

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

ANTÔNIO JOSÉ TADEU FIGUEIRÔA

**BIOENGENHARIA NA ESTABILIZAÇÃO DE TALUDES: AVALIAÇÃO
EXPERIMENTAL DA APLICAÇÃO DE TAPETES DE GRAMA E PÓ DE COCO**

RECIFE, 2018

ANTÔNIO JOSÉ TADEU FIGUEIRÔA

**BIOENGENHARIA NA ESTABILIZAÇÃO DE TALUDES: AVALIAÇÃO
EXPERIMENTAL DA APLICAÇÃO DE TAPETES DE GRAMA E PÓ DE COCO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Manejo Integrado de Água e Solo.

Orientador: Prof. Dr. Abelardo Antônio de Assunção Montenegro

Co-orientador: Prof. Dr. João Pedroso de Lima

RECIFE, 2018

ANTÔNIO JOSÉ TADEU FIGUEIRÔA

**BIOENGENHARIA NA ESTABILIZAÇÃO DE TALUDES: AVALIAÇÃO
EXPERIMENTAL DA APLICAÇÃO DE TAPETES DE GRAMA E PÓ DE COCO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre.

Aprovada em 23/02/2018

Prof. Dr. Abelardo Antônio de Assunção Montenegro
Departamento de Engenharia Agrícola – UFRPE
Orientador

Prof. Dr. José Amilton Santos Júnior
Departamento de Engenharia Agrícola – UFRPE
Conselheiro interno

Prof. Dr. Demétrius David da Silva
Departamento de Engenharia Agrícola – UFV
Conselheiro externo

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Maria do Carmo e Antônio Figueirôa

In memoriam

À minha companheira Cristina

Aos meus filhos Daniel, Maria Luisa e Maria Isabel

AGRADECIMENTOS

A Deus pela existência da vida e à espiritualidade amiga pelo apoio e encorajamento sempre;

Aos familiares pelo incentivo na busca pelo crescimento profissional e acadêmico;

Aos amigos que partilhamos momentos de aprendizados e apoio mútuo: Iug Lopes pela ajuda na construção desse trabalho; Thayná Almeida pela colaboração nas análises laboratoriais; Ailton Alves pelo auxílio na construção do mapa; José Edson Morais pelos dados meteorológicos;

A todos os alunos do mestrado e doutorado do DEAGRi que compartilharam seus conhecimentos e pelo apoio essencial.

A todos que direta e indiretamente auxiliaram e colaboram na elaboração desta dissertação.

Ao Prof. Dr. João Pedroso de Lima da Universidade de Coimbra pelo incentivo, análise e contribuição na elaboração dessa pesquisa;

Ao Prof. Dr. Abelardo Antônio de Assunção Montenegro pela orientação.

Ao CNPq, pelo apoio financeiro ao Projeto.

RESUMO

FIGUEIROA, Antonio José Tadeu. Bioengenharia na estabilização de taludes: avaliação experimental da aplicação de tapetes de grama e pó de coco. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE.

A estabilização de taludes é fundamental para o êxito de diversos tipos de obras e possui implicações relevantes no sentido de prevenir acidentes decorrentes de deslizamentos de terra. Neste sentido, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho de grama esmeralda (*Zoysia japonica*) associada ou não com pó de coco em diferentes técnicas de plantio para estabilização de solo em talude de corte. Para tal, foram implantados os seguintes tratamentos: (TH) gramado em tapetes horizontais; (TVP) gramado em tapetes verticais + pó de coco; (TV) gramado em tapetes verticais; com duas réplicas de cada tratamento e uma parcela controle (TC). Os parâmetros avaliados foram padrão de chuva, escoamento superficial, sedimentos totais e erosão. O padrão pluviométrico predominante foi o atrasado (45%), seguido pelo padrão avançado (36%) e intermediário (19%) com precipitação total de 465,9 mm e intensidade máxima de 30,0 mm/h. O escoamento foi de 58,51% no TC, 28,53% no TV, 28,16% no TH e 16,31% no TVP. A perda de sedimento foi de 56,12% no TC, 0,41% no TH, 0,37% no TV e 0,23% no TVP. A erosão aferida por pinos apresentou média de 2,4 mm no TC, 1,2 mm no TH, 0,8 mm no TV e 0,7 mm no TVP. O resultado demonstra que no solo desprotegido ocorre significativa perda de sedimento, enquanto que as coberturas vegetais garantem a integridade do solo e o tratamento com maior eficiência foi o tratamento de tapetes verticais com pó de coco (TVP).

Palavras-chave: Erosão de talude; Escoamento superficial; Grama esmeralda; *Zoysia japonica*; Via Transrural; Aproveitamento de resíduos.

ABSTRACT

FIGUEIROA, Antonio José Tadeu. Bioengineering in slope stabilization: experimental evaluation of grass rugs and coconut powder application. 2018. Dissertation (MSc. in Agricultural Engineering) - Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE.

Slope stabilization is critical for the success of various types of constructions and has significant implications for the prevention of landslide accidents. In this sense, the present work had as objective to evaluate in experimental plots installed in slope the performance of the emerald grass (*Zoysia japonica*) associated or not with coconut powder in different planting techniques. For this, the following treatments were implanted: (TH) grass horizontally placed rugs; (TVP) grass vertically placed rugs with application of coconut powder; (TV) grass vertically placed rugs; with two replicates and one control plot (TC). The parameters evaluated were rainfall, runoff, sediment loss and erosion pins. The predominant rainfall pattern observed during the experimental work was delayed (45%), followed by the advanced pattern (36%) and intermediate (19%) with a total of 465.9 mm and a maximum intensity of 30.0 mm/h. The flow was 58.51% on TC, 28.53% on TV, 28.16% on TH and 16.31% on TVP. Loss of sediments was 56.12% on TC, 0.41% on TH, 0.37% on TV and 0.23% on TVP. The erosion measured with pins had a mean of 2.4 mm in the TC, 1.2 mm in the TH, 0.8 mm in the TV and 0.7 mm in the TVP. The results show that in the unprotected soil there is a significant loss of sediment, while the vegetation cover guarantees the integrity of the soil and the treatment with greater efficiency was the grass rugs installed with coconut powder.

Keywords: Slope erosion; Slope stability; Emerald grass; *Zoysia japonica*; Transrural road; Residue application.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	09
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
2.1 Controle da erosão em taludes de corte	11
2.2 Técnicas de proteção de taludes utilizando bioengenharia	13
2.3 Aspectos gerais da grama-esmeralda	18
2.4 Utilização de substrato de pó de coco na proteção do solo	19
2.5 Métodos de aferição no monitoramento de perda de solo	21
3. OBJETIVOS	24
3.1 Objetivo Geral	24
3.2 Objetivos específicos	24
4. MATERIAL E MÉTODOS	25
4.1 Área de estudo	25
4.2 Drenagem do talude	26
4.3 Unidades experimentais (parcelas)	26
4.4 Delineamento experimental e tratamentos	27
4.5. Variáveis analisadas	28
4.5.1 Monitoramento das variáveis meteorológicas.....	28
4.5.2 Volume de água escoada e perda de solo	29
4.5.3 Capacidade de absorção de água pelo pó de coco	29
4.5.4 Determinação da erosão por pinos	30
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
5.1 Caracterização da chuva	31
5.2 Escoamento resultante das precipitações	32
5.3 Coeficiente de escoamento superficial.....	35
5.4 Perda de solo nas parcelas	37
5.5 Determinação de erosão através de pinos	40
6. CONCLUSÕES	45
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	46

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	Mapa localizando a área do talude e fotografia das parcelas experimentais.....	26
Figura 2:	Talude e sistema de drenagem vertical em escada e horizontal em calha.....	27
Figura 3:	Detalhe do sistema de drenagem (caixa coletora conectando a calha com a drenagem da via transrural)	27
Figura 4:	Foto da unidade experimental construída no platô basal do talude conectada ao reservatório de acumulação. Acima da parcela visualiza-se o pluviômetro.....	28
Figura 5:	Tratamentos aplicados nas unidades experimentais, da esquerda para a direita: (TVP) Tapetes Verticais de grama esmeralda + Pó de coco; (TV) Tapetes Verticais de grama esmeralda; (TH) Tapetes Horizontais de grama esmeraldas e (TC) Tratamento Controle.....	29
Figura 6:	Parcela experimental de Tratamento Controle (TC) com a distribuição dos pinos de erosão.....	31
Figura 7:	Relação entre o escoamento e as precipitações pluviométricas para cada tratamento aplicado nas parcelas de estudo.....	34
Figura 8:	Escoamento acumulado (mm) e precipitação acumulada (mm) para todos eventos estudados nos diferentes tratamentos	35
Figura 9:	Boxplot para os dados de escoamento nos diferentes tratamentos adotados	36
Figura 10:	Relação entre precipitação e o coeficiente de escoamento por tratamento.....	37
Figura 11:	Sedimentos acumulados (kg) e precipitação acumulada (mm) por tratamento nos eventos estudados	39
Figura 12:	Boxplot do sedimento total por tratamento	37
Figura 13:	Deslocamento acumulado (mm) de solo aferidos no monitoramento de pinos para os tratamentos TC, TH, TV e TVP no período de 15/06/17 a 07/09/17.....	38
Figura 14:	Boxplot do deslocamento de solo acumulado por tratamento e área de distribuição dos pinos	43

1. INTRODUÇÃO

Os impactos ambientais decorrentes das atividades humanas são cada vez mais preocupantes, pois resultam em modificações na paisagem com eventual degradação do solo. Com a finalidade de minimizar este fato, estabilizar os processos erosivos e amenizar o aspecto visual negativo causado por atividades antrópicas são realizadas obras de drenagem, geotecnia, terraplenagem e implantação de revestimento vegetal no solo (CARVALHO, 1991; SOUZA; SEIXAS, 2001; COUTO et al., 2010).

Muitas vezes a construção de estradas, assim como outras obras, exigem movimentação de terras, o que pode resultar em taludes que estão sujeitos às intempéries e às oscilações de temperatura e umidade, dificultando o estabelecimento de cobertura vegetal e, conseqüentemente, a recuperação ambiental do local afetado. Para muitos desses taludes é necessário elaborar e implantar projetos de recuperação de áreas degradadas, incluindo medidas mitigadoras e reconstrução topográfica para manter a estabilidade e evitar problemas erosivos (COUTO et al., 2010; MEGALE, 2011).

Diversas técnicas para estabilização de taludes contemplam o uso de elementos vivos na engenharia tradicional, sendo denominadas de bioengenharia de solos. Estas operações apresentam baixo custo de implantação e técnicas simples de instalação e manutenção, se adequando à paisagem e às características ambientais, e por isso, têm encontrado largo campo de aplicação (SUTILI; DURLO; BRESSAN, 2004; ARAÚJO-FILHO, HOLANDA; ANDRADE, 2013).

A bioengenharia de solos, conhecida como engenharia natural, utiliza materiais vegetais vivos ou inertes, em combinação com materiais de suporte natural ou sintético (LEWIS, 2000), como rochas, madeiras (CAMPBELL, 2008), concretos, polímeros e mantas confeccionadas com fibras vegetais, que são chamados de geotêxteis ou biomantas (GRAY; SOTIR, 1996). A técnica proporciona o aumento da resistência do solo em diversas condições de declividade e granulometria (DURLO; SUTILI, 2005) na estabilização de solos e no restabelecimento da vegetação (USDA–NRCS, 2007).

As técnicas de bioengenharia de solo são aplicadas em taludes para reduzir e controlar a erosão superficial e restringir o movimento de massa do solo. Elas podem ser executadas separadamente ou associadas aos métodos convencionais (CAMPBELL, 2008). As principais técnicas de bioengenharia de solo utilizam estacas ou feixes vivos; drenos, paredes, gabiões de pedras ou geogrelhas vegetados; ramos envelopados; manta de arbustos; barreiras vivas; espigão com árvores; paliçadas vivas; hidrossemeadura; geossintéticos e retentores de sedimentos (ARAÚJO-FILHO, HOLANDA; ANDRADE, 2013).

Existem trabalhos nas áreas de engenharia civil, agrônômica, florestal, geotecnia, dentre outras, que tratam da utilização de vegetação na proteção e recuperação de taludes. Diversos estudos realizados visando a redução dos processos erosivos no solo focaram no aprimoramento de técnicas mais avançadas e sustentáveis (SOUZA FILHO, 2014), enquanto outros trabalhos estudaram a resistência ao cisalhamento de acordo com o tipo de solo, grau de intemperismo e influência de minerais, destacando-se os de Silva e Cabeda (2005), Rocha et al. (2002), Silva e Carvalho (2007) e Silva et al. (2004).

A revegetação de taludes protege o solo contra o impacto direto da chuva, permite a estabilização da área pelo sistema radicular da planta, cria um ambiente com deposição de matéria orgânica, troca de energia, nutrientes e água. Entre as gramíneas utilizadas em taludes tem-se a grama esmeralda que foi estudada por Castro (2007) e Coan (2012).

A crescente utilização de compostos orgânicos como substrato reflete a necessidade de práticas agrícolas sustentáveis com menor impacto ambiental. O pó de coco é um excelente material orgânico para formulações de substratos devido as suas propriedades de retenção de água, aeração do meio de cultivo e estimulador do enraizamento (NUNES, 2000).

Dessa forma, este trabalho avalia diferentes técnicas de plantio da grama esmeralda, com presença ou ausência do substrato de pó de coco, visando avaliar a eficiência e custo-benefício na estabilização de talude, contribuindo para a difusão desta temática e sua aplicabilidade na engenharia civil.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Controle da erosão em taludes de corte

Os taludes de corte resultantes da construção de estradas e rodovias normalmente ocasionam supressão de cobertura vegetal e de camadas do solo, provocando impactos nos atributos ambientais (LIMA et al., 2014) e comprometendo a estabilização e recuperação dessas áreas (CARDOSO et al., 2009). Dessa forma, os danos devem ser minimizados a partir de sistema de drenagem adequado e da proteção do solo para evitar a erosão superficial. A eficiência do tratamento adotado está relacionada com o tipo da proteção, o tempo de aplicação de qualquer medida, a inclinação do talude e a taxa de erodibilidade do solo (MELLONI et al., 2016).

A erosão do solo está relacionada com vários fatores intrínsecos e extrínsecos, entres os quais, a fragmentação mecânica, a decomposição química, o desgaste da superfície decorrente da remoção e transporte de grãos minerais devido ao intemperismo provocado pela água ou vento (KELLEY, 1990). Também influenciam a declividade do terreno, uso do solo, vegetação e características intrínsecas do solo, tais como capacidade de infiltração, coesão, conteúdo orgânico, textura e conteúdo de umidade (SOUZA; SEIXAS, 2001; BIGARELLA; BECKER; SANTOS, 2007; ARAUJO; ALMEIDA; GUERRA, 2010).

