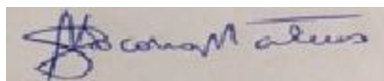


ESTUDO DO CONTROLE DA ERODIBILIDADE DE UM TALUDE RODOVIÁRIO COM
A UTILIZAÇÃO DA GEOMANTA

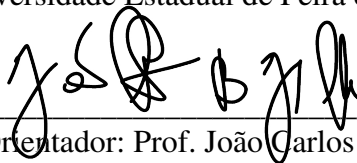
Ronaldo Ramos de Oliveira

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL.

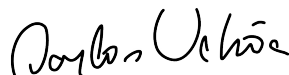
Aprovada por:



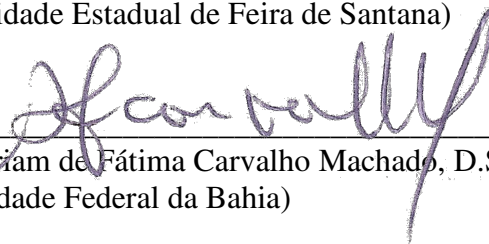
Orientadora: Prof.^ª Maria do Socorro Costa São Mateus, D.Sc.
(Universidade Estadual de Feira de Santana)



Co Orientador: Prof. João Carlos Baptista Jorge da Silva, D.Sc.
(Universidade Estadual de Feira de Santana)



Prof. Carlos César Uchôa de Lima, D.Sc.
(Universidade Estadual de Feira de Santana)



Prof.^ª Miriam de Fátima Carvalho Machado, D.Sc.
(Universidade Federal da Bahia)

FEIRA DE SANTANA, BA – BRASIL

FEVEREIRO/2020

Ficha catalográfica - Biblioteca Central Julieta Carteado - UEFS

Oliveira, Ronaldo Ramos de
O51e Estudo do controle de erodibilidade de um talude rodoviário com a
utilização da geomanta / Ronaldo Ramos de Oliveira. – 2021.
79f. : il.

Orientadora: Maria do Socorro Costa São Mateus
Coorientador: João Carlos Baptista Jorge da Silva

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Feira de Santana.
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, 2021.

1. Erodibilidade. 2. Taludes. 3. Grupo Barreiras. 4. Simulador de
chuva. 5. Geomanta. I. São Mateus, Maria do Socorro Costa, orient.
II. Silva, João Carlos Baptista Jorge da, coorient. III. Universidade
Estadual de Feira de Santana. IV. Título.

CDU: 624.138.2

Rejane Maria Rosa Ribeiro – Bibliotecária CRB-5/695

Resumo da Dissertação apresentada ao PPGECEA/UEFS como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL.

Ronaldo Ramos de Oliveira

Fevereiro/2020

Orientador 1: Prof^ª. Dr^ª. Maria do Socorro Costa São Mateus

Orientador 2: Prof. Dr. João Carlos Baptista Jorge da Silva

Programa: Engenharia Civil e Ambiental

RESUMO

Este trabalho avaliou a eficácia do emprego da geomanta sintética para reduzir os processos erosivos, ocasionados pelo impacto dos pingos da chuva e pelo fluxo superficial. Foi apresentada uma revisão de literatura, que abordou conceitos básicos dos fenômenos, agentes e fatores que condicionam o processo erosivo. Para caracterizar a abordagem experimental, foi escolhido um talude com solo da Formação Barreiras, que foi classificado quanto à erodibilidade pelo método brasileiro aplicado a solos tropicais, MCT-M, em seguida reproduzidas em laboratório as mesmas condições de campo, para atestar a eficácia da aplicação de geomanta sintética com o auxílio do simulador de chuva. Para avaliação, foram coletadas amostras de solo, deformadas e indeformadas, de um talude localizado na BR-324, região de Simões Filho - BA, onde afloram sedimentos da Formação Barreiras, do qual foram escolhidas duas litofácies, uma argilosa e outra arenosa. Por meio de ensaios de caracterização geotécnica e caracterização MCT-M, foi classificado o potencial erosivo. Foram utilizados ainda, por meio de ensaios diretos para análise da erodibilidade, os ensaios de desagregação e ensaios com simulador de chuva, com e sem aplicação da geomanta para este último. Ambos os horizontes, argiloso e arenoso, foram classificadas como mediamente erodível com sulcos frequentes. Os resultados dos trabalhos de laboratório atestaram o grau de redução do potencial erosivo em 65% para o horizonte arenoso e 93% para o argiloso, quando do uso da geomanta, dessa forma, contribuindo para o aperfeiçoamento de métodos de recobrimentos de taludes e aumentando a eficiência nas obras de engenharia em áreas de relevo acidentado.

