



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS / FACULDADE DE GEOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *lato sensu*
III CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GESTÃO HÍDRICA E AMBIENTAL**

MONOGRAFIA

**PROTEÇÃO E ESTABILIZAÇÃO DE TALUDES E ÁREAS MARGINAIS COM
COBERTURA VEGETAL: estudo de caso no Município de Belém-PA**

CLÍVIA ETHIANNE FAVACHO PASSARINHO

BELÉM, 2014



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS / FACULDADE DE GEOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *lato sensu*
III CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GESTÃO HÍDRICA E AMBIENTAL**

**PROTEÇÃO E ESTABILIZAÇÃO DE TALUDES E ÁREAS MARGINAIS COM
COBERTURA VEGETAL: estudo de caso no Município de Belém-PA**

CLÍVIA ETHIANNE FAVACHO PASSARINHO

BELÉM, 2014

CLIVIA ETHIANNE FAVACHO PASSARINHO

**PROTEÇÃO E ESTABILIZAÇÃO DE TALUDES E ÁREAS MARGINAIS COM
COBERTURA VEGETAL: estudo de caso no Município de Belém-PA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Especialização *Lato Sensu* do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial à obtenção de grau de Especialista lato sensu em Gestão Hídrica e Ambiental. Sob orientação do Prof. MSc. Sady Salomão da Silva Alves.

Data da aprovação: .../.../.....

Conceito: _____

Banca Examinadora:

Prof. MSc. SADY SALOMÃO DA SILVA ALVES
(ORIENTADOR)
Mestre em Química
Universidade Federal Do Pará

Dr. ALINE MARIA MEIGUINS DE LIMA
Examinadora
Universidade Federal Do Pará

MSc. PAULO BAIA- Examinador
Universidade Federal Do Pará

RESUMO

A proteção superficial é importante na estabilização de taludes de corte ou de aterro e encostas naturais, impedindo a erosão e a infiltração de água. Para este fim, o revestimento vegetal, representado pelas gramíneas, apresenta-se como a melhor proteção porque suas folhas absorvem a maior parte do impacto das gotas de chuva e suas raízes fixam o solo superficial, impedindo que ele seja carregado pela água. Para que a colocação do revestimento vegetal seja eficaz deve ser escolhido o procedimento e a espécie mais adequada, levando-se em conta o tipo de solo, a inclinação do talude e as condições climáticas. Considerando as condições hidrológicas e climatológicas da zona urbana do município de Belém, propícias ao deslizamento de taludes, este trabalho trata da redução dos efeitos da erosão do solo nos taludes, com base num referencial teórico que abrange a legislação urbano-ambiental brasileira, e as principais opções de estabilização de taludes com a utilização de cobertura vegetal na sua proteção, destacando a utilização do capim vetiver (*Vetiveria zizanioides*), o capim quicuío da Amazônia (*Brachiaria humidicola*) e o capim gengibre (*Paspalum maritimum*).

Palavras chave: talude, erosão, estabilização, revegetação, gramínea.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Canal da Nova Marambaia revestido com capim gengibre	27
Figura 02: Canal da Sacramento revestido com capim quicuío	29
Figura 03: revestimento de área na margem atlântica do Canal do Panamá com capim quicuío	29
Figura 04: mecanismo de estabilização de talude com o uso do capim vetiver	30
Figura 05: detalhe da raiz do Vetiver	31
Figura 06: formação de barreiras vivas de Vetiver transversalmente à declividade do talude	32
Figura 07: barreiras vivas de Vetiver evitando processo erosivo	32
Figura 08: corte transversal de barreira de vetiver, destacando-se a formação de terraço natural	33
Figura 09: terreno com área exposta. Ano: 1994	35
Figura 10: mesma área após deslizamentos. Ano: 2008	35
Figura 11: mesma área recuperada e estabilizada com capim vetiver	35
Figura 12: Trecho da Av Luis Eduardo Magalhães com cobertura de vetiver	35
Figura 13: Trecho do Vale de Barris com cobertura de vetiver	36
Figura 14: Escorregamento de talude de corte na Av Luis Eduardo Magalhães e uso de lonas plásticas para conter erosão	36

SUMÁRIO

1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	07
2	CONTENÇÃO DE TALUDES – CONCEITOS BÁSICOS	10
2.1	TALUDE: DEFINIÇÃO E FORMAÇÃO	10
2.2	PROCESSO EROSIVO	10
2.3	PERDAS DE SOLO	12
2.4	PROCESSOS EROSIVOS NAS ENCOSTAS	13
2.5	AÇÕES INSTABILIZADORAS	15
2.6	OBRAS DE ESTABILIZAÇÃO	16
2.7	REVESTIMENTO VEGETAL	17
2.7.1	Recomendações técnicas	18
2.7.2	Técnicas de revestimento vegetal	19
2.8	FATORES AMBIENTAIS NO REVESTIMENTO VEGETAL ...	21
2.8.1	Fatores climáticos	21
2.8.2	Fatores edáficos	22
2.9	SELEÇÃO DAS ESPÉCIES VEGETAIS	23
2.10	REVESTIMENTO VEGETAL COM GRAMÍNEAS	24
2.11	FORMAS DE PLANTIO DE GRAMÍNEAS	24
3	USO DE GRAMÍNEAS NO CONTROLE À EROÇÃO	25
3.1	CAPIM GENGIBRE (<i>Paspalum maritimum</i>)	25
3.1.1	Características do capim gengibre	25
3.1.2	Utilização do capim gengibre no controle da erosão	26
3.2	CAPIM QUICUIO DA AMAZÔNIA (<i>Brachiaria humidicola</i>)	27
3.2.1	Características do capim quicuiu da amazônia	27
3.2.2	Utilização do capim quicuiu da Amazônia no controle da erosão	28
3.3	CAPIM VETIVER (<i>Vetiveria zizanioides</i>)	29
3.3.1	Características do capim vetiver	29
3.3.2	Plantio e consorciação do capim vetiver	32
3.3.3	Vantagens e desvantagens do uso do capim vetiver	33
3.3.4	Utilização do capim vetiver no controle da erosão	34
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	38
5	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	39

1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O processo erosivo é um problema que preocupa todos os povos do mundo, pois, nos locais onde ocorre, verifica-se a perda da capacidade produtiva do solo, devido à remoção dos horizontes superficiais. Além disso, os excedentes hídricos que chegam até a rede de drenagem das bacias hidrográficas transportam sedimentos, nutrientes e agroquímicos que contaminam as águas superficiais (COELHO, 2007. p.53).

Na zona urbana do município de Belém, capital do estado do Pará, localizam-se inúmeros canais cujas áreas marginais encontram-se desprovidas de proteção.

Além disso, a ocorrência de chuvas na região é alta. De acordo com dados de 2012, do Núcleo de Hidrometeorologia da Secretaria Executiva de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente, que sistematiza as informações hidroclimatológicas do Estado do Pará, a precipitação média anual em Belém está entre 2500 e 3000 mm, fator que favorece grandemente o deslizamento de taludes (PARÁ, 2012. p.21).

No Brasil, a legislação urbano-ambiental exige uma avaliação ambiental ou o estudo de impacto ambiental em casos específicos. Tal estudo deve ser pautado em normas como as publicadas pelo CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) na sua resolução 237/97 (BRASIL, 1997. p.4). Esta norma abrange conceitos de urbanização em áreas declivosas, propensa a impactos ambientais não mensuráveis. Assim, é da responsabilidade de cada prefeitura a elaboração de cartas geotécnicas do seu município.

Objetivo geral

Discutir técnicas de revegetação no combate à erosão e contenção de taludes.

No trabalho discute-se o problema da instabilidade dos taludes e soluções de combate à erosão superficial por meio de técnicas não agressivas ao meio-ambiente, usando o conceito de bioengenharia.

E estudar o emprego de vegetação como meio eficiente de combate à erosão e aumento de estabilidade em taludes, com base em pesquisas realizadas pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA, e em dados obtidos em projetos nos quais o capim vetiver (*Vetiveria zizanioides*), o capim quicuío da Amazônia (*Brachiaria humidicola*) e o capim gengibre (*Paspalum maritimum*) foram utilizados na estabilização de taludes.