A desagregação do solo por erosão hídrica ocorre a partir do impacto das gotas de chuva e do escoamento superficial da água (CARVALHO, 1994; BIGARELLA; BECKER; SANTOS, 2007). Navarro (2011) destaca que a melhor forma para evitar a erosão de solo é a aplicação de cobertura vegetal devido à proteção contra a incidência direta das precipitações de chuva, bem como pela redução da quantidade e velocidade do escoamento superficial, minimizando a erosão. Negishi et al. (2006) também demonstraram que a recuperação natural da superfície de taludes em estradas deve iniciar com a revegetação da área.

A hidrodinâmica possui papel significativo na instabilização de taludes, visto que o aumento da umidade reduz a coesão do solo. Assim, é comum que em épocas de chuva ocorra a intensificação de processos erosivos e movimentos de massa (GUIDICINI; NIEBLE, 1976; ROCHA, 2003).

Parte da água precipitada escoar superficialmente e outra parte infiltra no solo, assim, nos períodos de maior precipitação ocorre aumento gradativo da umidade no solo relacionada ao grau de saturação e à condutividade hidráulica. Quando a água encontra barreira para o escoamento, o seu acúmulo gera um aumento de pressão e diminui a resistência ao cisalhamento nesse ponto. Além disso, caso a água entre nos planos de descontinuidade do maciço, as tensões solicitantes nesse ponto aumentam, afetando a estabilidade da encosta (BIGARELLA; BECKER; SANTOS, 2007; ROCHA, 2003).

A saturação do solo também diminui sua capacidade de infiltração, de maneira que quando a taxa de infiltração é menor que a intensidade da precipitação pluviométrica a água começa a se acumular e o escoamento superficial se intensifica, provocando o potencial erosivo (BIGARELLA; BECKER; SANTOS, 2007; ROCHA, 2003). A percolação de água no solo depende também da cobertura vegetal, sua evapotranspiração e da serrapilheira. A elevada porosidade da serrapilheira absorve a água, retardando sua infiltração no solo, mantendo o solo úmido e evitando a formação de rachaduras em épocas de estiagem (BIGARELLA; BECKER; SANTOS, 2007).

Um sistema adequado de drenagem constitui-se em um importante mecanismo para o controle ou a eliminação dos processos erosivos em taludes. As águas que escoam sobre a superfície de um talude de corte ou aterro irão erodi-lo, carregando o material, oriundo da erosão, para a pista, o que poderá dificultar ou impedir o tráfego normal dos veículos que utilizam a via (BRASIL, 2005).

A drenagem da água superficial do talude tem por objetivo captar o escoamento superficial, podendo ser feita por meio de canaletas dispostas longitudinalmente, na crista do talude e em bermas e, transversalmente, ao longo de linhas de maior declividade do talude. Para declividades grandes pode ser necessário recorrer a escadas hidráulicas, para minimizar a energia de escoamento das águas. As bermas de equilíbrio devem ser construídas para diminuir a energia das águas, sendo esta solução de baixo custo (MASSAD, 2003).

Os sistemas de drenagem podem apresentar problemas devido ao seu dimensionamento, que associados a deficiências do sistema de proteção

superficial costumam provocar infiltrações nos taludes e na própria plataforma, ocasionando saturação e erosão em sulcos. As manutenções preventiva e corretiva no sistema de drenagem são necessárias para garantir adequada funcionalidade (CARVALHO, 1991).

Comumente são empregados alguns tipos de controle da erosão em taludes de estradas, como a proteção mecânica e a proteção vegetal utilizando técnicas para estabilização que associam elementos vivos na engenharia tradicional, sendo denominadas de bioengenharia de solos.

2.2 Técnicas de proteção de taludes utilizando bioengenharia

A bioengenharia utiliza técnicas multidisciplinares envolvendo conhecimentos de engenharia, geotecnia, hidrologia, bem como aspectos do meio biótico como biologia e ecologia (DIAS, 2014). Com a finalidade de controlar a erosão em taludes pode-se empregar elementos inertes como madeira e fibras sintéticas juntamente com a vegetação. Em casos onde a vegetação não consegue proteger efetivamente as faces dos taludes, a associação de elementos é indicada principalmente nas superfícies muito inclinadas (COELHO, 1998; SOUZA; SEIXAS, 2001).

Couto (2010) enumera diferentes vantagens desta técnica: menor utilização de maquinário; melhoramento da estrutura e resistência do solo com o passar do tempo devido à vegetação; facilidade de execução em locais de difícil acesso; e possibilidade de utilização de materiais naturais existentes no próprio local, reduzindo desta forma os custos de transporte.

A proteção mecânica é uma solução que pode oferecer maior resistência à face do talude em relação aos agentes erosivos, como chuvas, enxurradas e ventos. Esta alternativa pode ser utilizada quando o talude tem inclinação estável, podendo ser feita com enrocamento ou geossintéticos. Entretanto, não se deve esquecer das condições de drenagem do corpo do talude (CARVALHO et al., 2006).

Segundo a Deflor (2005), existe também a possibilidade de se empregar biomantas antierosivas para estabilizar a face de taludes instáveis protegendo imediatamente o solo até que a vegetação se estabeleça. Essas biomantas são confeccionadas industrialmente, a partir de fibra vegetal, palha agrícola, fibra de

coco e fibra sintética. As fibras são costuradas, formando uma trama resistente, protegidas por redes de polipropileno ou juta. Como principais vantagens tem-se que as biomantas são de baixo custo e rápida aplicação; permitem colocar sementes de gramíneas e leguminosas; não requerem manutenção periódica; e podem ser aplicadas em taludes de qualquer inclinação.

Holanda et al. (2008), em estudo realizado em taludes marginais no baixo curso do Rio São Francisco, utilizaram uma associação do geotêxtil com gramínea *Brachiaria decumbens* e retentores de sedimentos, concluindo que essa técnica facilitou o desenvolvimento da vegetação ciliar e diminuiu a taxa de erosão. Concluíram, ainda, que o uso de materiais com gradativa decomposição possibilita resgatar o equilíbrio geomorfológico e ecológico do rio, tornando a recuperação ambiental mais efetiva.

Fernandes et al. (2009) utilizaram três tipos de geomantas comerciais antierosivas associadas ou não com vegetação em talude com declividade média de 112%, observando que o uso da geomanta associada à vegetação foi o tratamento que proporcionou a menor perda de massa do solo pela erosão.

Utilizando materiais de baixo custo, disponíveis no entorno da área estudada, Silva (2009) objetivou verificar a eficiência de três diferentes métodos de proteção de talude com inclinação média de 58,0° de estradas rurais não-pavimentadas. Os métodos de proteção utilizados foram: grama *Axonopus compressus*; serrapilheira (restos de galhos e folhas de eucalipto *E. grandis*) e envelopamento com um solo local com propriedades mais resistentes aos processos. Os resultados mostraram que dentre os métodos utilizados, a serrapilheira mostrou ser o mais eficiente na proteção do solo contra erosão. Em relação à célula desprotegida, este tratamento apresentou um percentual de redução de perda de solo de 90%. Para as proteções com grama e com o envelopamento a redução foi de 80% e 65%, respectivamente.

Moretto (2012) avaliou os efeitos da vegetação na proteção de taludes rodoviários com inclinação entre 30 a 70° nas margens da rodovia BR-386, indicando que a estabilidade de taludes recentes estava assegurada pelo material inerte, como tela ou geomantas; Enquanto, a médio e em longo prazos, a tarefa de assegurar a estabilidade é cumprida prioritariamente ou exclusivamente pela parte vegetal viva.

A vegetação protege o solo contra a ação do vento, variações de temperatura e movimentos de massa, evitando os processos erosivos por interferência nas propriedades do solo, como coesão, porosidade, ancoramento de linhas de fratura, interceptação da água da chuva, grau de saturação, velocidade do escoamento, infiltração e armazenamento de água no solo (DURLO; SUTILI, 2005; SAULI; CORNELINI; PRETI, 2005; COELHO; PEREIRA, 2006; FERNANDES; FREITAS, 2011).

A implementação de técnicas de engenharia com revegetação de paisagens antropizadas é uma abordagem viável para melhorar os problemas provocados pela movimentação do solo, além de oferecer uma abordagem mais ecológica e de menor custo para controlar a erosão de solos inclinados (HERBST et al., 2006; CAO et al., 2015; SANTOS; BARBOSA, 2015; CHAU; CHU, 2017).

O crescimento e o desenvolvimento de plantas sob condições ambientais favoráveis também podem fornecer medidas de mitigação a longo prazo para a proteção do solo (CAO et al., 2015). O estabelecimento da planta pode proporcionar proteção aos taludes de várias maneiras:

- a) a cobertura de vegetação densa intercepta chuva, diminuindo a velocidade de escoamento na superfície e colaborando com a infiltração lenta da água no solo (CARVALHO, 1994; BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005; BIGARELLA; BECKER; SANTOS, 2007b; NAVARRO, 2011; LIU et al., 2014);
- b) as raízes melhoram a estrutura do solo modificando a estabilidade agregada e aumentando a coesão do solo (FATTET et al., 2011; BARBOSA; LIMA, 2013); e
- c) a cobertura da planta também melhora o ambiente do solo e a biodiversidade das paisagens (BURROUGHS; KING, 1989; STOKES et al., 2008; ZOU et al., 2012).

Melo et al. (2013) citam que espécies vegetais rasteiras e de pequeno porte são importantes em processos de revestimento e proteção dos taludes, enquanto espécies arbóreas são importantes contra rupturas. Entretanto, uma série de fatores ambientais, edáficos, climáticos e cartesianos devem ser analisados, pois implicam em técnicas diferenciadas (LIMA et al., 2014).

Quando a revegetação for a solução mais adequada para o controle da erosão nos taludes, a inclinação destes deverá permitir a fixação e o desenvolvimento das plantas indicadas. Segundo Carvalho (1991), os requisitos mínimos para que uma cobertura vegetal seja empregada como proteção de solo são: crescimento rápido, perenidade, múltiplas espécies, adaptação e facilidade de obtenção, devendo-se considerar o tipo de solo, inclinação do talude e condições climáticas. Neste sentido pode-se utilizar a hidrossemeadura, o plantio de mudas ou implantação de placas de grama que permitem uma rápida proteção.

A implantação de tapetes de grama é realizada normalmente sobre uma delgada camada de solo fértil, distribuída sobre a superfície do talude. Em inclinações do talude for superiores a 45 graus são cravadas estacas de madeira ou telas plásticas grampeadas para fixar a grama (CARVALHO, 1991).

Em estudos realizados por Burrougs e King (1989), verificou-se que após o estabelecimento da grama sobre a superfície de um talude de corte houve uma redução da produção de sedimentos que variou de 86% a 100%, dependendo da taxa com que a cobertura foi aplicada. Enquanto em um aterro na Carolina do Norte (EUA), do 6º ao 14º mês depois da sementeira, as taxas de perda de solo foram reduzidas em 97%.

Negishi et al. (2006) também destacam que a recuperação natural de superfícies de taludes em estradas deve iniciar com a revegetação e que esta alternativa conduz frequentemente a uma redução do escoamento superficial e da erosão de superfície.

Navarro (2002), em estudo sobre controle de erosão em obras viárias na região de Palência (Espanha), avaliou durante dois anos tratamentos para proteção de taludes de ferrovias. Os quatro tratamentos testados foram: o plantio de arbustos, hidrosemeadura, hidrosemeadura coberta com manta orgânica de coco e hidrosemeadura coberta com manta de palha, tendo como resultados que as mantas tiveram um excelente desempenho no controle da erosão (99%), a hidrosemeadura produziu bons resultados (80%), enquanto o plantio de arbustos aumentou a perda de solo em relação ao controle (20% a mais) nos primeiros anos devido ao aumento da disponibilidade de sedimentos soltos gerados no

plantio, entretanto, com o passar do tempo, essa disponibilidade diminui conduzindo a taxas mais baixas de produção de sedimentos.

Cao et al. (2006) avaliaram a utilização de grama na superfície de estradas não pavimentadas em áreas rurais da China, verificando que o custo de construção de estradas com superfície em grama foi 71,65% menor que o das estradas em cascalho, e que as despesas de manutenção foram, em média, 60,97% menores que de estradas com superfície em solo exposto. Os resultados do estudo sugerem que as estradas com superfície em grama podem preencher a lacuna entre as estradas pavimentadas e não pavimentadas em áreas com terrenos em declive e com baixo volume de tráfego, como por exemplo, áreas rurais, reservas naturais e parques e, assim, minimizar o nível de erosão do solo e os danos à paisagem.

Silva (2009) avaliou a eficiência de três diferentes métodos de proteção de talude de estradas rurais não-pavimentadas em área rural no estado de São Paulo. Os métodos de proteção investigados no estudo foram: plantio de mudas de grama; utilização de serrapilheira e envelopamento com um solo local com propriedades mais resistentes aos processos erosivos, tendo sido observado que o método utilizando a serrapilheira mostrou-se mais eficiente na proteção do solo, em relação ao solo desprotegido, apresentando um percentual de redução de perda de solo de 90%, enquanto que a grama e o envelopamento de solo apresentaram redução de 80% e 65%, respectivamente.

Bochet, García-Fayos e Tormo (2010) em estudo conduzido no semiárido da Espanha, avaliaram tecnologias para proteção de taludes rodoviários por técnicas de hidrosemeadura com espécies nativas e comerciais. Os resultados mostraram que a vegetação é quase ausente em taludes com ângulos superiores a 45°, devido a movimentos de massa e remoção de sementes por escoamento e ação da gravidade.

O Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes (DNIT, 2006) sugere que o tratamento ambiental de taludes poderá ser efetivado através da bioengenharia, que associa o plantio de espécies vegetais com a implantação de dispositivos especiais de controle do processo erosivo, tais como: diques de caule; septos de pneus usados; solo cimento; mantas ou telas vegetais

biodegradáveis ou retentores de sedimentos, com ou sem o reforço de telas metálicas.

2.3 Aspectos gerais da grama-esmeralda

A grama-esmeralda (*Zoysia japonica*), originária do Japão, foi introduzida no Brasil na década de 80, tendo ampla aceitação de Norte a Sul do País. Conhecida como Zoysia Silvestre ou grama Zoysia, é uma gramínea herbácea rizomatosa, reptante, perene e muito ramificada. Apresenta crescimento rápido, podendo chegar a 15 cm, folhas pequenas e estreitas de cor verde intenso, principalmente quando adubada, dispostas em hastes densas e curtas, formando um perfeito tapete quando ceifada adequadamente, sendo indicada para formação de gramados ornamentais e áreas de lazer (LORENZI; SOUZA, 2001).