Palavras-chave: Erodibilidade. Taludes. Grupo Barreiras. Simulador de chuva. Geomanta.

Abstract of Dissertation presented to PPGECEA/UEFS as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

ERODIBILITY CONTROL STUDY OF A ROAD SLOPE WITH THE USE OF GEOMANT

Ronaldo Ramos de Oliveira

2020 / February

Advisor 1: Prof^a. Dr^a. Maria do Socorro Costa São Mateus

Advisor 2: Prof. Dr. João Carlos Baptista Jorge da Silva

Department: Civil and Environment Engineering

ABSTRACT

In this paper, it was presented a literary review that will approach basic concepts of the phenomena, agents and factors that condition the erosive process. In order to characterize the experimental approach, a slope with soil of barrier formation was chosen, this one was classified for the erodibility by the Brazilian method applied to tropical soils, MCT-M, then reproduced in the laboratory the same field conditions in order to classify the erodibility with the aid of the rain simulator. Since there are solutions on erosion control in the market, such as the use of geomants, this work has as general objective to evaluate the effectiveness of the use of the synthetic geomanta to reduce the erosive processes. For evaluation, disturbed and undisturbed soil samples were collected from a slope located at BA-324, Simões Filho - BA region, applying geotechnical and MCT-M characterization, to classify the erosive potential. Also, through direct tests for erodibility analysis, the disintegration tests and rainfall simulator tests were carried out, with and without the application of the geomant for the latter. The results of the laboratory tests were attest to the degree of reduction of the erosive potential. Thus, contributing to the improvement of slope recoating methods and increasing the efficiency in the engineering works in areas of rugged relief.

Keywords: Eroding. Slopes. Barriers group. Rain simulator. Geomant.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Efeito <i>splash</i> no solo e formação de poça	19
Figura 2 - Abordagem da erosão em encostas e taludes pela análise do escoamento superficial uniforme em talude infinito.	22
Figura 3 - Relação da geomanta com o reforço das raízes.	27
Figura 4 – Faixas de erodibilidade definidas sobre o ábaco classificatório MCT modificado	29
Figura 5 – Recorte da Carta Geológica da Bahia	32
Figura 6 – a) Região Metropolitana de Salvador com destaque do município de Simões Filho; b) localização da Área; c) Vista aérea da BA-324, trecho Simões Filho; d) Talude estudado.	33
Figura 7- Talude do Grupo Barreiras: erosões em sulcos, com destaque dos horizontes.	34
Figura 8 – Esquematização da pesquisa	35
Figura 9 - Tentativa de moldar o corpo de prova da amostra do horizonte superior	37
Figura 10 - Perspectiva da divisão dos corpos de prova em cada face.....	38
Figura 11 - Extração e moldagem dos corpos de prova	38
Figura 12 - Início do ensaio de desagregação, nível de água até a base dos corpos de prova.	39
Figura 13 - Ensaio de desagregação, após o aumento do nível de água para 1/3.....	39
Figura 14 - Esquema dos ensaios com simulador de chuva	40
Figura 15 - Aparelho Simulador de chuva	41
Figura 16 - Mesa metálica com os coletores de água.....	41
Figura 17 - Mesa metálica com placa protetora	42