Metodologia

Visando atingir os objetivos deste trabalho, utilizaremos como principais procedimentos metodológicos a revisão bibliográfica sobre a estabilização de taludes com o uso de proteção vegetal, e os resultados bem sucedidos de projetos realizados em regiões do Brasil, neste caso na região metropolitana de Belém

Por meio de pesquisas em revistas e sites na internet, foram coletados artigos apresentando alternativas e conceitos inovadores sobre a contenção de encostas. Os artigos demonstram, por meio de opiniões de pesquisadores da área, como estão sendo aplicadas as novas tecnologias de combate à erosão em taludes.

Empresas que atuam no setor de bioengenharia publicam catálogos visando divulgar seus produtos e as técnicas que são aplicadas por elas. Na consulta desses materiais foram obtidas informações sobre o mercado e sobre as tecnologias produzidas e empregadas por tais empresas.

Nos livros foram obtidas informações que enriqueceram a pesquisa, fornecendo-lhe respaldo científico, evitando-se que ela fosse construída apenas com base em opiniões isoladas e de interesse comercial.

Relatórios de Projetos específicos envolvendo bioengenharia acrescentaram dados concretos sobre a aplicação de vegetação no combate à erosão de taludes em rodovias e em canais de drenagem.

Revisão bibliográfica

Para referenciar as principais opções de estabilização de taludes, recorreremos a Martins (2011. p.22) que as engloba em dois grandes grupos: “o das medidas estruturais e o das medidas não estruturais. As de maior eficiência, sem dúvida, estão no primeiro grupo, entretanto, a maioria é inviabilizada pelo seu alto custo, já que se traduzem na execução de obras complexas e que exigem alta tecnologia.”

Cunha (1991. p.65) nos fornece o referencial teórico necessário sobre a utilização de cobertura vegetal na proteção de taludes. Para este autor, a vegetação herbácea, popularmente conhecida como mato ou relva, onde se inclui grande parte das gramíneas (família vegetal que abrange diversas variedades de gramas, alguns capins, milho, cana-de-açúcar, entre outras), é o revestimento vegetal mais indicado para a proteção de taludes de corte ou encostas desmatadas para ocupação urbana.

2 CONTENÇÃO DE TALUDES – CONCEITOS BÁSICOS

2.1 TALUDE: DEFINIÇÃO E FORMAÇÃO

Talude pode ser definido como uma superfície de solo exposta que forma um ângulo com a superfície horizontal. Podem ser classificados como artificial ou natural. Os taludes naturais, comumente conhecidos como encostas, levam milhões de anos para ser formados e são representados principalmente pelas encostas de montanhas.

Os taludes artificiais são os declives de aterros construídos pelo homem. Eles alteram as paisagens originais, atuando sobre os fatores ambientais, modificando a vegetação, alterando topografias, podendo inclusive interferir sobre o clima da região (GERSCOVICH, 2012. p.121).

2.2 PROCESSO EROSIVO

O processo erosivo é constituído basicamente pelo desprendimento das partículas do solo, o transporte e a deposição das partículas carregadas nas seções inferiores das paisagens. Esse desprendimento e transporte são causados pela ação das gotas de chuvas e da força cisalhante do escoamento superficial, constituindo a fase inicial e mais importante da erosão hídrica (COELHO, 2007. p.84). Os mecanismos erosivos podem ocorrer também através do transporte de partículas por fluxos subsuperficiais ou, ainda por movimentos de massa mais complexos. A cobertura vegetal exerce um papel protetor do solo, fazendo com que a remoção de solo seja lenta, sendo compensada pelos processos de formação do solo. Além disso, os vegetais correspondem aos elementos naturais de estabilização de encostas, promovida principalmente pela ação das raízes. Solos expostos, onde se efetuou a remoção total da cobertura vegetal, são ambientes de grande geração de fluxos superficiais, uma vez que não são encontrados os elementos e mecanismos que definem a condição de infiltração da água para a subsuperfície (COELHO, 2007. p.36).

A erosão superficial é o primeiro estágio do processo erosivo, evoluindo conforme as ravinas são formadas, podendo culminar na formação de voçorocas, compreendendo o estágio terminal do processo. Ela é responsável pela remoção das partículas coloidais e dos íons em solução, reduzindo seu potencial produtivo de biomassa, pela baixa fertilidade. Segundo Coelho (2007, p.52), conforme a precipitação excede a capacidade de infiltração do solo, inicia-se o escoamento superficial. A água acumula-se em depressões na superfície do solo (microtopografia), até que começa a descer a encosta, através de um lençol, podendo evoluir para uma ravina. Este fluxo passa a ser linear, produzindo microravinas e microravinas com cabeceiras. Ao mesmo tempo em que essa evolução vai se estabelecendo na superfície do terreno, pode ocorrer também o desenvolvimento de bifurcações, através dos pontos de ruptura das ravinas.

A erosão em encostas pode ser entendida como o produto da energia potencial da chuva, pela resistência dos componentes ambientais (solo, topografia, coberturas vegetais e práticas agrícolas). Em linhas gerais, os processos erosivos podem ser classificados em dois tipos básicos: erosão natural (também chamada de erosão geológica) e erosão acelerada (COELHO, 2007. p.58).

Na erosão natural, o solo encontra-se sob cobertura vegetal nativa, ocorrendo às perdas de solo de maneira lenta e gradual. Este tipo de erosão tem ocorrido por milhares de anos. Na erosão acelerada, ocorre a interferência antrópica, causada pela remoção da cobertura vegetal endêmica e introdução de espécies vegetais de interesse agrícola, geralmente monoculturas, tornando a estrutura do solo vulnerável à ação de ventos e de chuvas (GERSCOVICH, 2012. p.37).

A eliminação e a substituição da cobertura vegetal natural, além de acarretar a aceleração dos processos erosivos, promovem um desequilíbrio nos ciclos de nutrientes via deposição e decomposição da serrapilheira, afetando o desempenho de todo o ecossistema (GERSCOVICH, 2012. p.61).

É importante destacar que quando se usa o termo ação antrópica no processo erosivo, o homem não é um agente direto. Sua participação no processo ocorre propiciando as condições favoráveis para que outros agentes, como é o caso da água, atue de modo direto.

São exemplos deste tipo de atuação o desmatamento e a expansão urbana desordenada (GERSCOVICH, 2012. p.80).

O significado de erodibilidade do solo é diferente de erosão do solo. A intensidade de erosão de uma área qualquer pode ser influenciada mais pelo declive, características das chuvas, cobertura vegetal e manejo, do que pelas propriedades do solo. Contudo, alguns solos são mais facilmente erodidos que outros, mesmo quando o declive, a precipitação, a cobertura vegetal e as práticas de controle de erosão são as mesmas. Essa diferença, devido às propriedades inerentes ao solo, é referida como erodibilidade do solo (MADRUGA *et.al.* 2007. p.67). As propriedades do solo que influenciam a erosividade pela água são: as que afetam a velocidade da infiltração da água do solo, a permeabilidade e a capacidade de retenção da água; aquelas que resistem à capacidade de dispersão ao salpicamento, à abrasão e às forças de transporte da chuva e enxurrada (COUTO *et.al.* 2010. p.168).

A erodibilidade pode ser definida como a susceptibilidade do solo à erosão superficial, de modo que as partículas de solo são destacadas dos agregados e transportadas pela ação por fluxo hídrico superficial concentrado. A erodibilidade é uma das propriedades de comportamento dos solos de maior complexidade pelo grande número de variáveis intervenientes. Estudada por diferentes áreas do conhecimento (Agronomia, Hidráulica, Geomorfologia, Geologia de Engenharia e Engenharia Geotécnica), tem no meio geotécnico grande interesse na sua quantificação e entendimento dos mecanismos envolvidos (EMBRAPA, 2000. p.32).

2.3 PERDAS DE SOLO

Nos ambientes tropicais, a erosão superficial é responsável por grandes perdas de solo. Seu início ocorre com o impacto da gota de chuva sobre uma superfície desprotegida de cobertura vegetal, causando a ruptura dos agregados, o transporte das partículas, através do escoamento superficial e a deposição nas áreas mais baixas do relevo, tais como rios, lagos, reservatórios, etc.