Uma das vantagens do uso da grama-esmeralda é a formação de tapete com entrelaçamento dos estolões penetrantes e que se enraízam facilmente e sua resistência ao pisoteio, podendo ser utilizada também na contenção de taludes (ARRUDA; HENRIQUES, 1995). Apresenta, ainda, ótima capacidade de regeneração no caso de injúria e em função da baixa frequência de poda recomendada, tolerando leve sombreamento (LORENZI; SOUZA, 2001).

Das gramas cultivadas no Brasil, 80% são grama-esmeralda ou japonesa (*Zoysia japonica* Steud.) que se adaptaram bem ao clima tropical (VILLAS BOAS; GODOY, 2007), apresentando melhor crescimento em ambientes com temperaturas entre 25 e 35°C, enquanto em temperaturas abaixo de 20°C, ocorre diminuição no metabolismo, iniciando-se um processo de dormência. Em Assim, no período menos favorável, ocorre o acúmulo de reservas nutritivas, normalmente nas raízes, para serem utilizadas no período de crescimento (SANTIAGO, 2001).

As rodovias têm despertado a cadeia produtiva para um nicho importante e novo do paisagismo, ou seja, o revestimento de obras rodoviárias com seus gigantescos taludes e anéis, bem como das suas áreas para descanso; nestes casos, sempre se utilizou a grama-batatais (*Paspalum notatum* Flügge), no entanto, ela vem sendo substituída pela grama-esmeralda (*Zoysia japonica* Steud.), que já é amplamente cultivada no Brasil, ao passo que a grama batatais

é obtida por meio do extrativismo de grandes áreas, normalmente distantes do local de implantação, apresentando problemas de logística e transporte (COAN, 2007).

Por aumentarem a capacidade de infiltração de água no solo, os gramados também reduzem as perdas de nutrientes, sendo a quantidade de sedimentos perdidos em uma área coberta com palha 10 vezes maior que a de um gramado (GODOY et al., 2006).

Nesse sentido, uma das mais eficientes medidas de controle de movimentos de massa nos taludes rodoviários é a aplicação de cobertura vegetal que atue no sentido de minimizar a perda do solo por deslizamentos ou erosão (MENEZES et al., 2007). Os requisitos mínimos necessários à cobertura vegetal são: apresentar crescimento rápido, constituindo formação que proteja o terreno durante todas as estações; desenvolver raízes resistentes e que formem uma trama bem desenvolvida e de longo alcance; adaptar-se às condições climáticas locais e ser de fácil obtenção; não apresentar maiores atrativos que induzam ao acesso e à utilização da área (DER, 1991).

2.4 Utilização de substrato de coco na proteção do solo

O cultivo de plantas utilizando substratos é uma técnica amplamente empregada que permite o desenvolvimento do sistema radicular, desempenhando um papel de suporte para a planta (ABAD; NOGUERA, 1998; GONÇALVES et al., 2000). Como características desejáveis, os substratos devem apresentar baixo custo, disponibilidade nas proximidades das regiões de consumo, suficiente teor de nutrientes, boa capacidade de troca de cátions, relativa esterilidade biológica, além de permitir a aeração e a retenção de umidade (BOOMAN, 2000; GONÇALVES et al., 2000; OLIVEIRA et al 2008).

Existem substratos comerciais empregados nesta atividade que são de boa qualidade, porém seu custo é elevado. Uma medida adequada consiste em utilizar substratos regionais que possam ser obtidos facilmente e com menor custo (SILVEIRA et al., 2002).

Os substratos resultantes do processamento de coco verde ou maduro origina uma quantidade significativa de resíduos dos quais as cascas de coco

maduro são geralmente utilizadas como combustível de caldeiras ou processadas para o beneficiamento de fibras longas, curtas ou pó (ROSA et al., 2001). Segundo Correia et al. (2003), diferentemente do coco maduro, as fibras do coco verde não são aproveitadas pelas indústrias de fibra, sendo as cascas descartadas em lixões ou aterros sanitários.

O pó de coco é o nome dado ao resíduo oriundo do material fibroso que constitui o mesocarpo do fruto do coqueiro (*Cocos nucifera* L.), de onde são retiradas fibras longas utilizadas na fabricação de cordas, tapetes e outros produtos; desse processamento resultam uma mistura de fibras curtas e uma considerável quantidade de pó. O pó de coco possui grande porcentagem de lignina (35-45%) e de celulose (23- 43%) e uma pequena quantidade de hemicelulose (3- 12%), que é a fração vulnerável ao ataque de microrganismos (NOGUERA et al., 2000; KLEIN, 2015).

A estrutura do pó de coco associado às suas propriedades físico-químicas torna-o particularmente adequado para ser utilizado como substrato orgânico puro ou em diferentes formulações com outros materiais (TEO; TAN, 1993; KLEIN, 2015). Correia et al. (2003), ao estudar o desenvolvimento de mudas de cajueiro anão, sugerem que o pó da casca do coco maduro ou verde, seja misturado na proporção de 20% com outros componentes. Já Lacerda et al. (2006), recomendam na produção de mudas de sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth) substratos à base de pó de coco em proporção maior que 50% quando se tratar de solo argiloso. Para Silveira et al. (2002) deve-se considerar a necessidade nutritiva da plântula estudada, pois o pó de coco não é rico em nutrientes e, nesses casos, deve ser formulado com componentes que atendam a exigência do vegetal.

A fibra do coco verde ou maduro pode ser empregada na área agrícola como matéria-prima na proteção de solos, no controle da erosão e na recuperação de áreas degradadas (BITENCOURT; PEDROTTI, 2008). A fibra em forma de manta é um excelente material usado em superfícies sujeitas à erosão, como é o caso de taludes (ARAGÃO, 2002). Como componente de substratos a base de turfa, a fibra de coco proporciona alta capacidade de retenção de água, elevada aeração do sistema radicular e estabilidade dos valores de pH e condutividade elétrica do meio (GURGEL, 2005).

As mantas podem também trazer as sementes de gramíneas incorporadas às fibras, as quais germinarão tão logo sejam fixadas no solo e regadas regularmente. As fibras possuem lenta decomposição e condições favoráveis ao desenvolvimento vegetal, como retenção de umidade e consequente diminuição da evaporação, protegendo e aumentando a atividade microbiana do solo. O sistema de telas e mantas biodegradáveis possuem baixo custo e proporcionam imediata proteção ao solo, com vantagem de ser incorporado ao terreno com o passar do tempo, diminuindo o impacto gerado sobre o meio ambiente. Pode-se salientar também os ganhos estéticos para a paisagem logo após a instalação dos mesmos (SENHORAS, 2003).

2.5 Métodos de aferição no monitoramento de perda de solo

A coleta de dados sobre erosão pode ser realizada em laboratório ou diretamente no campo, sendo esta última mais apropriada por ser mais realista quanto às interferências e variáveis. Dependendo dos objetivos do estudo dos processos erosivos, pode-se utilizar diferentes métodos e técnicas, conforme os recursos disponíveis e condições locais e técnicas (GUERRA, 2005).

Os métodos diretos consistem na coleta de dados em campo e nas informações que possibilitem interpretar a evolução e desenvolvimento dos processos erosivos. Entretanto, os métodos indiretos utilizam dados obtidos a partir de mapas, cartas e imagens de satélite e devem ser utilizados como apoio aos métodos diretos e complementares. Também podem ser utilizados métodos complementares que visam fornecer informações em campo sobre o solo e suas propriedades para elaboração das cartas temáticas, bem como para compreender a evolução dos processos erosivos para definição de medidas preventivas e corretivas adequadas (COPEL, 2012).

Os métodos poderão ser utilizados em conjuntos no mesmo local ou isolados a depender da avaliação local realizada pela equipe em campo. Entre os métodos diretos, tem-se:

Pinos de erosão - O uso dos pinos de erosão consiste na mensuração periódica da exposição de pinos metálicos inseridos na face de um talude. É

um método simples e tem sido amplamente utilizado por ser confiável e de baixo custo para medir a erosão do talude por escoamento superficial (GUERRA; CUNHA, 2010; HENSHAW et al., 2012; BAĞ et al., 2013). Consiste em cravar pinos no solo e medir a exposição dos mesmos em relação ao solo (ROCHA; SOUZA FILHO, 1996). A quantidade de pinos depende do tamanho da área estudada e devem estar enterrados no solo a 10 centímetros ou mais, preferencialmente onde não haja passagem de animais ou pessoas, podendo isolar o local para que não haja nenhum tipo de perturbação. À medida que o solo vai sendo erodido, os pinos vão ficando cada vez mais expostos (GUERRA, 2005);

Estacas de erosão – Consiste na instalação de estacas de madeira na superfície do barranco. A distância entre as estacas e a margem é medida e indica o comportamento do local em função da atuação dos processos erosivos. Esse método só permite a quantificação do recuo da borda do barranco (ROCHA et al., 2001), sendo que para sua execução utiliza-se de marcos definidos em cada seção ou de instalação de estacas na margem. Realizam-se medidas de recuo de margens a partir dos marcos com uso de uma trena dependendo dos processos de erosão atuantes, como por exemplo, desmoronamentos (GUERRA; CUNHA, 2010);

Perfilagens Sucessivas - Este método consiste no levantamento de perfis nas margens monitoradas, indicando a evolução progressiva de seus perfis. É um método que agrupa os pinos e estacas de erosão, de forma a compreender a evolução do perfil no local monitorado. A perfilagem sucessiva é utilizada como uma maneira gráfica de evidenciar a evolução da face do barranco, ao longo do período monitorado (CORREA; SOUZA FILHO, 2009). Durante o levantamento de campo são descritos o perfil de solo e medidas as distâncias correspondentes à estaca e margem, além da profundidade dos pinos de erosão. A quantidade de pontos amostrados depende da situação identificada em campo e a medição é feita através de régua metálica graduada e trena flexível. Os resultados das perfilagens são utilizados para a determinação do avanço ou recuo da margem durante o período avaliado (COPEL, 2012).

Os métodos indiretos são utilizados com o objetivo de identificar feições ou regiões suscetíveis à instalação de processos erosivos, baseando-se em mapas, cartas e imagens de satélite. O uso de imagens possibilita a análise multitemporal para a região avaliada.

Os métodos complementares envolvem avaliação em campo de propriedades físicas do solo que influenciam diretamente no processo erosivo. Segundo Silva (1994), as propriedades que afetam a taxa de infiltração e permeabilidade são aquelas que influenciam a resistência do solo às forças de dispersão, salpico e transporte, as quais são consideradas de maior importância nos estudos de erosão do solo. No mesmo sentido, Chaves et al. (1993) colocam que as propriedades físicas do solo regulam a infiltração e a movimentação da água ao longo do perfil, influenciando o escoamento superficial e a resistência do solo ao impacto da gota de chuva.

Desta forma, os métodos de monitoramento de perda de solo devem ser utilizados conforme as características locais, o objetivo do estudo e a disponibilidade de recursos financeiros, humanos e técnicos.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo geral

Avaliar o desempenho de grama esmeralda associada ou não à aplicação de pó de coco em diferentes técnicas de plantio na estabilização de solo em talude de corte.

3.2. Objetivos específicos

- ✓ Identificar os padrões de precipitação e volume de água escoado nas parcelas;
- ✓ Quantificar a perda de sedimento;
- ✓ Aplicar e avaliar o comportamento da erosão através de pinos;
- ✓ Identificar o tratamento que proporcionou melhor proteção ao talude.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

O estudo foi realizado num talude de corte com inclinação de 60%, resultante da ampliação e requalificação da via transrural na Universidade Federal Rural de Pernambuco, no Bairro de Dois Irmãos, em Recife-PE ($8^{\circ}01'05''$ S e $34^{\circ}5'48''$ O), conforme Figura 1. O talude tem 17 metros de altura dividido em três platôes intermediários, sendo as parcelas de tratamentos construídas no talude basal.

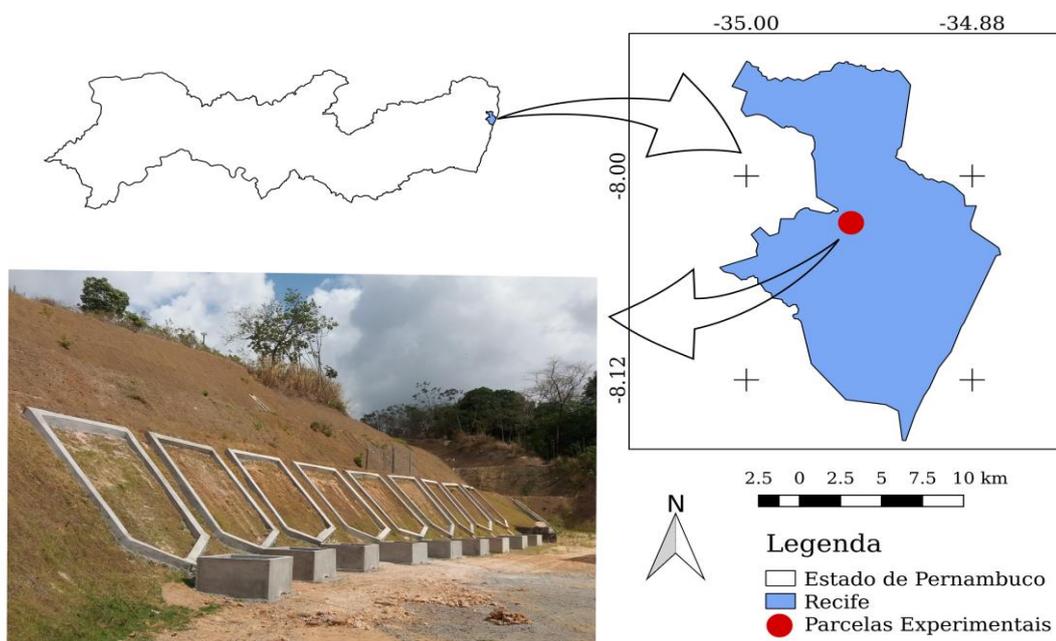


Figura 1: Mapa localizando a área do talude e fotografia das parcelas experimentais.

Quanto aos aspectos climáticos, Recife-PE possui uma temperatura média anual de $25,8^{\circ}\text{C}$, pluviosidade média anual de aproximadamente 2.200 mm e umidade relativa do ar média anual de 79,8%. Conforme a classificação climática de Köppen-Geiger, o clima é tropical mansônico (Am) (FERREIRA, 2016; CLIMATE, 2018).

