EPAL - Empresa Portuguesa das Águas Livres, S.A. Vol. 2.

FILHO, H. L. S.; SANTOS, R. R. A.; CARNEIRO, W. J. O. A Bioengenharia na Estabilização de Taludes e Encostas Naturais da Cidade De Salvador – Ba. Revista UNIFACS. Salvador – BA. Vol. 15. N. 1. p.175-193. 2014.

LAN - GEOTECNIA E FUNDAÇÕES. Biomantas ou Telas Vegetais e retentores de sedimentos. Disponível em <<https://sites.google.com/site/langeotecniaefundacao/contato/46-biomantas>>. Acesso em 21 de Outubro de 2016.

LIMA, M. J. C. P. A. de Prospeção geotécnica do subsolo. Rio de Janeiro-RJ: Livros Técnicos e Científicos, 1979. 104p. il.

LONDE, P. R.; BITAR, N. A. B. Importância do uso de vegetação para contenção e combate à erosão em taludes do lixão desativado no município de Patos de Minas (MG). Perquirere: Patos de Minas: UNIPAM, 8(2): p. 224-249, dez. 2011.

LUCENA, L. Bioengenharia De Solos Em Recuperação De Áreas Degradadas, Regularização Proteção De Corpos D'água E Estabilização De Taludes E Encostas. Reno, Nevada. 13 de fevereiro de 2009. 155 slides. Apresentação em Power Point.

MAGALHÃES, A. de F. Avaliação do desempenho de Técnicas de Bioengenharia na Proteção e Conservação da Cobertura Final de Taludes em Aterros de Disposição de Resíduos Sólidos Urbanos: Estudo de Caso para o Aterro Sanitário de Belo Horizonte, MG. 2005. 169 f.. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Recursos Hídricos e Meio Ambiente). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

MONTGOMERY, C.W. Environmental geology. 3ª ed. Dubuque: WM. C. Brown Publishers, 1992. 465p. Capítulo 08, páginas 158-181. Disponível em: <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/interacao/inter09I.html>. Acesso em 21 de agosto de 2016.

NOWATZKI, A. Agentes Endógenos e Exógenos. Disponível em < <http://professoralexeinowatzki.webnode.com.br/geomorfologia/agentes-endogenos-e-exogenos/>>. Acesso em 15 de outubro de 2016.

Passos, B. et al. TALUDES: Naturais e artificiais – Obras de Estabilização. 2010. 39 f. Faculdades Kennedy, 2010.

ROESNER, F. J. RETROANÁLISE E PROPOSTA DE ESTABILIZAÇÃO DE UM TALUDE DA RODOVIA SC-435. Joinville, 2015. Disponível em < https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/133869/TCC_Fernando_J_Roesner.pdf?sequence=1>. Acesso em 21 de outubro de 2016.

SANTOS, Luana Maria dos. Erosão em taludes de corte: métodos de proteção e estabilização. 2015. 73 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Civil) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2015. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/124253>>.

SCHMEIER, N. P. Bioengenharia De Solos: Uma Alternativa À Recuperação De Áreas Degradadas. Revista Destaques Acadêmicos, Lajeado- RS. vol. 5, n. 4, p.127-130. 2013.

SEOANI, T. Mantas contra erosão: As especificações para aplicação de geomantas e biomantas na proteção e estabilização superficial de solos. Revista PINI. São Paulo – SP. Edição 14. Dezembro/2011.

SILVA, R. Aplicação da Engenharia Natural na Estabilização de Taludes. 2012. 127 f. Tese (Mestrado em Engenharia Civil). Centro de Ciências Exatas e da Engenharia (CCEE). Universidade da Madeira. 2012.