Segundo Truong (1999. p.125), o impacto das gotas de chuva contra a superfície do solo pode jogar os grãos superficiais a uma distância de até 0,6 m de altura, e 1,5 m lateralmente do ponto de impacto da gota, obviamente dependendo do tamanho da gota e da partícula do solo.

Estas características de desagregabilidade e transportabilidade das partículas do solo, em geral são funções do tamanho das partículas do solo. Quanto maior o tamanho das partículas, maior sua desagregabilidade, e quanto menor seu tamanho, maior sua transportabilidade. Em vista disto, pode-se dizer que as argilas são mais facilmente transportadas que as areias, e as areias mais facilmente desagregadas que as argilas. Ainda sobre isto, Araujo *et. al.* (2005, p.124), relaciona a desagregabilidade (facilidade de destacamento dos componentes do solo), com a coesão e a transportabilidade (facilidade com que estes componentes são deslocadas do local original por fatores de erosão) das partículas do solo.

2.4 PROCESSOS EROSIVOS NAS ENCOSTAS

Os principais tipos de processos erosivos que ocorrem nas encostas são: Erosão por impacto da gota de chuva (splash), erosão laminar ou em lençol, erosão linear ou por fluxo concentrado. A erosão laminar ocorre através do escoamento superficial difuso da água da chuva. Quando o escoamento se concentra através de linhas de fluxo bem definidas, três tipos de feições lineares podem ser geradas: sulcos, ravinas e boçorocas. De acordo com a classificação da EMBRAPA (2000. p.26), os sulcos constituem feições alongadas e rasas (inferiores a 50 cm); as ravinas são feições de maior porte, de profundidade variável, de forma alongada e não atingem o lençol de água subterrânea; as boçorocas tem dimensões superiores às ravinas e atingem o lençol de água subterrânea, havendo portanto processo de erosão subterrânea. A erosão por fluxo concentrado desenvolve-se em linhas de talvegue ou nos cursos de drenagem de primeira ordem, resultando no entalhamento vertical do terreno, no rebaixamento das vertentes laterais e no alargamento do vale da drenagem. Embora as boçorocas sejam a feição erosiva mais proeminente, o seu desenvolvimento é restrito e raramente ultrapassa 15% da área de uma bacia hidrográfica (ARAUJO *et.al.*, 2005. p. 237).

A erosão laminar ocorre de maneira lenta e é de difícil mensuração, porém sempre se espalha sobre extensas áreas, chegando a recobrir cerca de dois terços ou mais das encostas, em uma bacia de drenagem, durante um pico de evento chuvoso (ARAUJO *et.al.*, 2005. p.139). É considerada por muitos autores como o principal responsável pela maior produção de sedimento em uma bacia hidrográfica (COUTO *et.al.*, 2010. p.139) sugerem ainda que, embora a maior parte dos sedimentos erodidos nas encostas de uma bacia hidrográfica possam ser transportados para os rios através de sulcos, ravinas e/ou boçorocas, esse sedimentos foram produzidos principalmente por erosão laminar.

A ocorrência de processos erosivos nas encostas é controlada basicamente por fatores naturais e antrópicos, a saber: erosividade da chuva; erodibilidade dos solos; natureza da cobertura vegetal; características das encostas; e tipos de uso e ocupação do solo.

A erosividade é a habilidade da chuva em causar erosão (COUTO *et.al.* 2010. p.145). Está relacionada com o total de chuva, a sua intensidade, o momento e a energia cinética. Em climas tropicais, também são considerados importantes a variação sazonal e a ocorrência de eventos anômalos (ARAUJO *et. al.*, 2005. p. 160).

A erodibilidade dos solos representa a suscetibilidade do solo em resistir aos processos erosivos (ARAUJO *et. al*, 2005. p.86). Segundo esse autor, os fatores que afetam a erodibilidade são: textura, densidade aparente, porosidade, teor de matéria orgânica, teor e estabilidade dos agregados e pH do solo. A erodibilidade não é uma propriedade estática ao longo do tempo. As práticas agrícolas, por exemplo, produzem modificações importantes nas características dos solos, alterando a sua erodibilidade.

A cobertura vegetal é o fator de maior relevância na proteção dos solos, pois afeta a sua erosão de várias maneiras, a saber: através dos efeitos espaciais da cobertura vegetal, dos efeitos de energia cinética da chuva e do papel da vegetação na estabilidade dos agregados de solos (EMBRAPA, 2000. p.43). A cobertura vegetal reduz as taxas de erosão do solo através de: proteção ao impacto da chuva, diminuição da água disponível ao escoamento superficial, decréscimo da velocidade de escoamento superficial e aumento da capacidade de infiltração de água no solo (CUNHA, 1991. p.99).

As características das encostas podem afetar a erodibilidade e dos solos de diferentes maneiras: por meio da declividade, do comprimento e da forma das encostas (CUNHA, 1991. p.87). Esses fatores devem ser analisados em conjunto e associados a outras características do substrato, como a litologia, as descontinuidades geológicas e pedológicas e as propriedades dos solos.

Os tipos de uso e ocupação do solo são considerados pela maioria dos autores como responsáveis pelo desencadeamento e/ou a aceleração dos processos erosivos nas encostas. As práticas agrícolas e de manejo de solo inadequados provocam a intensificação dos processos erosivos, pela exposição, remobilização e desagregação dos solos, e a alteração do escoamento superficial. A urbanização impõe modificações sérias no sistema de drenagem superficial e subsuperficial, que aceleram os processos erosivos nas encostas e nos vales fluviais, através de desmatamentos, aterros, impermeabilização dos solos, canalizações que subestimam o potencial hidráulico das drenagens, e construção de estradas e de reservatórios.

2.5 AÇÕES INSTABILIZADORAS

Pode ocorrer em talude de corte e aterro, de forma localizada, conhecida como voçoroca, e interna em aterros, conhecida como piping. Causa deficiência na drenagem e na proteção superficial.

As principais ações instabilizadoras são, segundo Cunha (1991. p.61):

- a) Escorregamento devido à inclinação: ocorre quando a inclinação do talude excede aquela imposta pela resistência ao cisalhamento do maciço e nas condições de presença de água.
- b) Escorregamento por descontinuidade: O contato solo-rocha constitui, em geral, uma zona de transição entre esses materiais. Quando ocorre um contraste de resistência acentuado entre eles, com inclinação forte e, principalmente, na presença de água, a zona de contato pode condicionar a instabilidade do talude. Ou seja, não há uma ligação forte entre o solo com a rocha, ocasionando o escorregamento.
- c) Escorregamentos por percolação de água: são registrados nos períodos de chuva quando há elevação do nível do lençol freático ou, apenas, por saturação das camadas superficiais de solo.

d) Escorregamento em aterro: podem ocorrer nas laterais do aterro, devido à má compactação, mas, geralmente, de pequenas proporções. O material solto tende a escorregar e, se não houver tratamento, poderá evoluir por erosão.

2.6 OBRAS DE ESTABILIZAÇÃO

As obras para estabilização dos taludes visam diminuir o risco ao desastre. A proteção a ser utilizada depende da análise do(s) processo(s) ocorrente(s), constituindo-se em ações que vão desde a sua proteção superficial, através de revestimento e/ou drenagem superficial, até em obras de retaludamento ou de estrutura de contenção.

A proteção superficial envolve um conjunto de cuidados ao nível da superfície do terreno, com a finalidade de preservá-la das ações externas (principalmente águas pluviais, que resultam no desenvolvimento de processos erosivos), ou mesmo de fenômenos intrínsecos ao seu material constituinte (composição e forma do talude, que resultam no desenvolvimento de processos de escorregamento; presença de argila expansiva, que induz a desagregação superficial da rocha/solo; fluxo de água subterrânea, provocando erosão interna ou piping, dentre outros) (CUNHA, 1991. p.56).