O solo do talude foi classificado como argila arenosa de baixa plasticidade e média compressibilidade com limite de liquidez de 40,80%, limite de plasticidade de 20,48% e índice de plasticidade de 20,32 conforme sondagem realizada pela construtora Jov Engenharia, no período de projeto da via transrural no ano de

2015, seguindo a metodologia da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. De acordo com a carta de plasticidade compreende os solos que apresentam médio potencial de erosão.

4.2 Drenagem do talude

A drenagem foi realizada para direcionamento das águas de precipitação pluviométrica, visando reduzir a velocidade do escoamento e o carreamento do solo.

O sistema de drenagem no talude é constituída por canaletas de concreto com seção de 0,20 m e degraus dissipadores de energia potencial escalonados para diminuir a velocidade de queda. O direcionamento das águas é para as laterais do talude de onde escoam por gravidade, sendo coletadas e destinadas a uma caixa coletora da rede de drenagem da via.



Figura 2: Talude e sistema de drenagem vertical em escada e horizontal em calha.



Figura 3: Detalhe do sistema de drenagem (caixa coletora conectando a calha com a drenagem da via transrural).

4.3 Unidades experimentais (parcelas)

As unidades experimentais apresentam área de 11,60 m², com dimensões 3,0 × 3,45 m, demarcadas por alvenaria de tijolos cerâmicos. No ponto mais baixo da unidade experimental foi instalado um tubo de 100 mm para coleta da água e

do material carreado para armazenamento em tanque de PVC de 500 litros (Figura 4).



Figura 4: Foto da unidade experimental construída no platô basal do talude conectada ao reservatório de acumulação. Acima da parcela visualiza-se o pluviômetro.

4.4 Delineamento experimental e tratamentos

Os tratamentos consistiram na aplicação das seguintes proteções às unidades experimentais: (TVP) Tapetes Verticais de grama esmeralda + Pó de coco; (TV) Tapetes Verticais de grama esmeralda; (TH) Tapetes Horizontais de grama esmeraldas e (TC) Tratamento controle com solo exposto (Figura 5); os quais foram analisados após cada evento chuvoso ocorrido.

O estudo foi realizado em quatro etapas. Inicialmente foi construída uma parcela para cada tratamento acima descrito (período de 21/08/16 a 01/03/2017); posteriormente foram construídas duas réplicas para cada tratamento (período de 02/03/2017 a 15/06/2017); a terceira etapa em que foi removido o tratamento de uma das parcelas deixando o solo exposto para servir de controle (período de 19/06/2017 a 12/07/2017); por último, foram colocados pinos de erosão nas parcelas da primeira etapa e no controle visando analisar o comportamento da erosão.

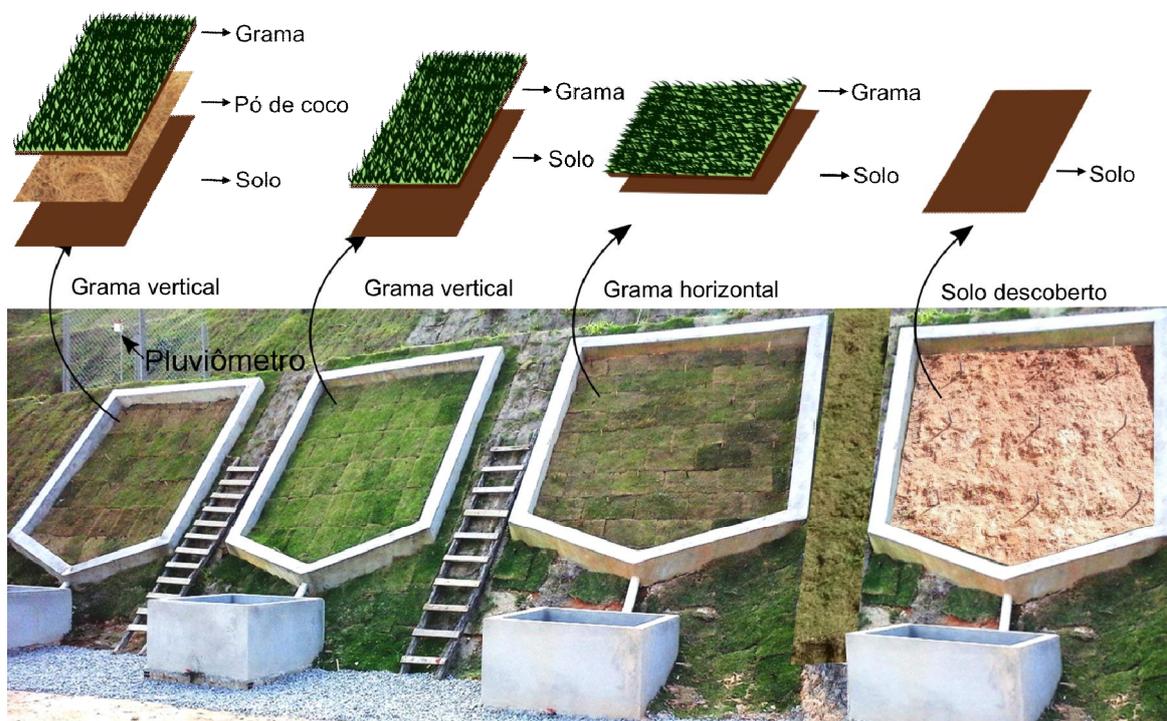


Figura 5: Tratamentos aplicados nas unidades experimentais, da esquerda para a direita: (TVP) Tapetes Verticais de grama esmeralda + Pó de coco; (TV) Tapetes Verticais de grama esmeralda; (TH) Tapetes Horizontais de grama esmeraldas e (TC) Tratamento Controle.

4.5. Variáveis analisadas

4.5.1 Monitoramento das variáveis meteorológicas

Os índices pluviométricos foram monitorados por equipamento automático (Onset[®] Hobo RG3) instalado no platô acima das parcelas experimentais para aferição das precipitações e variação de temperaturas. Dados complementares quanto a pluviosidade também foram obtidos pela estação meteorológica automática (Campbell Scientific modelo CR1000, com pluviômetro modelo TR 525M) localizada no Departamento de Engenharia Agrícola – UFRPE (8° 01' 06" S e 34° 56' 49" O).

O padrão de chuva foi determinado a partir do índice I_{30} que representa as intensidades de chuva nos trinta minutos. Desta forma, foram montados os

gráficos e a caracterização do padrão de chuvas (avançado, intermediário e atrasado), segundo o método de Horner e Jens (1942).

4.5.2 Volume de água escoada e perda de solo

Após cada evento chuvoso, foram aferidos os volumes de água acumulados nos reservatórios de cada parcela através de leitura em escala graduada e cálculo da seção do reservatório.

O escoamento superficial foi obtido pela diferença entre o volume das precipitações pluviométricas e o volume escoado para o reservatório em cada parcela, sendo o coeficiente a razão percentual entre esses valores.

A partir do volume de água acumulada no reservatório, foram coletadas amostras de 500 mL em duplicata do volume homogeneizado manualmente e encaminhadas ao Laboratório de Água e Solo do Departamento de Engenharia Agrícola da UFRPE.

A perda do solo total e a concentração de sedimentos foram obtidas pela pesagem (balança de precisão Digimed[®], modelo KN-2000) das amostras coletadas que permaneceram em repouso por 24 horas para decantação do sedimento. Posteriormente, foi descartado o excedente de água nas amostras e os potes levados para secagem em estufa (Marconi[®], modelo MA 035/5) a 65 °C durante 72 h. Em seguida, realizou-se nova pesagem para registro do sedimento de cada amostra.

4.5.3 Capacidade de absorção de água pelo pó de coco

A capacidade de absorção de água pelo pó de coco foi testada através de ensaio com 5 amostras de peso seco variável entre 49 a 75 g colocados em bolsas de 30cm x 30cm confeccionadas com tela plástica milimétrica. Cada bolsa de tela foi pesada seca e após submersão em água por 1 min, para que esses valores não interferissem no resultado para o pó de coco. Posteriormente as amostras de pó de coco foram colocadas nas bolsas de tela e submersas em água por 5 min, escoadas até deixar de pingar e pesadas novamente. O resultado foi subtraído do peso e absorção da tela, obtendo-se a absorção de água pelo pó

de coco. O ensaio foi realizado no Laboratório de Água e Solo do Departamento de Engenharia Agrícola da UFRPE.

4.5.4 Determinação da erosão por pinos

Foram distribuídos 9 pinos em uma parcela de cada tratamento estudado (TC, TH, TVP e TV), sendo 3 posicionados na área alta (a), 3 na área média (b) e 3 na área baixa (c) (Figura 6). Os pinos foram confeccionados com tubos de ferro galvanizado de 1/2" de diâmetro e comprimento de 30 cm, nos quais realizou-se marcação em 15 cm com tinta permanente para visualização da parte exposta enquanto o restante do comprimento foi cravado no solo de forma perpendicular. O monitoramento foi realizado em 16 eventos pluviométricos e as medições aferidas e registradas após cada evento chuvoso utilizando trena metálica.



Figura 6: Parcela experimental de Tratamento Controle (TC) com a distribuição dos pinos de erosão.

4.6 Análise estatística

Os dados obtidos foram analisados através do programa Excel (Office 2013) e estatística descritiva por gráficos Boxplot desenvolvidos pelo software estatístico Minitab 15, pois sua interface gráfica permitiu obter bons resultados visuais.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização da chuva

A análise de padrão de chuva no período estudado e suas características básicas estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Informações sobre as chuvas no período de 21/08/2016 a 12/07/2017 no talude de corte da Via Transrural, Recife/PE.

Evento	Intensidade (mm/h)	I ₃₀ (mm/h)	Lâmina precipitada (mm)	Duração (h)	Padrão de chuva
21/08/2016	5,7	5,2	14,3	2,5	Avançado
28/08/2016	1,7	0,8	3,5	2,0	Avançado
29/08/2016	2,8	2,0	4,5	1,6	Atrasado
01/09/2016	7,1	6,6	15,1	2,1	Atrasado
02/09/2016	2,2	1,2	2,2	1,0	Intermediário
21/12/2016	3,3	2,7	5,4	1,6	Atrasado
01/03/2017	1,3	0,7	1,7	1,3	Atrasado
02/03/2017	4,1	2,1	9,5	2,3	Atrasado
05/03/2017	19,7	12,3	55,2	3,0	Atrasado
06/03/2017	3,0	2,6	5,9	1,9	Avançado
10/03/2017	11,1	8,6	15,2	1,3	Avançado
12/03/2017	7,0	6,5	12,2	1,7	Atrasado
14/03/2017	8,4	7,4	18,5	2,2	Intermediário
26/03/2017	5,2	4,0	9,1	1,7	Avançado
01/06/2017	3,9	2,9	7,2	1,8	Avançado
06/06/2017	10,5	6,0	22,4	2,1	Intermediário
15/06/2017	30,0	12,5	59,6	1,9	Atrasado
19/06/2017	4,9	3,9	8,6	1,7	Avançado
21/06/2017	5,3	4,0	9,2	1,7	Atrasado
24/06/2017	20	13,1	37,4	1,8	Intermediário
26/06/2017	9,0	7,9	20,0	2,2	Atrasado
27/06/2017	18,4	7,5	37,4	2,8	Avançado
28/06/2017	2,0	1,4	3,2	1,6	Atrasado
29/06/2017	7,1	4,0	13,0	1,8	Avançado
30/06/2017	6,0	2,9	15,0	2,5	Avançado
03/07/2017	8,5	7,1	16,0	1,8	Avançado
04/07/2017	6,2	4,0	11,2	1,8	Atrasado
06/07/2017	5,4	4,2	10,6	1,9	Intermediário
07/07/2017	2,0	1,5	4,0	2,0	Atrasado
10/07/2017	4,4	3,2	9,4	2,1	Intermediário
12/07/2017	3,0	1,2	9,4	3,1	Atrasado

Legenda: I₃₀ – Índice de erosividade em 30 minutos de precipitação.

A análise do padrão de precipitação demonstrou que 36% dos eventos de chuva classificados como perfil avançado, 19% Intermediário e 45% atrasado. Desta forma, a maioria das precipitações foi classificada como atrasada que possuem maior poder erosivo, segundo Carvalho (2006), pois o pico de intensidade ocorre no último terço do tempo de duração da chuva, quando o solo contém maior umidade (CASSOL et al., 2008; VALVASSORI; BACK, 2014) e, portanto, menor taxa de infiltração, e o solo com menor coesividade.

Entre o padrão de chuva avançado destaca-se o dia 10/03/17 com I_{30} de 8,6 mm/h; no padrão intermediário o dia 24/06/17 com I_{30} de 13,1 mm/h; e no padrão atrasado destaca-se o dia 15/06/17 com I_{30} de 12,5 mm/h.

As maiores lâminas precipitadas ocorreram nos dias 05/03/2017 e 15/06/2017 com valores totais de 55,20 mm e 59,60 mm, respectivamente, ambas foram enquadradas no padrão atrasado. Verificou-se no período do experimento que a lâmina total de precipitação foi de 465,9 mm com intensidade máxima de 30,0 mm/h.

Em Pernambuco, Santos e Montenegro (2012) realizaram estudo na Região Agreste para o período de 1969 a 2010 encontrando 46,57% das chuvas no padrão avançado, 36,38% no intermediário e 17,19% no atrasado, diferindo do que foi encontrado neste estudo, tendo em vista que o talude está situado na Região de Zona da Mata que apresenta características distintas de clima e pluviosidade, além do curto período analisado.

5.2 Escoamento resultante das precipitações

A relação entre o escoamento e as precipitações pluviométricas para cada tratamento aplicado nas parcelas de estudo é apresentada na Figura 7. Para cada tratamento obteve-se uma equação de reta que representa o percentual entre o volume precipitado e o escoado.

O tratamento com tapetes de grama verticais (TV) apresentou um coeficiente de escoamento de 28,53% da precipitação e o tratamento com tapetes horizontais (TH) 28,16%, verificando-se praticamente igual, demonstrando que a forma de plantio do tapete não interfere no escoamento. No entanto, o tratamento de gramas verticais associado ao pó de coco (TVP) apresentou menor coeficiente de escoamento, representado por 16,31% do total precipitado

considerando os 31 eventos analisados. Por outro lado, a parcela controle (TC), com solo exposto, apresentou o maior coeficiente de escoamento 58,51% da precipitação em apenas 14 eventos pluviométricos.