Figura 18 -Gráfico da abertura da placa defletora x intensidade de chuva, referente ao bocal 1.	43
Figura 19 – Fôrma de moldagem do corpo de prova.....	45
Figura 20 - Destorroamento da amostra deformada.	45
Figura 21 - Pesagem e preparação dos corpos de prova.....	46
Figura 22 - Compactação do corpo de prova com auxílio de um soquete.	46
Figura 23 - Passo a passo do ensaio de erodibilidade	47
Figura 24 - Painel de controle e indicação da rotação (100 Rev./min).	47
Figura 25 - Medidor de fluxo e registro de pressão (0,6 bar).....	48
Figura 26 - Curva granulométrica da amostra HI – Arenoso	50
Figura 27 - Curva granulométrica da amostra HS - Argiloso	50
Figura 28 - Critério de Vertamatti e Araújo (1990) – classificação dos solos estudados quanto ao grau de erodibilidade no Ábaco MCT–M.....	54
Figura 29 - Ensaio de Desagregação com o horizonte inferior (HI) – Arenoso.....	54

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Interpretação dos resultados do ensaio de desagregação	31
Quadro 2 - Características dos solos estudados segundo a metodologia MCT.....	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultados dos ensaios de análise granulométrica com e sem defloculante	49
Tabela 2 - Resultados dos ensaios de limites de consistência, massa específica e índices físicos.	51
Tabela 3 - Resultados do ensaio de desagregação	56
Tabela 4 - Classificação do ensaio de desagregação segundo Holmgren e Flanagan (1977)..	57
Tabela 5 - Resultados do ensaio de dispersão	58
Tabela 6 - Controle de compactação do Solo Arenoso – HI e índices físicos das amostras ...	59
Tabela 7 - Controle de compactação do Solo Argiloso – HS e índices físicos das amostras..	60
Tabela 8 - Resultados de desagregação laminar e por <i>Splash</i> do Solo Arenoso – HI	61
Tabela 9 - Resultados de desagregação laminar e por <i>Splash</i> do Solo Argiloso – HS.....	62
Tabela 10 - Percentual de redução de erodibilidade para as amostras ensaiadas	64
Tabela 11 - Potencial de erodibilidade em função do controle de compactação	65

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO E MOTIVAÇÃO	10
1.2	OBJETIVOS	11
1.2.1	Objetivo Geral	11
1.2.2	Objetivos Específicos	12
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1	EROSÃO: UMA AMEAÇA AMBIENTAL.....	13
2.2	A EROSÃO NO SOLO	15
2.3	MECÂNICA DO PROCESSO EROSIVO.....	18
2.3.1	Estudo sobre o Efeito <i>splash</i> (Desagregação)	19
2.4	FATORES QUE INFLUENCIAM NA ERODIBILIDADE DOS SOLOS	23
2.5	ESTUDO DOS FATORES QUE INFLUENCIAM NA REDUÇÃO DA ERODIBILIDADE DO SOLO	25
2.6	UTILIZAÇÃO DE GEOMANTAS EM SISTEMAS DE CONTROLE DE EROSÃO	25
2.7	ENSAIOS GEOTÉCNICOS PARA DETERMINAÇÃO DA ERODIBILIDADE DO SOLO	28
2.7.1	Estimativa de erodibilidade dos solos tropicais baseada no método MCT (Miniatura, Compactado, Tropical)	28
2.7.2	Ensaio com simulador de chuva	30
2.7.3	Ensaio sedimentométrico comparativo.....	30
2.7.4	Ensaio de desagregação	30
3	MATERIAL E MÉTODOS	31
3.1	MATERIAL ESTUDADO	31
3.2	CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS	31
3.3	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA	33
3.4	COLETA DE AMOSTRAS	33
3.5	ESQUEMATIZAÇÃO DA PESQUISA	34
3.6	ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS.....	35
3.7	ENSAIOS DE ERODIBILIDADE	36
3.7.1	Critérios de erodibilidade baseados na Metodologia MCT	36