Esta proteção pode ser artificial ou natural. Entre os revestimentos artificiais, encontramos: Revestimento com muro de alvenaria armada; cortes em solos rochosos, criando uma superfície plana e inclinada; reforçamento do solo com a introdução de elementos resistentes na massa de solo, com a finalidade de aumentar a resistência do maciço como um todo e compactação de aterro visando reduzir sua permeabilidade, prevenindo a erosão e o escorregamento (GERSCOVICH, 2012. p.33).

A proteção natural utiliza cobertura constituída por gramíneas e vegetação arbórea na proteção de taludes. A seguir serão apresentadas informações importantes para o uso deste tipo de proteção e sobre os tipos de gramíneas utilizados para este fim (CUNHA, 1991. p.54).

2.7 REVESTIMENTO VEGETAL

Entre as funções do revestimento vegetal, podemos citar: atenuação do choque das chuvas sobre o solo, reduzindo a erosão; redução da infiltração das águas, permitindo que grande parte escoe sobre as folhas; proteção da porção superficial do solo da erosão, em decorrência da trama formada pelas raízes. Além de reduzir a infiltração das águas, o revestimento vegetal contribui para amenizar a temperatura local e criar um ambiente visualmente mais agradável (GUIDICINI, 1984. p.77).

Algumas encostas que tiveram sua cobertura natural removida podem sofrer deslizamentos ou erosão, oferecendo risco para redes viárias, gasodutos, linhas de transmissão e outros equipamentos públicos. A recomposição da vegetação de maior porte é, muitas vezes, indicada para restaurar a mata natural, melhorando as condições de estabilidade pela presença das raízes e para proteger o solo da erosão e infiltração excessivas (GUIDICINI, 1984. p.72).

Um importante efeito mecânico da vegetação é a estruturação do solo através do sistema radicular. O sistema formado pelo entrelaçamento das raízes retém o solo, inserindo-se em espaços vazios, agregando grânulos, seixos e até blocos maiores aos materiais mais finos, com um efeito importante sobre a resistência ao cisalhamento dos solos (LEMES, 2001. p.80).

Ensaio de cisalhamento “in situ”, realizados em blocos moldados em solos contendo raízes vivas (LEMES, 2001. p.88), mostraram um incremento de resistência diretamente proporcional à densidade das raízes existentes. Com a morte da camada vegetal, esse efeito cessa gradualmente (4 a 5 anos), pela decomposição das raízes. No caso de árvores de grande porte, o efeito mecânico principal é o de alavanca, como resultado da ação da gravidade, combinado à ação dos ventos mais fortes.

2.7.1 Recomendações técnicas

Carvalho et. al.(1993. p.40). Fazem as seguintes recomendações com referência ao revestimento natural de taludes:

1- Adotar, para o revestimento dos taludes próximos às moradias, gramíneas de menor porte, a fim de evitar ninhos de animais nocivos; em taludes muito próximos da casa, usar preferencialmente revestimentos cimentados.

2- Adotar a recomposição vegetal nativa nas áreas desmatadas, em encostas íngremes e em áreas não edificáveis, interditadas à ocupação, adotando práticas de plantio de mudas ou lançamento de sementes.

3- Sugerir sempre o corte (e destoca) das touceiras de bananeiras em taludes inclinados ou próximas a depósitos de lixo.

4- Erradicar as árvores de grande porte no terço superior da encosta, particularmente as que já se apresentam inclinadas.

As árvores situadas no pé da encosta, que podem funcionar como barreira vegetal, devem ser mantidas. Árvores nos patamares, afastadas da borda da encosta, geralmente não oferecem risco.

5- Sugerir ou induzir (através da doação de mudas) o plantio de frutíferas de pequeno porte, como pitanga, acerola, goiaba, que não oferecem perigo nas encostas e representam fonte alimentar.

Árvores de grande porte devem receber atenção especial. Árvores como coqueiros, mangueiras e jambeiros, em encostas de alta declividade devem ser erradicadas, podendo ser substituídas por outras de pequeno e médio porte, como pitangueiras, aceroleiras e goiabeiras, mais compatíveis com as condições topográficas do lugar.

Os patamares mais extensos e estáveis suportam, sem maiores problemas, as árvores frutíferas de grande porte, comuns nos morros. Árvores inclinadas, mesmo que ligeiramente, podem ser um sinal de movimentação da encosta, devendo ser imediatamente erradicadas, a fim de reduzir as trações sobre a massa de solo. Quando começam a sofrer inclinação (os coqueiros mostram bem esse problema), formam-se curvaturas no tronco, pela tendência a retomar a posição vertical.

As bananeiras, tão comuns nas paisagens dos morros, embora pertençam à família das herbáceas, têm um efeito muito negativo quando instaladas em encostas. Desenvolvem-se sobre colúvios (porções de solo e detritos acumulados numa encosta, por perda de massa ou erosão superficial) ou aterros não compactados, geralmente com a presença de lixo orgânico, aproveitando a boa porosidade e permeabilidade desses depósitos para

acumular grandes volumes de água, de que necessitam para o seu metabolismo.

São particularmente exuberantes as bananeiras nascidas próximas a fossas e locais de lançamento de águas servidas. Suas raízes não cumprem o papel de estruturação dos solos desempenhado por outros vegetais, sendo comumente responsáveis pelo arrastamento desses solos durante os deslizamentos.

2.7.2 Técnicas de revestimento vegetal

A revegetação ou cobertura vegetal dos solos expostos é o processo natural para se atingir os efeitos desejados na reabilitação ambiental destas áreas afetadas, especialmente, quando a estrutura fértil do solo é quebrada pelas atividades da construção, tornando-se cada vez mais infértil, à medida que se aprofundam as caixas de empréstimo e os taludes dos cortes ou jazidas concentradas de solos, onde os mesmos são bastante ácidos e tóxicos pela presença do alumínio, ferro e outros metais (COUTO *et. al.*, 2010. p.55).

O sistema radicular da revegetação (herbácea, arbustiva e arbórea) quebra a estrutura compacta e densa do solo, funcionando como mecanismos que regeneram a vida no solo estéril, especialmente, pelo constante estado de renovação das raízes, onde a morte de algumas induz a germinação de outras, promovendo a adubação da estrutura do solo. Este ciclo de substituição incorpora ao solo boa quantidade de nutrientes que alimentam as raízes novas, promovendo a fertilidade do solo. As leguminosas têm por finalidade sustentar estas últimas nas necessidades de nitrogênio através de fixação simbiótica (COUTO *et. al.*, 2010. p.61).

O método de plantio de herbáceas através da consorciação das gramíneas e leguminosas, com o sistema radicular bastante expansivo, produz grande quantidade de matéria orgânica, aumentando no solo a capacidade de retenção do oxigênio e da água das precipitações pluviométricas. Além do mais, este revestimento funciona como anteparo natural da incidência solar e a quebra da velocidade das gotículas da chuva, protegendo a estrutura do solo do processo erosivo, devido ao carreamento do mesmo ou a variação brusca de temperatura (CARVALHO *et. al.*, 1993. p.38).

A reabilitação ambiental, através do revestimento vegetal herbáceo descrito acima, se complementa com o arbustivo e o arbóreo, sendo considerado o

processo mais eficiente para recuperação da bioestrutura do solo, associado à ornamentação das áreas e ao sustento da flora e da fauna do entorno (CARVALHO *et. al.*, 1993. p.39).

Os solos, de modo geral, apresentam baixa fertilidade, com deficiências generalizadas de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, enxofre, boro, manganês e zinco, em especial os taludes dos cortes, exigindo naturalmente a análise edáfica e pedológica dos solos e subsolos, objetivando caracterizar o aspecto da fertilidade e granulometria, através de ensaios sobre a toxidez e acidez dos mesmos, corrigindo-os por meio de calcário dolomítico e adubos minerais (COUTO *et. al.*, 2010. p.63).

Na elaboração do detalhamento do projeto ambiental deve-se realizar uma pesquisa sobre a análise edáfica e pedológica dos solos nos trechos em pauta, com o objetivo de verificar as deficiências de nutrientes do solo e se recomendar as dosagens de adubação necessárias para as espécies vegetais indicadas ao projeto de revegetação.

Segundo Greenfield (1989. p.48).