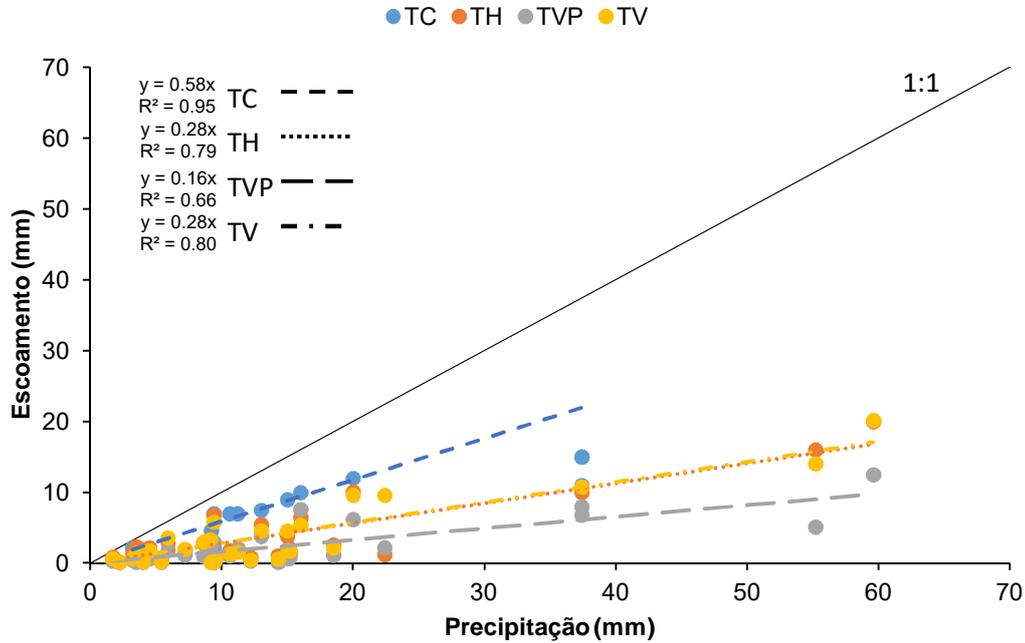


Figura 7: Relação entre escoamento e as precipitações pluviométricas para cada tratamento aplicado nas parcelas de estudo.

A Figura 8 apresenta o comportamento do escoamento acumulado para cada evento estudado. No tratamento de controle TC (Figura 8a) pode-se observar quantidades expressivamente superiores de escoamento gerado em apenas 14 eventos pluviométricos quando comparado aos demais tratamentos, atingindo 111,5 mm de escoamento acumulado para precipitação acumulada de 220 mm.

Verificou-se que nos 31 eventos com 465,9 mm de precipitação acumulada, o tratamento TH (Figura 8b) houve redução na geração de escoamento superficial que atingiu 123 mm quando comparado ao tratamento TV (Figura 8d) que acumulou escoamento de 132,6 mm; entretanto, o tratamento TVP (Figura 8c) foi o que ofereceu maior retardo no escoamento superficial chegando a 71,9 mm. Desta forma, é possível confirmar que os tapetes de grama ofereceram proteção imediata nas parcelas.

Considerando que TVP apresentou o menor escoamento acumulado e a única diferença entre esse tratamento e o TV é o substrato de pó de coco, tem-se que o escoamento acumulado no TVP foi 54% menor que no TV, mostrando a eficiência do pó de coco na redução do escoamento.

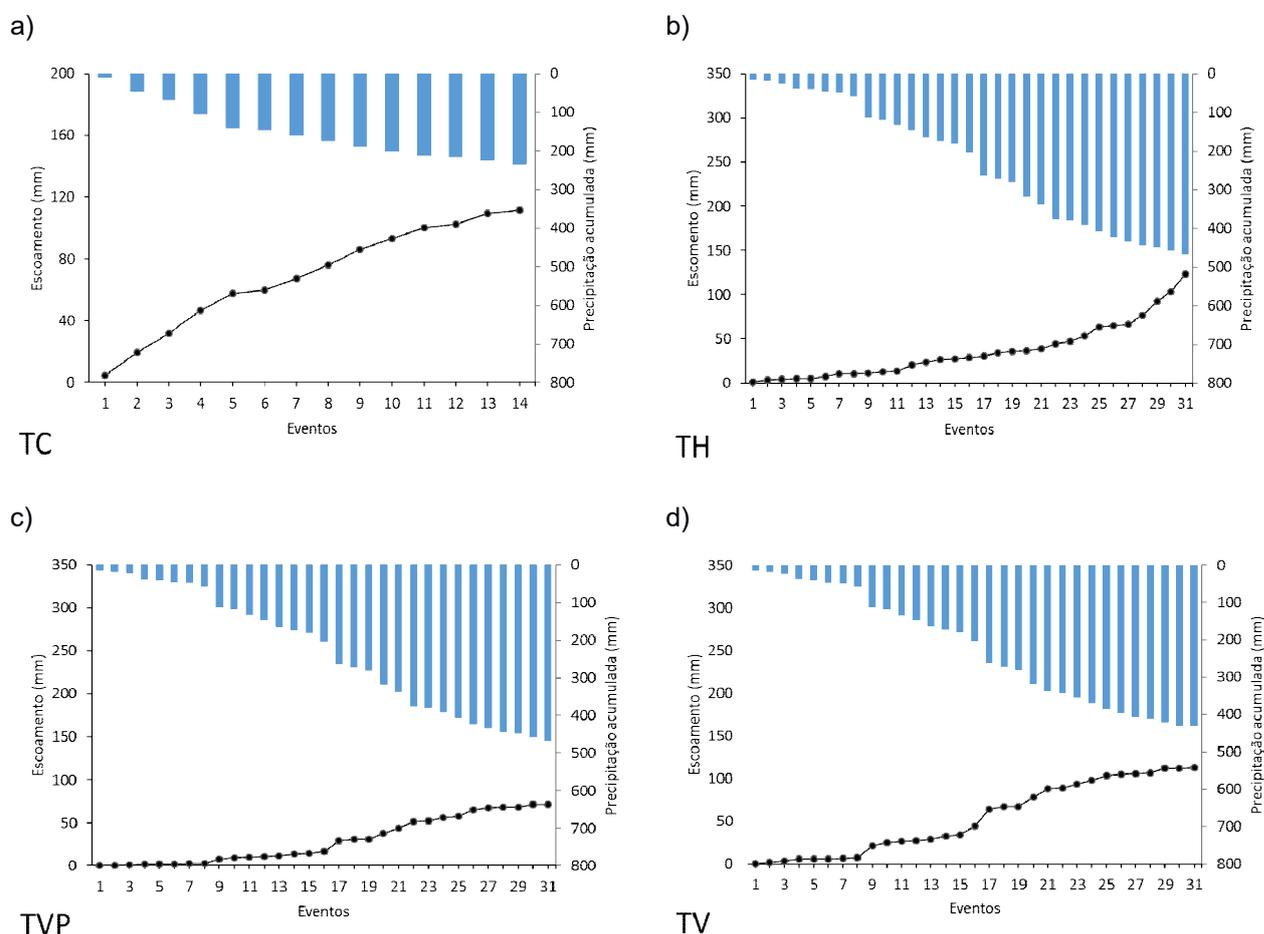


Figura 8: Escoamento acumulado (mm) e precipitação acumulada (mm) para todos eventos estudados nos diferentes tratamentos.

A Figura 9 apresenta o boxplot do escoamento por tratamento, onde pode-se verificar que o tratamento controle (TC) apresentou 50% do escoamento entre 4,6 e 11 mm (média 8 mm; mediana 7,5 mm). O tratamento com grama horizontal (TH) apresentou distribuição de 50% do escoamento entre 1 e 5,5 mm (média 4 mm; mediana 2,4 mm). O tratamento com grama vertical associado ao pó de coco (TVP) apresentou os menores valores de escoamento dentre todos os tratamentos com 50% do escoamento entre 0,45 e 3,8 mm (média 2,3 mm;

mediana 1,5 mm). O tratamento com grama vertical (TV) teve sua distribuição de valores semelhante ao TH apresentando 50% do escoamento entre 1 e 4,5 mm (média 3,6 mm; mediana 2,3 mm).

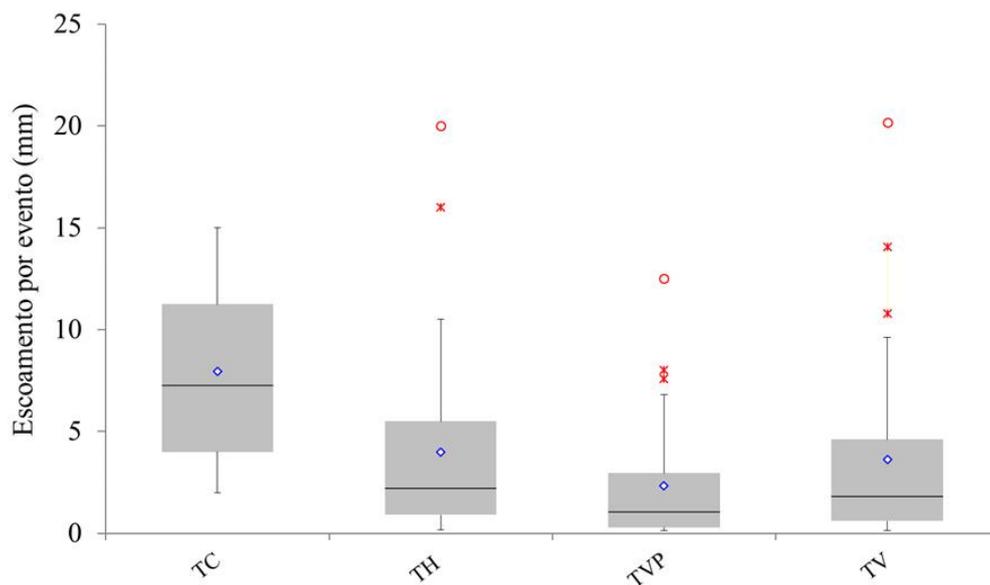


Figura 9: Boxplot para os dados de escoamento nos diferentes tratamentos adotados.

Considerando as médias e as medianas todos os tratamentos apresentaram distribuição assimétrica positiva, tendo em vista que as medianas se aproximam do primeiro quartil. Destaca-se que o escoamento variou de forma decrescente nos tratamentos TC, TH, TV e TVP, sendo este último o que obteve melhor eficiência na proteção do solo.

5.3 Coeficiente de escoamento superficial

O coeficiente de escoamento foi de 58% para o tratamento controle (TC), 29% para o tratamento com grama vertical (TV), 28% no tratamento com grama horizontal (TH) e 16,5% no tratamento com grama vertical associada ao pó de coco (TVP) (Figura 10). Os valores do coeficiente de escoamento estão relacionados com o tipo de solo, a declividade e a cobertura vegetal. No presente estudo o solo foi caracterizado como de textura argilo-arenosa numa área com declividade de 60%, sendo a cobertura vegetal constituída por grama esmeralda

associada ou não ao substrato de pó de coco o que justifica os coeficientes de escoamento obtidos para os diferentes tratamentos.

O baixo valor do coeficiente de escoamento no TVP deve-se, em grande parte, à capacidade de absorção de água pelo pó de coco. No ensaio laboratorial por submersão de amostras de pó de coco observou-se, para 8 t/ha, aproximadamente 1,96 mm de absorção de água, o que justifica os resultados obtidos.

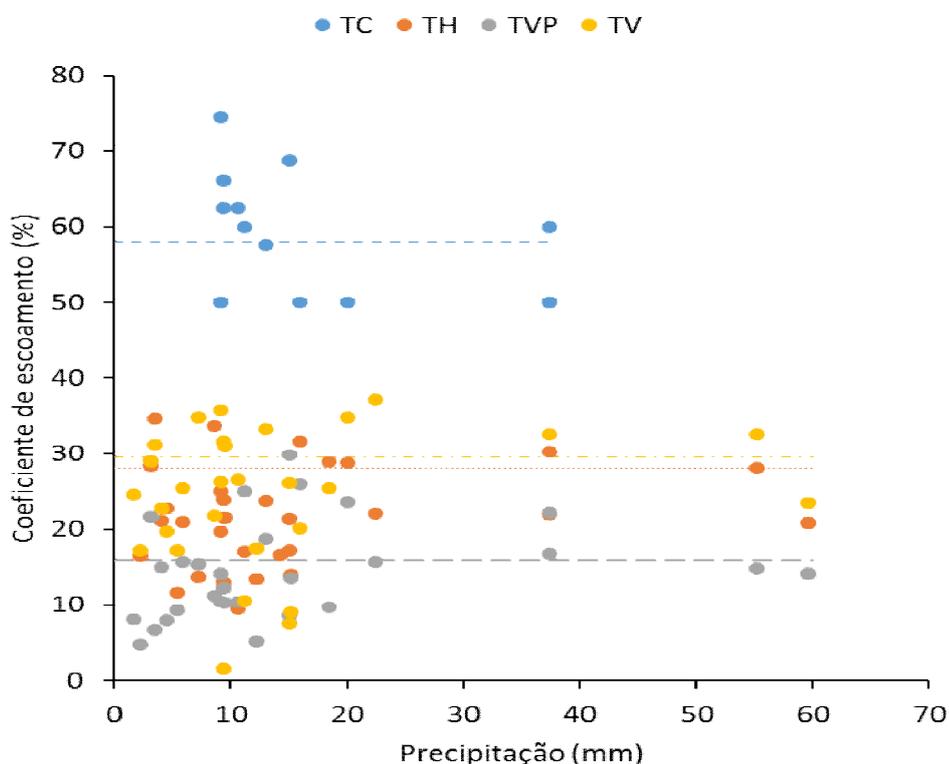


Figura 10: Relação entre precipitação e o coeficiente de escoamento por tratamento.

5.4. Perda de solo nas parcelas

A perda de solo foi caracterizada pelo sedimento total carregado no escoamento provocado pela intensidade das precipitações nos tratamentos analisados.

A relação da perda de sedimento em kg com a intensidade de chuva indicou que as parcelas com tratamento em gramas esmeralda (TH, TV e TVP) apresentaram perdas mínimas de sedimentos, com percentuais de 0,41%, 0,37%

e 0,23%, respectivamente. Desse modo, a aplicação de tapetes de grama reduziu em mais de 99% a perda de solo, corroborando com Mariani (2016) ao estudar parcelas experimentais com semeadura de gramíneas com aplicação de biomanta de fibra de coco, que obteve redução de 99,91% na perda de solo por erosão.

No tratamento controle (TC), a perda de sedimento foi de 56,12%, quantidade bastante significativa devido ao impacto das gotas de chuvas sobre o solo descoberto. Os resultados apresentados demonstram que o solo com proteção vegetal tem redução expressiva nos efeitos erosivos provocados pela intensidade das precipitações favorecendo, conseqüentemente, a estabilidade da área do talude.