3.7.2	Ensaio de desagregação	37
3.7.3	Simulador de Chuva Utilizado na Pesquisa.....	39
3.7.4	Calibração do Simulador de Chuva	41
3.7.5	Definição das Declividades	43
3.7.6	Definição das Intensidades de Precipitação.....	43
3.7.7	Compactação da Amostra Deformada.....	44
3.7.8	PROCEDIMENTO PARA EXECUÇÃO DO ENSAIO DE ERODIBILIDADE ...	47
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
4.1	ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS.....	49
4.3	ANÁLISE DA DESAGREGAÇÃO DOS SOLOS ESTUDADOS	54
4.4	ANÁLISE DO ENSAIO SEDIMENTOMÉTRICO	57
4.5	AVALIAÇÃO DA ERODIBILIDADE DO SOLO COM O SIMULADOR DE CHUVA	58
4.6	RESUMO DOS RESULTADOS DOS MÉTODOS APLICADOS	65
5	CONCLUSÕES.....	66
	REFERÊNCIAS	67

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E MOTIVAÇÃO

Nos últimos tempos, pôde-se observar a intensificação das mudanças climáticas, por todo o globo, incluindo diversos desastres e catástrofes naturais. Esse comportamento chamou atenção de cientistas e estudiosos da área, fazendo com que estudos relacionados ao tempo e solos se tornassem pauta de fóruns de discussões. Assim, em 2009, foram definidos 9 limites planetários, com o objetivo de garantir a capacidade do planeta de retornar ao seu estado natural após uma perturbação. Um desses limites, que permanece em observação, é referente a causa/efeito do aquecimento global, em que se sabe que é provocado pelo lançamento de gases do efeito estufa, impactando diretamente na elevação das temperaturas dos oceanos. Tal fato influencia diretamente na modificação dos eventos climáticos e dos padrões de precipitações pluviométricas, resultando em tempestades mais intensas em um curto espaço de tempo e secas com períodos mais longos em outros momentos, favorecendo assim a desertificação e aceleração dos processos erosivos.

É válido lembrar que a erosão consiste em um conjunto de fenômenos naturais de processamento lento, medido pelo tempo geológico, no qual os materiais que constituem a crosta terrestre são degradados e transportados, alterando as paisagens terrestres devido aos agentes erosivos, como o vento, a chuva e os rios. Considerando ainda esses fatores naturais, pode-se observar que, em torno de todo o globo, as erosões vêm ocorrendo com maior frequência e influenciando diretamente no aumento de perdas não só materiais, mas de vidas humanas. De acordo com Borrelli (2017), registros históricos demonstram um aumento expressivo na quantidade e na intensidade dessas ocorrências, resultando em prejuízos à sociedade, como a redução da fertilidade dos solos, assoreamento de cursos de água, soterramento de casas, fechamento de vias de transporte e, ainda, prejuízos econômicos.

A erosão é estudada em diferentes campos como Agronomia, Hidráulica, Geologia de Engenharia e Engenharia Geotécnica. O estudo dos artificios e parâmetros, que definem como ocorre a degradação dos solos, é imprescindível para se compreender todo o método e buscar as corretas ações de controle e restabelecimento de áreas degradadas. Esse fenômeno pode ser agravado pela ação antrópica, acelerando e aumentando a sua intensidade, com a execução de obras de engenharia sem planejamento e sem preocupação ambiental, tendo em vista que o solo sem proteção, bem como a impermeabilização de áreas com a elevação do volume de

enxurradas, gera maior remoção, transporte e deposição de sedimentos. Assim, a erodibilidade tem se tornado um dos principais parâmetros de estudo para os pesquisadores, por se tratar de uma propriedade de comportamento dos solos de maior complexidade, levando-se em consideração a grande variação de fatores físicos, químicos, biológicos e mecânicos intervenientes (CARVALHO *et al.*, 2006).

A erodibilidade é a suscetibilidade a erosão hídrica causada pelo fluxo superficial e pode ser definida como a maior ou menor facilidade com que suas partículas são destacadas e transportadas pela ação de agentes erosivos (BASTOS, 1999). Em um sentido mais amplo, a erodibilidade pode levar em conta as características da infiltrabilidade do solo, relacionadas a um maior ou menor escoamento.