O revestimento vegetal tem efeito positivo sobre o meio ambiente, proporcionando as seguintes vantagens:

- Proteção dos perfis de aterro ou de corte contra a erosão, através da redução do transporte de sedimentos obtidos pelas raízes, que agregam partículas d'água e aumentam a resistência do solo. Os caules das plantas aumentam a rugosidade, reduzindo a energia potencial do fluxo d'água;
- Recomposição do meio ambiente em relação à água, ao ar, à fauna, à flora e ao solo, estabelecendo condições favoráveis à vida animal e vegetal e recuperação ou reintegração da paisagem circundante;
- Redução do run-off, através do aumento da infiltração no solo, devido às raízes das plantas, inclusive, crescendo o tempo de infiltração, favorecido pela porosidade;
- A cobertura vegetal reduz a desagregação das partículas devido ao choque das gotas de chuva sobre as áreas nuas do solo, reduzindo a erosão laminar e orientando-se a seleção para plantas de folhas curtas e espessas com raízes profundas.

2.8 FATORES AMBIENTAIS NO REVESTIMENTO VEGETAL

A recuperação vegetal está na dependência direta de fatores ambientais muito diversos, o que exige conhecimento mais acurado desses agentes.

Estes fatores afetam de modo relevante a adequada seleção das espécies vegetais para a reabilitação ambiental e a proteção do solo almejada, sendo os principais a seguir nomeados.

2.8.1 Fatores climáticos

De acordo com Lemes (2001. p.104), o clima de cada região onde será realizado o trabalho de recuperação vegetal tem influência fundamental na determinação da época do plantio, assim como a tolerância aos períodos de seca, às geadas, déficits hídricos da região, precipitação anual, temperaturas médias anuais e umidade relativa na escolha dos processos e das espécies vegetais que serão utilizadas.

Dentre os fatores climáticos a serem observados na elaboração do projeto propriamente dito, deve-se dar importância especial à incidência pluviométrica. Isso porque, se as precipitações pluviais são necessárias à implantação das mais variadas espécies vegetais nas faixas de domínio, o seu conhecimento é indispensável. Portanto, a época das chuvas, sua intensidade, sua duração e o espaçamento entre os períodos de precipitação determinam exatamente os tipos de plantio a adotar, se há necessidade de proteção, a quantidade de regas e sua frequência.

2.8.2. Fatores edáficos

Para Lemes (2001. p.52), Estes fatores respondem pela adaptação das espécies às condições locais sendo, portanto, necessário conhecer os solos da região e sua estrutura com as seguintes informações: pH, fertilidade natural, salinidade, toxidez, textura, drenagem natural e matéria orgânica.

A natureza e o estado do solo são responsáveis pelo maior ou menor dano ambiental apesar de condições climáticas e topográficas adversas atuantes.

A resistência do solo ao dano ambiental depende qualitativamente, segundo Gerscovich (1989. p.37), dos seguintes condicionantes:

- Da granulometria do solo, sendo, entretanto, observadas areias muito finas e também algumas rochas alteradas como muito erodíveis;
- Da compactação do solo, cuja influência provém do aumento de coesão e do ângulo de atrito interno, de modo que a camada superficial de vegetação assume uma função protetora importante, devido à sua alta coesão;
- Da composição química do solo e, também, da água de escoamento (aqui também o revestimento vegetal tem papel preponderante) em meio ácido; os colóides do solo têm tendência a flocular, modificando a estrutura do mesmo;
- Da estrutura física retratada na permeabilidade do solo, que facilitará a ação da água, pois o solo sendo heterogêneo, a água penetrará mais facilmente nas fissuras e as partes fracas devem desagregar em profundidade e o solo atacado deve ser erodido muito mais depressa do que um solo homogêneo de mesma coesão inicial;
- Do estado da superfície, cujas irregularidades aumentam as possibilidades de erosão pela criação de passagens privilegiadas, percebendo-se a importante tarefa destinada às equipes de conservação na luta contra a erosão.

Ainda segundo Gerscovich (1989. p.41), a pedologia do solo tem grande influência sobre o desenvolvimento das espécies vegetais, em especial os solos em região tropical, podendo-se tomar, de modo indicativo e geral, o comportamento de cada camada ou nível, com respeito à revegetação (estabelecimento de uma nova cobertura vegetal em áreas que perderam ou tiveram sua cobertura original degradada), conforme o seguinte:

- Nível A: Constituído de solo orgânico e divide-se em Níveis A1 e A2, sendo o Nível A1 de comportamento bom, com húmus e nutrientes para o sustento das plantas, mas a camada é geralmente de pouca espessura (variando em torno de 0,10 m), e o Nível A2, constituído de solo lavado tipo eluvial (argila pura ou arenosa e areia), com comportamento razoável, mas muito variável segundo o tipo de solo, tornando-se pior quando a fração arenosa aumenta.
- Nível B: Constituindo-se de argila compactada e laterítica (solos ricos em compostos de ferro), de modo geral com boa atuação e suporte para as plantas.

- Nível C: Constituído por rocha alterada, sendo as alterações crescentes de baixo para cima e tendo um comportamento excessivamente ruim, sobretudo no solo muito evoluído.
- Nível D: Constituído pela rocha mãe.

2.9 SELEÇÃO DAS ESPÉCIES VEGETAIS

São citados a seguir, de acordo com Coelho (2007. p.42), alguns fatores determinantes na coleção de espécies vegetais:

- a) Longevidade: A longevidade depende do objetivo temporário ou definitivo da revegetação, podendo-se selecionar as espécies vegetais anuais, bianuais, perenes, de ciclo de vida curto ou longo.
- b) Produção de biomassa: Este fator dependerá do nível de matéria orgânica desejado no solo, o nível de recobrimento e a profundidade necessária das raízes para a estabilidade das encostas e taludes.
- c) Efeitos paisagísticos: Este fator retrata a necessidade de se obter alto índice de crescimento das espécies vegetais, em especial na criação de tufos de vegetação e vegetação rasteira.
- d) Fixação de Nitrogênio no solo: É o fator necessário para os solos estéreis que necessitam de melhoria dos níveis de nitrogênio, o qual é obtido no desenvolvimento das leguminosas.
- e) Palatabilidade da fauna: Como suprimento alimentar da fauna podem ser selecionadas espécies vegetais que fornecem frutos, grãos e pastagem.
- f) Dormência das sementes: Buscando-se épocas diferentes para a germinação, em particular, a competitividade inicial entre plantas. Podem ser selecionadas sementes com dormência, vigor, resistência a pragas e doenças.
- g) Biodiversidade: Objetiva-se, através deste fator, o uso de grande variedade de espécies vegetais, que contribui para aumentar a biodiversidade, com a oportunidade atrativa para pássaros e animais silvestres. Pelo plantio de espécies vegetais de porte diferente e a consorciação de gramíneas e leguminosas, busca-se a sustentabilidade da vegetação e o favorecimento da biodiversidade.

2.10 REVESTIMENTO VEGETAL COM GRAMÍNEAS

A vegetação herbácea, popularmente conhecida como mato ou relva, onde se inclui grande parte das gramíneas (família vegetal que abrange diversas variedades de gramas, alguns capins, milho, cana-de-açúcar, entre outras), é o revestimento vegetal mais indicado para a proteção de taludes de corte ou encostas desmatadas para ocupação urbana (LEMES, 2001. p.74).

Em taludes que apresentem inclinações e/ou presença de solos áridos que impossibilitem o plantio de vegetação em curto espaço de tempo, recomenda-se a utilização do revestimento em grama armada com geossintético. Para evitar o deslizamento, a montagem das placas de grama armada deve ser feita no talude, de baixo para cima, fixando-as imediatamente com tela geossintética presa por grampos. Após a fixação da tela geossintética sobre o talude, pode-se adicionar terra vegetal para propiciar melhor desenvolvimento da grama aplicada (LEMES, 2001. p.71).

2.11 FORMAS DE PLANTIO DE GRAMÍNEAS

Em áreas de alto risco, interditadas para a ocupação, é também indicada a recomposição da vegetação natural com gramíneas. Dependendo das condições de acesso e segurança, pode ser feito o replantio através de mudas e sementes, ou através do lançamento aéreo de sementes, de espécies variadas da flora nativa, ou ainda por hidrossemeadura (GREENFIELD, 1989. p.54).