A relação da precipitação acumulada e a geração de sedimentos acumulados nos diferentes tratamentos de grama e de controle (Figura 11).

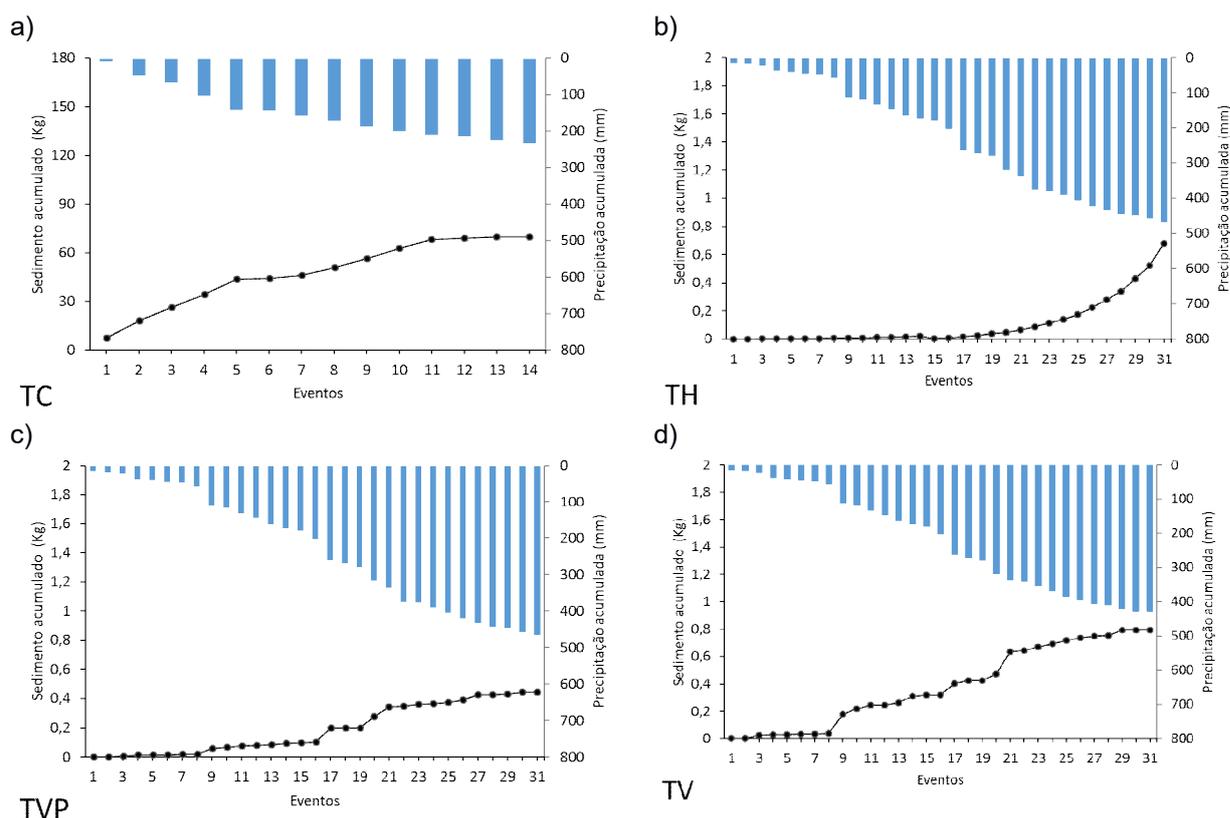


Figura 11: Sedimentos acumulados (kg) e precipitação acumulada (mm) por tratamento nos eventos estudados.

No TC foi possível quantificar os sedimentos acumulados no solo descoberto para todos os 14 eventos (Figura 11a) com perda de solo de 7,4 kg já

na primeira precipitação que foi de 8,6 mm; o gráfico mostra perda de sedimento diretamente proporcional à precipitação acumulada atingindo 69,7 kg de solo em 220 mm acumulados.

Em relação ao TH (Figura 11b) não houve praticamente perda acumulada de sedimento até o 17º evento com precipitação acumulada de 270 mm; a partir desse ponto a curva apresenta discreto crescimento, atingindo perda acumulada de solo de 0,68 kg para uma precipitação acumulada de 465,9 mm.

No tratamento TVP (Figura 11c) verificou-se perda de solo insignificante até o 8º evento, a partir do qual houve perda acumulada de 0,36 kg para precipitação de 100 mm; a curva de perda de sedimento ajustou-se de forma escalonada, atingindo 0,44 kg para precipitação acumulada de 465,9 mm.

Quanto ao TV (Figura 11d), a perda acumulada de sedimento também foi insignificante até o 8º evento, a partir do qual ocorreu perda de 0,2 kg para precipitação acumulada de 100 mm; a curva ajustou-se a uma tendência similar a verificada no tratamento TVP, porém com o dobro da perda de sedimento, que atingiu 0,79 kg para precipitação acumulada de 465,9 mm.

Na análise geral dos gráficos da Figura 11, pode-se comparar o comportamento do tratamento nas precipitações acumuladas de 100 mm e 200 mm, em que as perdas de sedimento acumulados foram: TC (30 kg e 65 kg); TH (0,8 kg e 0,9 kg); TVP (0,1 kg e 0,2 kg) e TV (0,2 kg e 0,3 kg), respectivamente. Desta forma, evidencia-se que o tratamento de grama vertical associado ao substrato de pó de coco (TVP) apresentou o melhor desempenho em comparação aos demais. Verificou-se que quanto maior a precipitação, maior será o escoamento e o sedimento total numa relação direta corroborando com o estudo de Mariani (2016).

A Figura 12 apresenta a análise do sedimento total por tratamento. Considerando que os tratamentos com tapetes de grama apresentaram valores menores que 1 kg a escala foi modificada para permitir a análise.

Verificou-se ainda que o pó de coco possui capacidade de reter água aumentando a disponibilidade para a grama, a infiltração de água no solo ou retardando o início do processo de escoamento superficial por causa da retenção de água pelo mesmo.

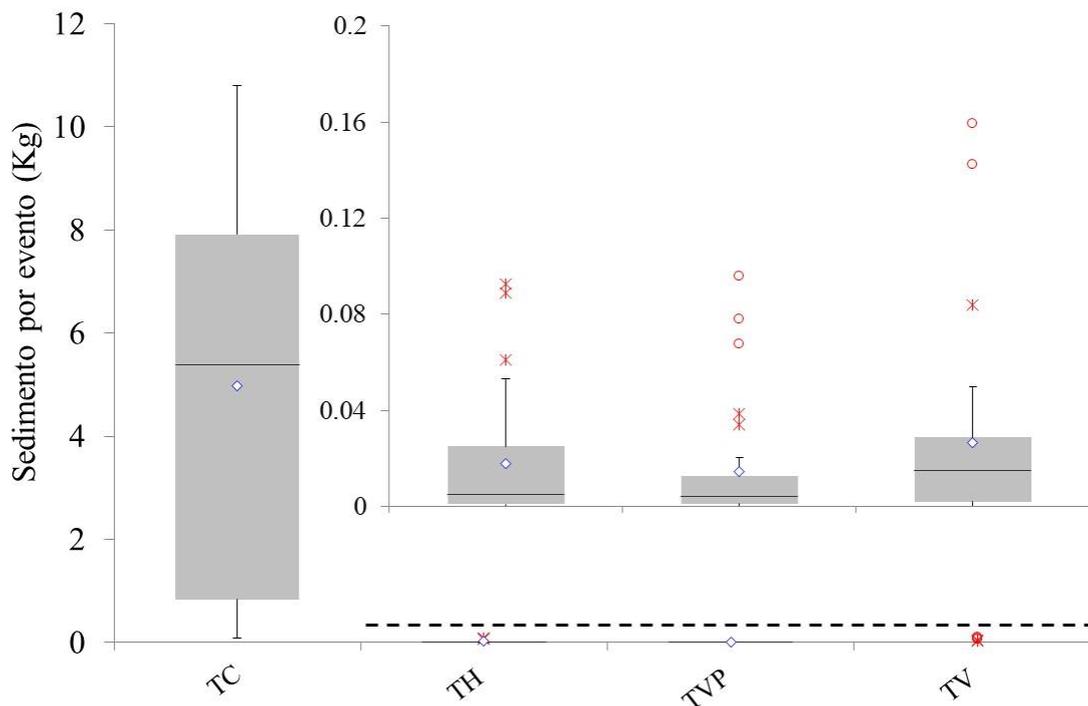


Figura 12: Boxplot do sedimento total por tratamento.

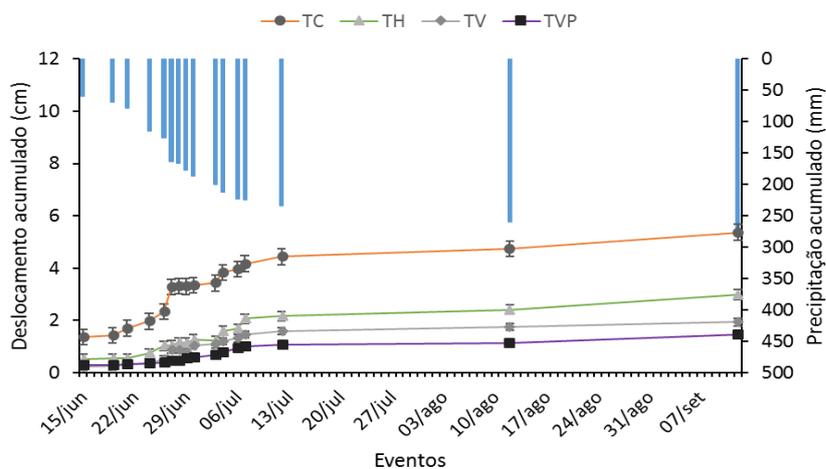
De acordo com Volk e Cogo (2009), a retenção e detenção superficial da água resulta em maior infiltração no solo e, conseqüentemente, menor perda de água na forma de escoamento superficial.

O ensaio de retenção de água pelo pó de coco resultou numa capacidade média de detenção de água de 2,75 mL por grama de pó, corroborando com Mariani (2016) que encontrou 2,16 mL por grama de fibra de coco.

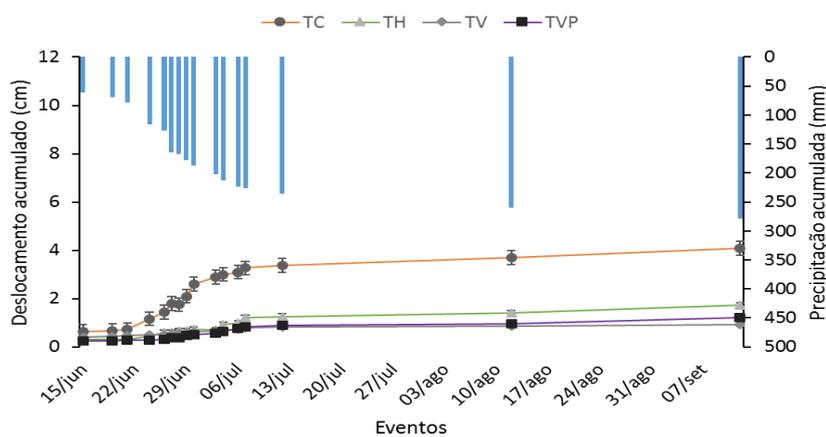
5.5. Determinação de erosão através de pinos

As aferições realizadas nos pinos, quanto ao deslocamento de solo, nos diferentes tratamentos estão representadas na Figura 13, onde: a) representa os pinos instalados na área mais alta da parcela; b) representa os pinos na parte intermediária das parcelas; e c) representa os pinos na parte mais inferior das parcelas estudadas.

a)



b)



c)

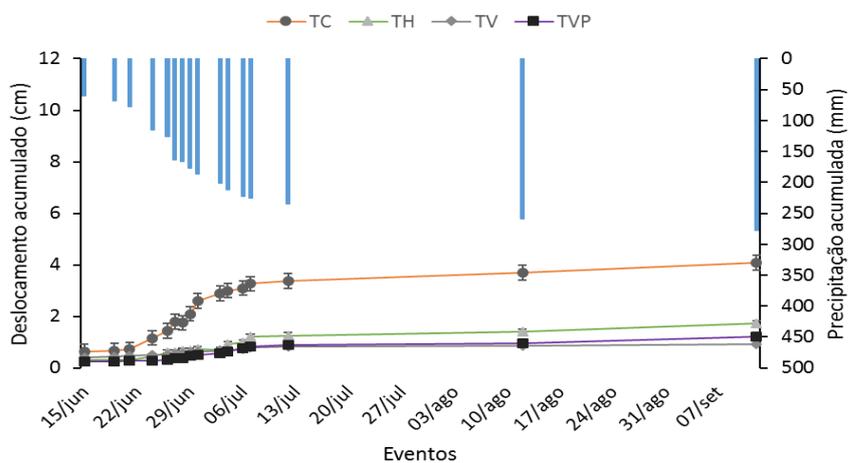


Figura 13: Deslocamento acumulado (mm) de solo afetados no monitoramento de pinos para os tratamentos TC, TH, TV e TVP no período de 15/06/17 a 07/09/17.

Os deslocamentos na parte mais elevada das parcelas em cada tratamento (Figura 13a) na qual se observou que o processo de deslocamento do solo foi mais expressivo no tratamento controle (TC), que variou de 1,36 cm na primeira medição até 5,37 cm na última precipitação acumulada; No tratamento com grama horizontal (TH) notou-se média inicial de 0,52 cm e no último evento de 2,98 cm; O tratamento com grama vertical associada ao substrato de pó de coco (TVP) teve deslocamento médio inicial de 0,28 cm atingindo média acumulada final de 1,4 cm; No tratamento com grama vertical (TV) houve deslocamento médio inicial de 0,23 cm até 1,9 cm no acumulado médio do último evento.

Em relação às médias dos valores aferidos nos três pinos da área intermediária das parcelas em cada tratamento (Figura 13b) verificou-se para TC que o deslocamento variou de 0,64 cm até 4,08 cm acumulado no último evento; No TH o deslocamento apresentou variação de 0,30 cm a 1,73 cm. TVP teve média de 0,24 cm no primeiro evento e 1,21 cm acumulado no último; Para TV houve deslocamento inicial de 0,42 cm atingindo 0,91 cm acumulado no último evento.

Quanto às médias de deslocamento dos três pinos na área baixa das parcelas (Figura 13c), em que o tratamento TC variou de 0,19 cm até 3,0 cm acumulado no final; TH apresentou valor de 0,30 cm no primeiro evento e 1,27 cm acumulado no último; TVP teve média inicial de 0,13 cm atingindo acúmulo de 0,72 cm no final; TV variou de 0,11 cm na primeira aferição, chegando ao acúmulo final de 1,30 cm.