O processo revegetativo de plantio de gramíneas por mudas é um dos mais onerosos, justificando-se somente em função dos resultados almejados da espécie plantada. Enquadra-se nesta situação o plantio da Gramínea Vetiver (Vetiveria Zizanioides Nash) (GREENFIELD, 1989. p.66).

O mesmo não acontece com o capim quicuío da Amazônia e com o capim gengibre, que também se propagam por sementes (GREENFIELD, 1989. p.65).

3 USO DE GRAMÍNEAS NO CONTROLE DA EROSÃO

Para este trabalho foram pesquisados casos em que as gramíneas: capim vetiver (*Vetiveria zizanioides*), capim quicuío da Amazônia (*Brachiara humidicola*) e capim gengibre (*Paspalum maritimum*) foram usadas com a finalidade de vegetar áreas sujeitas à erosão. A seguir serão apresentadas as principais características e alguns exemplos de usos dessas gramíneas no combate à erosão.

3.1 CAPIM GENGIBRE (*Paspalum maritimum*)

3.1.1 Características do capim gengibre

O capim gengibre, *Paspalum maritimum*, pertencente ao grupo Paniculata, é uma espécie caracterizada por longos rizomas, atingindo uma altura que varia de 60 a 80 centímetros, sendo que, em ambiente favorável, pode atingir até um metro apresenta grande resistência ao fogo e ao pisoteio, desenvolvendo-se vigorosamente mesmo em solos pobres e secos, chegando a alastrar-se com rapidez pelos Terrenos circunvizinhos. Forma Boa pastagem, sendo apreciada pelo gado quando nova. Multiplica-se com grande facilidade, por sementes, mudas e pedaços de colmos (SMITH *et al.*,1982. p.32).

É uma espécie nativa do Brasil, sendo encontrada em abundância nos estados do Norte e do Centro. Ocorre desde a Venezuela até o Sul do Brasil. Foi coletada em bordas de mata e na restinga em solos arenosos (SMITH *et al.*,1982. p.35).

Carvalho, et al. (1993. P.41) afirma que o capim gengibre ocorre também em áreas de mangue banhadas pelas marés altas.

3.1.2 Utilização do capim gengibre no controle da erosão

Numa área localizada em uma fazenda na região serrana do Rio de Janeiro, município de Paty do Alferes, degradada pela cultura de cana-de-açúcar durante 35 anos, e, posteriormente, vegetada com gramínea forrageira (*Paspalum maritimum*) grama gengibre, Carvalho, et al. (1993. p.31) verificaram que, após sete anos, o horizonte superficial foi parcialmente

regenerado, tendo aumentado as disponibilidades de cálcio, magnésio, potássio e fósforo, além de ter elevado o pH e diminuído o teor de alumínio trocável. Para estes autores, a regeneração da camada superficial pode ser atribuída à renovação anual de boa parte do sistema radicular da gramínea. Essa decomposição ocorre principalmente nos primeiros 30 cm de solo. Raízes finas se aprofundam no perfil e penetram em camadas compactadas, facilitando a reciclagem de nutrientes para os horizontes de superfície. De maneira geral as raízes de gramíneas quando decompostas, melhoram o aporte de carbono nos horizontes superficiais, devido à baixa relação C/N, aumenta a porosidade, a capacidade de infiltração e a retenção de água.

Outra aplicação prática do capim gengibre foi a proteção de taludes às margens de canais no projeto de macrodrenagem na Bacia do Uma, como exemplifica a figura 01 (PMB, 2004. p.20).

A escolha desta espécie levou em consideração os seguintes critérios: boa resistência às condições de variação de nível d'água, adaptabilidade ao clima e solo, à sua rusticidade (capacidade de se expandir com pouca manutenção), à facilidade de manutenção (requer pouco tempo para o roçado), e a disponibilidade de mudas para a plantação (SILVA, 2004, p.80).



Fig 01 - Canal da Nova Marambaia revestido com capim gengibre.

Fonte: Foto em 28 de março de 2014

3.2 CAPIM QUICUIO DA AMAZÔNIA (*BRACHIARA HUMIDICOLA*)

3.2.1 Características do capim quicuiu da Amazônia

O capim quicuiu da Amazônia, *Brachiaria humidicola*, gramínea perene originária da África Equatorial, cresce espontaneamente na região da Amazônia, e apresenta como características: alta capacidade de adaptação a vários tipos de solos, especialmente, os de baixa fertilidade e com alto nível de umidade; Rebrotava vigorosa, mesmo com manejo baixo e intervalos pequenos de cortes sob pastejo; Apresenta estolões finos e fortes; É resistente ao pastejo e apresenta boa tolerância ao frio, à seca e ao encharcamento, podendo ser plantada em várzeas. Não tolera o fogo e produz pouca semente (até 50 kg/ha) (BOGDAN, 1977. p.354).

Adapta-se a solos com textura de franco à argilosos e com alto nível de umidade, podendo ser plantado em várzeas. Possui grande capacidade de adaptação a diferentes tipos de solos, especialmente, os de baixa fertilidade e com alto nível de umidade. Além de possuírem bom comportamento em solos ácidos, com alta saturação de alumínio e baixa fertilidade, em condições de livre crescimento, as pastagens de capim quicuiu da Amazônia alcançam em média 1 metro de altura (BOGDAN, 1977. p.356).

Esta gramínea apresenta uma velocidade de cobertura do solo bastante lenta, devido ao tempo relativamente longo de dormência de suas sementes e possui tolerância baixa ao fogo. No entanto, depois de estabelecido, sua alta capacidade de enraizamento, promove rápida cobertura do solo, protegendo-o e competindo com as pragas, proporcionando boa proteção contra a erosão dos solos. Seu principal atributo são os fortes estolões produzidos, seu baixo requerimento em fósforo, sua tolerância à seca, ao frio e ao sombreamento, e sua resistência a pragas e doenças (BOGDAN, 1977. p.357).

3.2.1 Utilização do capim quicuiu no controle da erosão

Uma aplicação prática do capim quicuiu no controle da erosão encontra-se na proteção de taludes às margens de canais no projeto de macrodrenagem na Bacia do Uma, como mostra a figura 02. A escolha desta espécie levou em

consideração os seguintes critérios: crescimento rápido e vigoroso, boa aclimatação às condições tropicais, boa resistência às condições de variação de nível d'água, adaptabilidade ao clima e solo, à sua rusticidade (capacidade de se expandir com pouca manutenção), à facilidade de manutenção (requer pouco tempo para o roçado), e à disponibilidade de mudas para a plantação (SILVA, 2004. p.80).



Fig 02 - Canal da Sacramento revestido com capim quicuiu.

Fonte: Foto em 28 de março de 2014

Outra aplicação prática do capim quicuiu no controle da erosão foi o revestimento de áreas na margem atlântica do Canal do Panamá (figura 03) (PANAMÁ, 2008. p.28).



Fig03x – revestimento de área na margem atlântica do Canal do Panamá com capim quicuiu.

Fonte: <http://airdesignstudio.blogspot.com.br>

3.3 CAPIM VETIVER (*Vetiveria zizanioides*)

3.3.1 Características do capim vetiver

Das três espécies de gramíneas pesquisadas para fins de controle da erosão em taludes, neste trabalho, o capim vetiver é o que apresenta uma maior quantidade de estudos, e é também muito utilizado em várias regiões do planeta, como se pode ver a seguir.

O capim Vetiver (*Vetiveria zizanioides*) se desenvolve formando uma barreira vegetal com múltiplas funções comprovadas cientificamente e em prática milenar, com destaque especial na retenção de sedimentos do solo transportados pela águas pluviais e na estabilização de encostas e taludes. A figura 04 mostra o mecanismo de estabilização de talude com o uso do capim Vetiver (GREENFIELD, 1989. p.54).

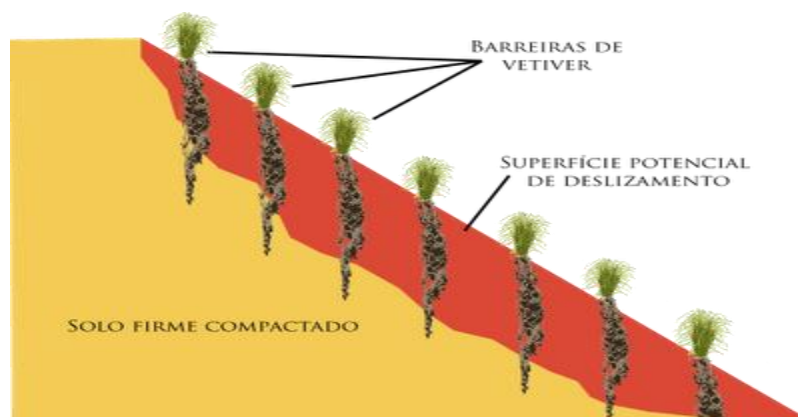


Fig 04 – Mecanismo de estabilização de talude com o uso do capim vetiver.
Fonte: www.vetiver.org.

Tendo como base Greenfield (1998. p.54-63), as características do Vetiver são apresentadas a seguir.

O capim Vetiver é uma gramínea perene, da família *Poaceae*, de porte médio, atingindo uma altura de até 1,5m, quando adulto. Apresenta raízes densas e de alta resistência, que atingem até 3,0m de comprimento, como mostra a figura 02, constituindo um sistema radicular agregante do solo.



Fig 05 - Detalhe da raiz do capim Vetiver .

Fonte: www.vetiver.org.

Adapta-se aos mais variados tipos de solo e clima. É tolerante a valores extremos de pH, salinidade, toxicidade e baixos índices de nutrientes no solo. Tolera índices pluviométricos entre 300 e 3.000 mm ao ano, e períodos de extremo déficit hídrico, por até cinco meses. Suporta temperaturas extremas entre – 9 a 50°C. Ocorre, sobretudo em regiões de clima tropical e subtropical. Além de resistir a rigorosos déficits hídricos, a geadas, ao fogo, aos alagamentos e ao pastoreio, esta gramínea não é uma planta hospedeira ou intermediária de pragas e doenças.

Trata-se de uma planta de crescimento ereto, que forma touceiras. Mas, ao contrário da maioria dos capins de touceiras, no capim vetiver uma planta cresce em direção a outra (biotactismo positivo), formando uma barreira vegetal viva.

É importante que as plantas usadas para fins da bioengenharia não se tornem uma erva daninha no ambiente local. Por não se reproduzir por sementes, estolões (gemas produzidas por vegetais que possuem caule subterrâneo, que são capazes de formar raízes e folhas e originar novas plantas) ou raízes, mas apenas por mudas, o vetiver é uma planta ideal para esta aplicação.

Apresenta ainda grande capacidade de sequestro de carbono, cerca de 5Kg/planta/ano.

Por tudo isso, é considerado uma planta ambientalmente correta pela ONU e Banco Mundial, sendo utilizada nas mais variadas partes do mundo.

3.3.2 Plantio e consorciação

O capim Vetiver consorcia-se com leguminosas. A importância dessa consorciação consiste no fato de que as leguminosas têm por finalidade sustentar as raízes novas do capim em suas necessidades de nitrogênio através de fixação simbiótica.

O plantio (Figs 06 e 07) deve ser feito, preferencialmente, em nível e em linhas transversais à declividade dos taludes ou áreas impactadas, distanciando uma linha da outra cerca de um a dois metros de desnível, dependendo da característica de erosibilidade e instabilidade do solo.



Fig 06 - formação de barreiras vivas de capim Vetiver transversalmente à declividade do talude. Fonte: www.vetiver.org.



Fig 07 - barreiras vivas de capim Vetiver retêm sedimentos evitando processo erosivo. Fonte: www.vetiver.org.

Recomenda-se o plantio de seis a oito plantas por metro linear, porque tendo o vetiver biotactismo positivo uma planta se aproxima da outra, formando uma barreira impedindo a passagem de sedimentos (retendo-os), formando terraços (figura 08) evitando erosão e assoreamento dos cursos d'água, tornando áreas estáveis e reaproveitáveis.



Fig 08 – À esquerda, corte transversal de barreira de capim Vetiver, destacando-se a formação de terraço natural. À direita, desenho esquemático: as folhas e os talos do capim Vetiver retardam o escoamento da água carregada de sedimentos (A), fazendo com que estes se depositem a montante da barreira de vetiver (B), e a água continue a escoar pelo talude (C), a uma velocidade menor. O sistema radicular esponjoso da planta (D) fixa o solo. Fonte: www.vetiver.org.

3.3.3 Vantagens e desvantagens do uso do capim vetiver

Vantagens

Agregam-se às vantagens identificadas acima, outras que serão descritas a seguir, de acordo com Madruga et.al. (2007. p.28):

- Formação de uma barreira densa e permanente para a contenção de enxurradas, prevenindo a formação de ravinas e voçorocas;
- Evita o colapso de dispositivos de drenagem, por erosões laterais, aumentando sua vida útil e reduzindo serviços de manutenção e conservação operacional;
- Reduz o tempo de recuperação de áreas degradadas, por sua capacidade de crescimento rápido, perenidade e resistência;
- Forma cerca viva não invasora, não hospedeira de pragas e doenças, de baixo custo, fácil implantação e reduzida manutenção;
- As barreiras de vetiver não são impermeáveis, reduzem a velocidade do escoamento, filtrando e regulando a passagem de água, evitando a formação de sulcos, ravinas e boçorocas com conseqüente perda de solos e assoreamento de drenagens;
- À montante das barreiras se forma uma capa de sedimentos geralmente de alta fertilidade. Conforme aumenta a espessura dos sedimentos, há um

incremento de fertilidade e umidade do substrato, formando-se terraços naturais.

Desvantagens

As desvantagens do uso do capim vetiver no combate à erosão, citadas por Greenfield (1989. p.53), são:

- É intolerante ao sombreamento, em particular na fase de estabelecimento;
- Só se torna eficaz depois que as plantas estiverem bem estabelecidas. O período de estabelecimento inicial em clima quente é cerca de 2-3 meses enquanto em climas frio próximo de 4-6 meses;
- Suas barreiras só são plenamente eficazes quando cultivadas em alta densidade;
- É difícil plantar e irrigar a vegetação em lugares muito altos ou em despenhadeiros nas encostas;
- Requer proteção contra o gado durante a sua fase de estabelecimento.

Com base nestas considerações, as vantagens do uso do sistema vetiver como uma ferramenta de Bioengenharia superam as suas desvantagens.

3.1.4 Utilização do capim vetiver no controle da erosão

Por suas vantagens na proteção de taludes, estruturas de drenagem e áreas de entorno de rodovias, contra processos erosivos e de assoreamento, o vetiver tem sido usado em várias regiões do mundo. Serão citados neste trabalho dois exemplos brasileiros.

Um caso, obtido no site www.vetiver.org, relata que, em uma propriedade rural, município de Petrópolis, Rio de Janeiro, uma encosta com área de 1800 m² e altura de mais de 70 metros, apresentou intenso processo erosivo, ameaçando o imóvel localizado próximo a sua base (figuras 09 e 10). As soluções propostas por especialistas envolviam custos muito altos. O proprietário realizou a drenagem do terreno e plantou mais de 9 mil mudas de capim vetiver. Dois anos após, a área estabilizada mostrou-se segura, mesmo quando, em 2010, ocorreram índices pluviométricos muito acima da média na região (figura 11).



Fig 09 - terreno com área exposta. Ano: 1994. Fonte: www.vetiver.org .



Fig 10 – mesma área após deslizamentos. Ano: 2008. Fonte: www.vetiver.org.



Fig 11 – mesma área recuperada e estabilizada com capim vetiver. Ano: 2010. Fonte: www.vetiver.org.

Buscando solução para os frequentes escorregamentos de encostas associados aos índices pluviométricos concentrados em determinados períodos do ano e à ocupação urbana acelerada nas últimas décadas, a prefeitura do município de Salvador executou a implantação do sistema vetiver de contenção de barreiras em duas áreas experimentais: a Avenida Luis Eduardo Magalhães (figura 12) e o Vale dos Barris (figura 13), pontos de grande fluxo de veículos em que, anualmente, lonas plásticas eram disponibilizadas para cobertura superficial e combate ao processo erosivo em períodos chuvosos, de forma paliativa (PMS, 2007. p.16).