Numa comparação geral observou-se que, independente dos tratamentos, o efeito do deslocamento no solo predomina na área mais elevada das parcelas, seguida da área mediana e por último na mais baixa, acumulando os sedimentos no sopé da parcela. Quanto aos tratamentos, TC apresentou maior deslocamento de solo, enquanto TH e TV apresentaram resultados semelhantes e no TVP houve menor deslocamento.

O deslocamento final após os 16 eventos, na área alta das parcelas, foram de 5,37 cm no TC, 2,98 cm no TH, 1,9 cm no TV e 1,4 cm no TVP. Construindo-se uma relação entre esses valores, tem-se uma diferença em percentual de 26% de deslocamento entre o solo exposto (TC) e o tratamento (TVP); 35% entre TC e TV; e 55% entre TC e TH. Este resultado consolida o TVP como tratamento mais

eficiente, enquanto no solo descoberto há formação de ravinas e com isso o aumento do fluxo concentrado de escoamento superficial e deslocamento.

Na Figura 14, verificou-se que o deslocamento do TC(a) apresentou distribuição de valores concentrados entre 7 e 37 mm (média 28 mm; mediana 27 mm); TC(b) variou de 11 até 37 mm (média 24 mm; mediana 27 mm); e TC(c) com distribuição concentrada entre 8 e 23 mm (média 20 mm; mediana 12 mm). Esse foi o tratamento que apresentou maiores deslocamentos de solo aferidos nos pinos com média geral de 24 mm.

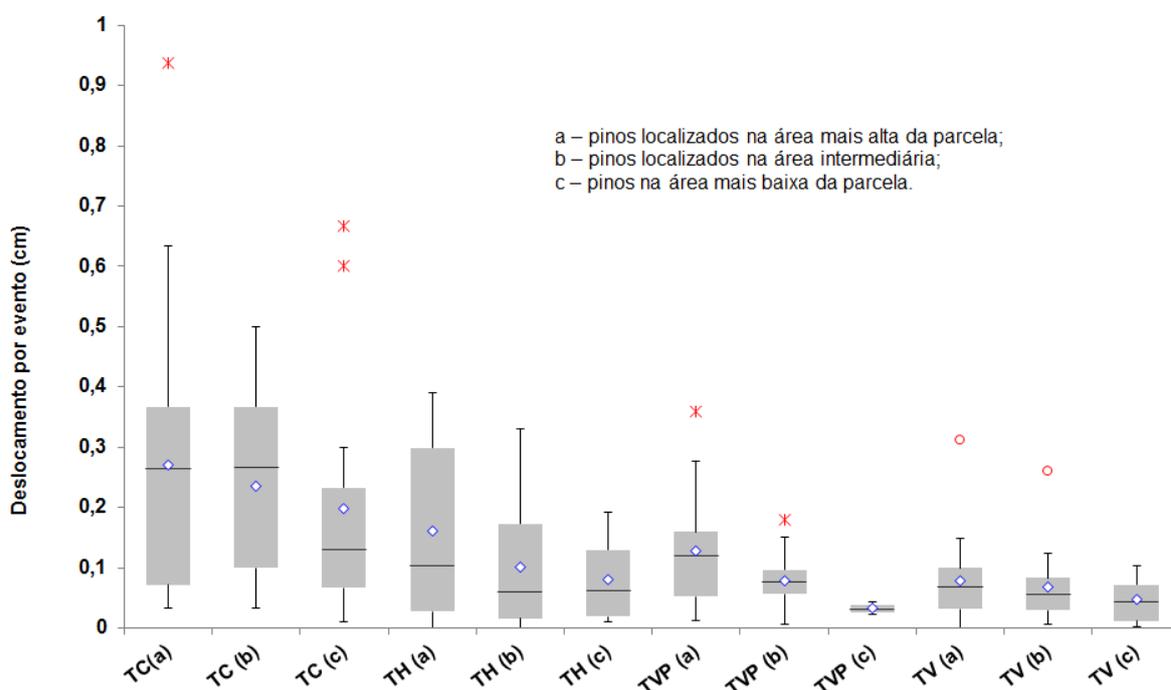


Figura 14: Boxplot do deslocamento de solo acumulado por tratamento e área de distribuição dos pinos.

O TH(a) teve distribuição de valores concentrada entre 3 e 30 mm (média 16 mm; mediana 10 mm); TH(b) variou de 2 a 17 mm (média 11 mm; mediana 5 mm); e TH(c) com distribuição concentrada entre 2 e 14 mm (média 9 mm; mediana 6 mm). Esse foi o tratamento que apresentou o segundo maior deslocamento de solo nos pinos de erosão com média geral de 12 mm.

No TVP(a) houve distribuição de valores concentrados de 4 a 10 mm (média 8mm; mediana 7 mm); TVP(b) apresentou concentração entre 3 e 9 mm (média 7 mm; mediana 6 mm); e o TVP(c) variou concentração de 2 a 7 mm (média 5 mm; mediana 5 mm). Esse tratamento apresentou menor erosão com média geral de 7 mm.

Para o TV(a) a distribuição de valores ficou concentrada de 5 a 16 mm (média 14mm; mediana 13 mm); TV(b) variou concentração de 5 até 10 mm (média 9 mm; mediana 9 mm); e TV(c) praticamente não apresentou variação na amplitude de seus dados, onde o deslocamento ficou em 3 mm, assim como a média e mediana. Esse tratamento apresentou média geral de erosão nos pinos de 8 mm.

Considerando as médias e as medianas a maioria dos tratamentos apresentaram distribuição assimétrica positiva, com exceção de TC(b) que foi assimétrica negativa; em TVP(c), TV(b) e TV(c) ocorreu simetria.

6. CONCLUSÕES

A maioria da precipitação (45%) foi classificada no padrão atrasado que apresenta maior potencial erosivo, seguido pelo padrão avançado (36%) e intermediário (19%). A precipitação total foi de 465,9 mm com intensidade máxima de 30 mm/h.

Observou-se maior coeficiente de escoamento no tratamento controle (TC 58,51%), enquanto o tratamento de gramas verticais associado ao pó de coco apresentou o menor coeficiente (TVP 16,31%). O volume de água escoada provocou a maior perda de sedimento no TC, cerca de 69,7 kg, demonstrando que no solo desprotegido ocorre expressiva perda de sedimento, enquanto que as coberturas vegetais melhoram a proteção do solo.

A avaliação da erosão do solo aferida por pinos apresentou maior deslocamento no tratamento com solo exposto (TC), não apresentando diferenças expressivas entre os tratamentos TH, TV e TVP.

Desta Forma, considerando as variáveis analisadas, conclui-se que o tratamento com tapetes verticais de grama esmeralda associado ao substrato de pó de coco (TVP) apresentou maior eficiência na proteção do talude estudado, pois a utilização do pó de coco proporcionou redução do escoamento superficial e da erosão no talude.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAD, M.; NOGUERA, P. Substratos para el cultivo sin suelo y fertirrigación. In: CADAHIA, C. (Ed.) **Fertirrigación: cultivos hortícolas y ornamentales**. Madrid: Mundi-Prensa, p. 287-342.1998.

ARAGAO, W. M. **Coco: pós-colheita**. Série frutas do Brasil. Brasília: EMBRAPA, 2002.

ARAUJO, G. H. S.; ALMEIDA, J. R.; GUERRA, A. J. T. **Gestão ambiental de áreas degradadas**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010. 322p.

ARAÚJO–FILHO, R.N.; HOLANDA, F.S.R.; ANDRADE, K.R. Implantação de técnicas de bioengenharia de solos no controle da erosão no baixo São Francisco, estado de Sergipe. **Scientia Plena**, v.9, n. 7, p. 1-9, 2013.

ARRUDA, R. L. B.; HENRIQUES, E. **Gramados**. São Paulo: Europa, 1995. 63 p.

BAK, Ł.; MICHALIK, A.; TEKIELAK, T. The relationship between bank erosion, local aggradation and sediment transport in a small Carpathian stream. **Geomorphology**, v. 191, p. 51–63, 2013.

BARBOSA, M. C. R.; LIMA, H. M. Resistência ao cisalhamento de solos e taludes vegetados com capim vetiver. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 1, p. 113-120, 2013.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 5.ed. São Paulo: Ícone. 2005. 355p.

BIGARELLA, J. J., BECKER, R. D., SANTOS, G. F. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. v. 3. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2007.

BITENCOURT, D. V.; PEDROTTI, A. Usos da casca de coco: Estudo das viabilidades de implantação de usina de beneficiamento de fibra de coco em Sergipe. *Revista da Fapese*, v. 4, n. 2, p. 113-122, 2008.

BOCHET, E.; GARCIA-FAYOS; TORMO, J. How can we control erosion of roadslopes in semiarid mediterranean areas? soil improvement and native plant establishment. **Land Degrad. Develop.** v. 21, p. 110-121, 2010.

BOOMAN, J. L. E. Evolução dos substratos usados em horticultura ornamental na Califórnia. In: KAMPF, A. N.; FERMINO, M. H. (Ed.) **Substratos para plantas: a base da produção vegetal em recipientes**. Porto Alegre: Gênese, p. 43-65, 2000.

BRASIL. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. **Manual de conservação rodoviária** (Publicação IPR- 710). Rio de Janeiro, 2005. 568 p.

BURROUGHS, E.R.; KING, J.G. **Reduction of soil erosion on forest roads**. Washington: United States Department of Agriculture, Technical Report n. 264, p 1-22, jul. 1989.

CAMPBELL, S. D. G.; SHAW, R; WONG, J. C. F. **Guidelines for soil bioengineering applications on natural terrain landslide scars**. Geo Report N° 227. Geotechnical Engineering Office Civil Engineering and Development Department the Government of the Hong Kong Special Administrative Region. 2008.

CAO, C. S.; CHEN, L.; GAO, W. Impact of planting grass on terrene roads to avoid soil erosion. **Landscape and Urban Planning**, v. 78, p. 205–216, 2006.

CAO, L., ZHANG, Y., LU, H., YUAN, J., ZHU, Y., LIANG, Y. Grass hedge effects on control- ling soil loss from concentrated flow: a case study in the red soil region of China. **Soil Tillage Res.** v.148, p. 97-105. 2015.

CARDOSO, E.L.; SILVA, M.L.N.; MOREIRA, F.M.S.; CURI, N. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em pastagem cultivada e nativa no Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 6, p. 631-637, 2009. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2009000600012>>.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia prática**. CPRM, Rio de Janeiro, 1994. 372p.

CARVALHO, J. C. et al. (Orgs). **Processos erosivos no centro-oeste brasileiro**. Brasília: Finatec, 2006. 464 p.

CARVALHO, P.A.S. (Coord.). **Manual de Geotecnia: taludes de rodovias, orientações para diagnóstico e soluções dos seus problemas** (Publicação IPT, n. 1843). São Paulo: IPT, 1991. 338p.

CASSOL, E.A.; ELTZ, F.L.F.; MARTINS, D.; LEMOS, A.M.; LIMA, V.D.; BUENO, A.C. Erosividade, padrões hidrológicos, período de retorno e probabilidade de ocorrência das chuvas em São Borja, RS. **Rev. Bras. Ci. Solo**, v. 32, p. 1239-1251, 2008.

CASTRO, P. T. C. □ Cobertura vegetal e indicadores microbiológicos de solo em talude revegetado. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa/MG, 2007, 39p.

CHAU, N.L.; CHU, L.M. Fern cover and the importance of plant traits in reducing

erosion on steep soil slopes. **Catena**, v. 151, p. 98–106, 2017. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2016.12.016>>

CHAVES, H.M.L.; ORLOWSKI, E; ROLOFF, G. Previsão da infiltração sob condições dinâmicas de selamento superficial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 17, n. 2, p. 141-147, 1993.

CLIMATE. Climatograma Recife. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/location/5069/>> Acesso em: 05 jan.2018.

COAN, R. M.; TURCO, J. E. P.; PIVETTA, K. F. L.; COSTA, M. N.; MATEUS, C. M. Emerald Zoyzia grass development regarding photosynthetically active radiation in different slopes. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v. 32, n. 3, p. 501-509, 2012.

COELHO, A. T. Nova tecnologia para controle de erosão. **Folha Florestal**, v. 90, p. 10-12, 1998.

COELHO, A. T.; PEREIRA, A. R. **Efeitos da vegetação na estabilidade de taludes e encostas**. Belo Horizonte: DEFLOR Bioengenharia, 2006. Boletim Técnico. Ano 1, n. 2.

COPEL. Copel Geração e Transmissão S.A. **Plano de Trabalho É Programa de Monitoramento de processos erosivos e assoreamento**. 2012 Disponível em: <[http://www.copel.com/uhecolider/sitearquivos2.nsf/arquivos/assoreamento_plano_de_trabalho/\\$FILE/Plano%20de%20trabalho.pdf](http://www.copel.com/uhecolider/sitearquivos2.nsf/arquivos/assoreamento_plano_de_trabalho/$FILE/Plano%20de%20trabalho.pdf)> Acesso em: 02 jan. 2017.

CORREIA, D.; ROSA, M.D.F.; NORÕES, E.R.D. V.; ARAUJO, F.B.D. Uso do pó da casca de coco na formulação de substratos para formação de mudas enxertadas de cajueiro anão precoce. **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal - SP, v. 25, n. 3, p. 557-558, 2003.

CORREA. G. T; SOUZA FILHO. E. E. Avaliação dos processos de erosão marginal no arquipélago Floresta Japonesa (Alto Rio Paraná). **Geografia**, Londrina, v. 18, n. 2, p. 1-20, 2009.

COUTO L. Técnicas de bioengenharia para revegetação de taludes no Brasil. **Boletim Técnico**: CBCN, n. 001, ISSN: 2177-305X. Viçosa/MG, 2010.

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. C.; COSTA, C. A. B.; GOMIDE, L. C.; MOTTA, P. H. **Técnicas de bioengenharia para revegetação de taludes no Brasil**. Viçosa, MG. Boletim Técnico n.º 001 do Centro Brasileiro para Conservação da Natureza e Desenvolvimento Sustentável CBCN, 2010. 118p.

DEFLOR. **A bioengenharia de solos na proteção e recuperação ambiental**. Belo Horizonte, 2005. 47 p.

DER. Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo: Estradas vicinais e de terra. São Paulo: Editora do IPT, 1991.