Figura 12 – trecho da Av Luis Eduardo Magalhães com cobertura de vetiver. Fonte: www.cprm.gov.br



Figura 13 – trecho de Vale dos Barris com cobertura de vetiver.
Fonte: www.cprm.gov.br.

A figura 14 mostra um trecho da Avenida Luis Eduardo Magalhães antes do projeto de contenção com o sistema vetiver. Mostra também a utilização de lonas plásticas como forma paliativa para conter a erosão.



Figura 14 – escorregamento de talude de corte na Av Luis Eduardo Magalhães e uso de lonas plásticas para conter erosão.
Fonte: www.cprm.gov.br.

Os resultados alcançados demonstraram uma adequação do capim vetiver às condições dos solos, sem cuidados adicionais ao plantio, correspondendo ao descrito na literatura e revelando que o capim vetiver é uma alternativa viável para cobertura vegetal e combate a erosão superficial (PMS, 2011. p.25).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O meio mais simples e eficiente de proteção de taludes é o revestimento vegetal. A vegetação contribui para a estabilidade do solo, principalmente pelo aumento da resistência ao cisalhamento via reforço oferecido pelas raízes.

Taludes vegetados são mais resistentes contra movimentos de massa e erosão pela água. Na revegetação com gramíneas, destacam-se neste trabalho os capins: gengibre, quicuío da Amazônia e vetiver.

O uso destas gramíneas apresenta múltiplas aplicações a favor do ambiente: controla a erosão, funciona como filtro biológico, recarrega aquíferos, permite recuperar zonas marginais ou degradadas.

As barreiras formadas por esta vegetação controlam a velocidade de escoamento da água na superfície do terreno e suas raízes ajudam na estabilização do solo e na prevenção de deslizamentos cujos planos de instabilidade sejam inferiores a dois metros.

Todas as vantagens levantadas na pesquisa indicam que capins: quicuío, vetiver e gengibre são indicados para proteger e estabilizar taludes de cortes e de aterros, encostas naturais e sistemas de drenagem, apresentando uma relação benefício/custo positiva, e sendo uma solução duradoura.

5. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ARAUJO, G.; ALMEIDA, J.; GUERRA, A. **Gestão ambiental de áreas degradadas**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005.

BOGDAN, A. V. **Tropical pasture and fodder plants** – Grasses and legumes. London and New York. 1977. disponível em: <http://www.cnps.Embrapa.br/publicacoes/pdfs/bp182000leguminosas.pdf>. Acesso em dezembro de 2013.

BRASIL. RESOLUÇÃO CONAMA Nº 237/1997 - **Regulamenta os aspectos de licenciamento ambiental estabelecidos na Política Nacional do Meio Ambiente** - Data da legislação: 22/12/1997 - Publicação DOU nº 247, de 22/12/1997. disponível em <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res97/res23797.html>. Acesso em outubro de 2013.

CARVALHO, S. R.; DIAS, P. F.; ARONOVICH, S. **Importância de gramíneas forrageiras perenes na recuperação de solos degradados**. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 30., 1993, Rio de Janeiro. Anais. Niterói: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 1993. Disponível em <http://www.cnps.embrapa.br/publicacoes/pdfs/bp182000leguminosas.pdf> acesso em dezembro de 2013.

COELHO, A. T. **Efeitos da vegetação herbácea associada a técnicas de bioengenharia de solos no controle de erosão em margens de áreas de reservatório da UHE Volta Grande, nos municípios de Água Comprida/MG e Miguelópolis/SP**. Tese de Doutorado. Belo Horizonte, Universidade Federal de Minas Gerais, 2007.

COUTO, L.; GONÇALVES, W.; COELHO, A. T.; PAULA, C. C.; GARCIA, R. AZEVEDO, R. F.; LOCATELLI, M. V.; ADVÍNCULA, T. G. L.; BRUNETTA, J. M. F.; COSTA, C. A. B.; GOMIDE, L. C.; MOTTA, P. H. **Técnicas de Bioengenharia para Revegetação de Taludes no Brasil**. Boletim Técnico CBCN, Viçosa, n.1, 2010.

CUNHA, M.A. (Org.) – **Ocupação de encostas**. São Paulo. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. São Paulo. 1991.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Fertilidade de Solos**. Interpretação de resultados de análise do solo. 2000. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Milho/CultivodoMilho/feranalise.htm>. Acesso Outubro de 2013.

GERSCOVICH, D. **Estabilidade de Taludes**. 1.ed. Rio de Janeiro: Oficina de Textos, Rio de Janeiro. 2012.

GREENFIELD, J.C. **Capim Vetiver**: Uma planta ideal para a vegetação do solo e conservação da umidade. ASTAG -O Banco Mundial, Washington, DC, E.U.A. 1989.

GUIDICINI, G. **Estabilidade de Taludes naturais e de Escavação**. São Paulo: Editora da USP, 1984.

LEMES, M. R. T. **Revisão dos efeitos da vegetação em taludes**. Dissertação de Mestrado. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001.

MADRUGA, E. L.; SCHELE, E. L. ; SALOMÃO, F. X. T. **Uso do capim vetiver (sistema vetiver) na estabilização de taludes de rodovias, proteção de drenagens e de áreas marginais**. Depto. Eng. Civil da UFMT. Mato Grosso. 2007. Disponível em: [http://www.iwfplanet.com/arquivos/Pesquisa_Vetiver\(1\).pdf](http://www.iwfplanet.com/arquivos/Pesquisa_Vetiver(1).pdf). Acesso em outubro de 2013.

MARTINS, I. **Contribuições ao plano diretor do município de Teófilo Otoni – MG**. 2011. Monografia (Bacharelado em Ciência e Tecnologia) – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, 2011.

PARÁ. **Mapas médios climatológicos do estado do Pará**. Núcleo de Hidrometeorologia. Secretaria Executiva de Ciência e Tecnologia e Meio Ambiente do Estado do Pará – SECTAM. Núcleo de Hidrometeorologia – NHM. 2012. Disponível em www.cbmet.com/cbm.../22-762cad766c70d3a4452c4afd29decb7b.doc. Acesso em outubro de 2013.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BELÉM - PMB. Plano Diretor do município de Belém. 2004. Disponível em <http://www.belem.pa.gov.br/planodiretor/>. Acesso em outubro de 2013.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SALVADOR – PMS. **Plantio do Capim Vetiver - Projeto Piloto nas encostas da Cidade de Salvador - BA** Secretaria municipal dos transportes e infra-estrutura defesa civil de Salvador – CODESAL. Bahia. 2011. Disponível em <http://vetiverbr.blogspot.com.br/2012/08/plantio-do-capim-vetiver-projeto-piloto.html>. Acesso em novembro de 2013.

PANAMÁ. **Validation of the Implementation and y Adequateness of the Mitigation Measures for the Panama Canal Expansion Program - Third Set of Locks Project Panama Canal Authority ERM Mid-Year Report 001. December 2008. ERM Project: 0091551. Disponível em <http://www.pancanal.com/eng/expansion/rpts/anam/200812.pdf>. acesso em novembro de 2013.**

SILVA, Kleber R.M.. **A implantação de obras civis e de saneamento na bacia do Una em Belém do Pará e as condicionantes relacionadas às características geodésicas e geotécnicas**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Pará, Centro Tecnológico. Belém. Pará. 2004.

SMITH, T.I.J., D.E. Marchette and R.A. Smiley. **Life history, ecology, culture and management of Atlantic Sturgeon**. South Carolina Wildlife Marine Resources Department, Final Report to U.S. Fish and Wildlife Service Project AFS-9. South Carolina. 1982.

TRUONG, P.N. **Tecnologia do Capim Vetiver para a estabilização do solo, erosão e controle de sedimentos na região da Ásia-Pacífico.** Primeira Conferência Ásia-Pacífico de Bioengenharia da Terra e da Água para Controle de Erosão e Estabilização de Encostas. Manila, Filipinas, Abril de 1999.