DIAS, D. M.; SANTOS, E. C.; GOMES, D. P. P. **Bioengenharia dos solos para estabilização de taludes aplicada nas indústrias nucleares do Brasil** Ë INB. Itapetinga, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, 2011.

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes: Norma DNIT 074/2006 – ES. Tratamento ambiental de taludes e encostas por intermédio de dispositivos de controle de processos erosivos – Especificação de serviço. Disponível em: <http://www.kpesic.com/sites/default/files/DNIT074_2006_ES.pdf> Acesso em: 30 dez 2017.

DURLO, M. A.; SUTILI, F. J. **Bioengenharia: manejo biotécnico de cursos de água**. Porto Alegre/RS: EST Edições, 2005. 189p.

FATTET, M., FU, Y., GHESTEM, M., MA, W., FOULONNEAU, M., NESPOULOUS, J., LE BISSONNAIS, Y., STOKES, A. Effects of vegetation type on soil resistance to erosion: relationship between aggregate stability and shear strength. **Catena**, v. 87, p. 60–69, 2011.

FERNANDES, L.S.; GRIFFITH, J. J.; FONSECA, D.M; DIAS, L.E.; RUIZ, H. A. Uso de geomantas no controle da erosão superficial hídrica em um talude em corte de estrada. **Rev. Bras. Ciência do Solo**, v.33, n. 1, p. 199-206, 2009.

FERNANDES, J. P., FREITAS, A. R. M. **Introdução à Engenharia Natural**. v.2. Lisboa: EPAL, 2011. 107 p.

GODOY, L. J. G.; VILLAS BÔAS, R. L.; BULL, L. T. O gramado encobre segredos. **Agriannual: anuário estatístico da agricultura brasileira**, São Paulo: p. 310-313, 2006.

GONÇALVES, J. L. M.; SANTARELI, E. G.; MORAES NETO, S. P.; MANARA, M. P. Produção de mudas de espécies nativas: substrato, nutrição, sombreamento e fertilização. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Ed.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, p.309-350, 2000.

GUERRA, A. J. T. Experimentos e monitoramentos em erosão dos solos. **Revista do Departamento de Geografia da USP**, v. 16, p. 32-37, 2005.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia Ë Exercícios, Técnicas e Aplicações**. 4 ° Ed. Rio de Janeiro. Ed. Bertrand Brasil, 2010.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. **Estabilidade de taludes naturais e de escavação**. São Paulo. Edgard Blucher. 1976.

GRAY, D. H.; SOTIR, R. B. **Biotechnical and soil bioengineering slope stabilization: a practical guide for erosion control**. New York: John Wiley e Sons. 1996. 377p.

GURGEL, R. R. **Meio ambiente, reciclagem e tratamento de resíduos**. RT. Brasília: Ministério da ciência e da tecnologia, 2005.

HENSHAW, A. J.; THORNE, C. R.; CLIFFORD, N. J. Identifying causes and controls of river bank erosion in a British upland catchment. **Catena**. v.100, p. 107–119, 2012.

HERBST, M., ROBERTS, J.M., ROSIER, P.T.W., GOWING, D.J. Measuring and modelling the rainfall interception loss by hedgerows in southern England. **Agric. For. Meteorol.** v. 141, p. 244–256, 2006.

HOLANDA, F.S R.; ROCHA, I.P.; OLIVEIRA, V.S. Estabilização de taludes marginais com técnicas de bioengenharia de solos no Baixo São Francisco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 6, p. 570–575, 2008.

HORNER, W.W.; JENS, S.W. Surface runoff determination from rainfall without using coefficients. **Transactions of the ASAE**. v.107, p. 1039-1117. 1942.

KELLEY, H. W. Keeping the Land Alive. Soil erosion - its causes and cures. In: Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Soils Bulletin**, Roma: FAO, n. 50, 1990.

KLEIN, C. Utilização de substratos alternativos para produção de mudas. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 4, p. 43-63, 2015.

LACERDA, M. R. B.; PASSOS, M.A.A.; RODRIGUES, J.J.V.; BARRETO, L.P. Características físicas e químicas de substratos à base de pó de coco e resíduo de sisal para a produção de mudas de sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth). **R. Árvore**, Viçosa-MG, v. 30, n. 2, p. 163-170, 2006.

LEWIS, L. **Soil bioengineering - an alternative to roadside management - a practical guide**. Technical Report 0077-1801-SDTDC. San Dimas, CA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, San Dimas Technology and Development Center, 2000. 44p .

LIMA, A.P.L.; DAMATO, J.; SOUZA, C.M. Avaliação de um consórcio gramínea-leguminosa na revegetação de um talude e sua influência na temperatura e

umidade do solo. **Revista Verde**, v. 9, n. 1, p. 249-253, 2014.

LIU, Y.J., WANG, T.W., CAI, C.F., LI, Z.X., CHENG, D.B. Effects of vegetation on runoff generation, sediment yield and soil shear strength on road-side slopes under a simulation rainfall test in the three gorges reservoir area, China. **Sci. Total Environ.** 485-486: 93-102. 2014.

LORENZI, H.; SOUZA, H. M. **Plantas Ornamentais do Brasil, arbustivas, herbáceas e trepadeiras**. 3.ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2001. 1088 p.

MARIANI, P. P. **Produção e aplicação de biomantas para controle de erosão em taludes**. Dissertação (mestrado) no Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. UFRS, 2016. 87p.

MASSAD, F. **Obras de Terra: Curso básico de geotecnia**. São Paulo: Oficina de Textos. 2003.184p.

MEGALE, C.M.S. **Avaliação do enraizamento e brotação na propagação de espécies potenciais para revegetação e estabilização de taludes**. Dissertação (Mestrado em Ciências em Meio Ambiente e Recursos Hídricos) Universidade Federal de Itajubá. 2011. 57p.

MELLONI, R.; DE FARIA, M.T.; CARNEIRO, L. O.; FERREIRA, G.M.R.; MELLONI, E.G.P.; ALVARENGA, M.I.N. Propágulos e formação de micorriza em taludes de rodovia, no sul de Minas Gerais, Brasil. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 11, n. 1, p. 26-32. 2016.

MELO, F.L.; SIMÃO, J.B.P.; CAIADO, M.A.C.; RANGEL, O.J.P. Vegetação como instrumento de proteção e recuperação de taludes. **Revista Verde**, v.8, n.5, p.116-124, 2013.

MENEZES, L. A. S.; GOMES, R. L.; MINERVINO NETTO, A. **Identificação das principais espécies da cobertura vegetal envolvida na contenção de taludes rodoviários no trecho da BA_001 compreendido entre Itacaré e Serra Grande**. Disponível em: <<http://www.seminarioicuesc.com.br/sistema/resumos/2007187.pdf>>. Acesso em: 10 abr. 2008.

MORETTO, R.L. **Efeitos da vegetação na proteção de taludes rodoviários e proposição de alternativas de revegetação na BR-386**. Dissertação Mestrado UFRGS, Porto Alegre, 2012. 124p.

NAVARRO, J. H. 2002. **Control de La Erosión en Desmontes originados por obras de infraestructura viária: aplicação al entorno de Palencia Capital**. Tesis Doctoral - Departamento de Ingeniería Forestal - Universidad Politécnica de Madrid. 811f.

NAVARRO, J. H. Control de sedimentos em obras com impacto fluvial para el desarrollo de La Vigilancia Ambiental. **Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales** ISSN: 1575-2410., v. 32, p. 29-41. 2011.

NEGISHI, J.N.; SIDLE, R.C.; NOGUCHI, S.; NIK, A. R.; STANFORTH, R. Ecological roles of roadside fern (*Dicranopteris curranii*) on logging road recovery in Peninsular Malaysia: Preliminary results. **Forest Ecology and Management**, v. 224, p. 176-186, 2006.

NOGUERA, P. A. et al. Coconut coir waste, a new viable ecologically – Friendly peat substitute. **Acta Horticultural**, v. 517, p. 279-286, 2000.

NUNES, M. U. C. **Produção de mudas de hortaliças com o uso da plasticultura e do pó da casca de coco**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, Comunicado Técnico 13, 2000. 29 p.

OLIVEIRA, A. B.; HERNANDEZ, F. F. F.; ASSIS JÚNIOR, R. N. Pó de coco verde, uma alternativa de substrato na produção de mudas de berinjela. **Rev. Ciên. Agron.**, Fortaleza, v. 39, n. 1, p. 39-44, 2008.

ROCHA, W.W. **Resistência ao cisalhamento e estabilidade de taludes de voçorocas em solos da região de Lavras (MG)**. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, 2003, 101p.

ROCHA, P. C; SOUZA FILHO, E. E. Erosão marginal em canais associados ao Rio Paraná na região de Porto Rico - PR . **Boletim Paranaense de Geociências UFPR**. v. 44, 1996.

ROCHA, P. C.; SOUZA FILHO, E. E; COMUNELLO, E ; CORREA, G. T. Evolução Hidrodinâmica e Processos Erosivos Marginais nos Canais do Sistema de Inundação do Alto Rio Paraná, Região Centro - Sul do Brasil. **Pesquisas em Geociências** (UFRGS), v. 28, n. 2, p. 161 - 170, 2001.

ROCHA, W.W.; DIAS JUNIOR, M.S.; LIMA, J.M.; MIRANDA, E.E.V.; SILVA, A.R. Resistência ao cisalhamento e grau de intemperismo de cinco solos na região de Lavras (MG). **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 26, p. 297-303, 2002.

ROSA, M.F.; ABREU, F.A.P.; FURTADO, A.A.L.; BRÍGIDO, A.K.L.; NORÕES, E.R.V. **Processo agroindustrial: obtenção de pó de casca de coco verde**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, Comunicado técnico 61, 2001, 4p.

SANTIAGO, A. V. **Evapotranspiração de referência medida por lisímetros de pesagem e estimada por Penman-Monteith (FAO 56), nas escalas mensal e decenal**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. 2001. 52p.

SANTOS, J. C.; BARBOSA, E. C.A. Proposta de revitalização da falésia Cabo Branco com técnicas sustentáveis de engenharia convencional e bioengenharia. **Revista Ambiental**. v. 1, n. 3, p. 101-114, 2015.

SANTOS, T.E.M.; MONTENEGRO, A.A.A. Erosividade e padrões hidrológicos de precipitação no Agreste Central pernambucano. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v. 16, n. 8, p. 871–880, 2012.

SAULI, G., CORNELINI, P., PRETI, F. **Manuale di Ingegneria Naturalística**, Sistemazione dei versanti. Regione Lazio, Roma, v. 3, 2005.

SENHORAS, E. **Estratégia de uma Agenda para a Cadeia Agroindustrial do Coco**. Campinas: Ed. ESC, 2003.

SILVA, A.J.N.; CABEDA, M.S.V. Influência de diferentes sistemas de uso e manejo na coesão, resistência ao cisalhamento e óxidos de Fe, Si e Al em solo de tabuleiro costeiro de Alagoas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 447-457, 2005.

SILVA, A.J.N.; CARVALHO, F.G. Coesão e resistência ao cisalhamento relacionadas a atributos físicos e químicos de um Latossolo Amarelo de tabuleiro costeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 853-862, 2007.

SILVA, D.J.B.V. **Avaliação de métodos de baixo custo para a proteção de taludes em estradas rurais não pavimentadas**. Dissertação Mestrado: UNESP, 2009. 71p.

SILVA, M.L.N. **Erodibilidade e impacto direto das gotas de chuva simulada sobre a superfície de Latossolos sob cerrado**. Dissertação de Mestrado Universidade Federal de Lavras – MG, 1994. 119p.

SILVA, R.B.; DIAS JÚNIOR, M.S.; SANTOS, F.L.; FRANZ, C.A.B. Resistência ao cisalhamento de um Latossolo sob diferentes uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p.165-173, 2004.

SILVEIRA, E.B.; RODRIGUES, V.J.L.B.; GOMES, A.M.A; MARIANO, R.L.R.; MESQUITA, J.C.P. Pó de coco como substrato para produção de mudas de tomateiro. **Horticultura Brasileira**, v. 20, p. 211-216, 2002.

SOUZA, C. R.; SEIXAS, F. Avaliação de diferentes coberturas do solo no controle da erosão em taludes de estradas florestais. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 60, p. 45-51, 2001.

SOUZA FILHO, H.L; SANTOS, R.R.A.; CARNEIRO, W.J.O. **A bioengenharia na estabilização de taludes e encostas naturais da cidade de Salvador É BA**. XIII SEPA - Seminário Estudantil de Produção Acadêmica, UNIFACS, 2014. Disponível em:

<www.revistas.unifacs.br/index.php/sepa/article/download/3384/2427> Acesso em: 28 nov. 2016.

STOKES, A., NORRIS, J.E., VAN BEEK, L.P.H., BOGAARD, T., CAMMERAAT, E., MICKOVSKI, S.B., JENNER, A., DI IORIO, A., FOURCAUD, T. How vegetation reinforces soil on slopes. In: NORRIS, J.E., STOKES, A., MICKOVSKI, S.B., CAMMERAAT, E., VAN BEEK, R., NICOLL, B.C., ACHIM, A. (Eds.), **Slope Stability and Erosion Control: Ecotechnological Solutions**. Springer, Dordrecht, p. 65–118. 2008.

SUTILI, F. J.; DURLO, M. A.; BRESSAN, D. A. Potencial biotécnico do sarandi-branco (*Phyllanthus sellowianus* Müll. Arg.) e vime (*Salix viminalis* L.) para revegetação de margens de curso de água. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 14, n. 1, p. 13-20, 2004.

TEO, C.K.H; TAN, E.H. Tomato production in cocopeat. **Planter**, v. 69, p. 239-242, 1993.

USDA–NRCS. **Technical Supplement 14I Streambank Soil Bioengineering**. In 210–VI–N

VALVASSORI, M. L.; BACK, A. J. Caracterização das chuvas erosivas em urussanga, sc, com relação ao padrão de distribuição temporal. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 38, p. 1020-1027, 2014.

VILLAS BOAS, R. L.; GODOY, L. J. G. **Produção de grama no Brasil e as pesquisas sobre nutrição e adubação de gramados na Faculdade de Ciências Agrônômicas**. Jornal FCA. Disponível em: <http://www.fca.unesp.br>> Acesso em: 31 maio 2007.

VOLK, L.B.S.; COGO, N.P. Relações entre tamanho de sedimentos erodidos, velocidade da enxurrada, rugosidade superficial criada pelo preparo e tamanho de agregados em solo submetido a diferentes manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 5, p. 1459-1459, 2009.

ZOU, M., ZHU, K.H., YIN, J.Z., GU, B. Analysis on slope revegetation diversity in different habitats. **Procedia Earth Planet. Sci.**, v. 5, p. 180–187. 2012.