Portanto, a motivação para a realização desta pesquisa teve origem na constatação de fortes processos erosivos em taludes encontrados na Bahia. Essa situação é acelerada e se dá devido ao avanço social e à necessidade de obras de infraestrutura, associada à falta de planejamento urbano e ambiental. Dessa forma, faz-se necessário o aperfeiçoamento das técnicas de recobrimento de taludes, a fim de garantir a eficácia das obras de engenharia em áreas de relevo acidentado.

Parte-se da hipótese de que os problemas relacionados aos processos erosivos em taludes serão solucionados com uma combinação de ações. Nesse contexto, a engenharia geotécnica e/ou a bioengenharia têm apresentado resultados e intenções para controle, mitigação e eliminação dos problemas ambientais. Uma das soluções apresentadas é o uso de geomantas, sintéticas ou naturais, para controle do processo erosivo que devem atender, basicamente, a retenção de finos provenientes do solo erodido transportado e resistir à velocidade de escoamento e esforços tangenciais provocados pelo fluxo de águas superficiais, desta forma facilitando o nascimento da vegetação e, conseqüentemente, promovendo a requalificação ambiental (MARQUES e GEROTO, 2015).

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Avaliar a eficácia do emprego da geomanta, para reduzir os processos erosivos de um talude rodoviário em solo da Formação Barreiras, situado na BR-324 no município de Simões Filho-Ba.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Classificar o grau de erodibilidade do solo a partir do método MCT-M.
- Quantificar, com o auxílio do simulador de chuva, a erosão do solo para uma determinada chuva com e sem a aplicação da geomanta.
- Comparar os efeitos dos agentes considerando o solo com e sem geomanta.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 EROSÃO: UMA AMEAÇA AMBIENTAL

Conforme relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas - IPCC, publicado em 2000, as previsões sobre o futuro do planeta até o ano de 2100 são alarmantes. Mesmo que as emissões de gases do efeito estufa diminuam, a terra continuará sofrendo com os danos residuais e terá que aprender a lidar com o aumento gradual da temperatura. Ainda segundo o relatório do IPCC os países tropicais, tais como o Brasil, poderão ser os mais castigados pelas mudanças climáticas, afirmando também que para algumas regiões o período de estiagem poderá ser mais longo, enquanto em outras as fortes chuvas serão responsáveis pela intensificação das inundações, enchentes, deslizamentos de terra e aceleração dos processos de erosões hidráulicas.

As mudanças climáticas já são perceptíveis atualmente, e o crescimento dessas, pelos eventos descritos acima, irá causar uma intensificação dos fenômenos climáticos, com consequente aumento de desastres naturais. Tempestades severas, secas prolongadas e mudanças no padrão de precipitação comprometerão as áreas de cultivo, diminuirão as áreas habitáveis e favorecerão os processos de erosão e desertificação (GARCIA-CHEVESICH, 2015).

A topografia natural é diretamente afetada pelos processos erosivos. Esse fenômeno ocorre devido ao impacto das gotas da chuva na superfície do solo, onde se encontra a camada mais superficial, orgânica e definida pedologicamente como horizonte O. Ao ocorrer a erosão, nutrientes e partículas do solo abandonam seu local de origem, desse modo diminuindo a capacidade de manter a vegetação, devido à perda do material orgânico (MORGAN, 2005).

A atividade agropecuária é a maior responsável pelo desmatamento e consequente potencialização do processo erosivo em todo o planeta. Além disso, a mineração também tornou-se, junto à agropecuária, uma das principais vilãs do processo de potencialização da erosão, principalmente após os anos de 1970, quando houve uma intensificação desse processo e, como aponta Borrelli *et al.* (2017), a mineração, tanto a céu aberto como subterrânea, deixam um extenso passivo ambiental.

Em relação à erosão urbana, além de ser um problema geotécnico, podemos caracterizá-la como um problema social, gerando situações de risco e desvalorização imobiliária. Os processos erosivos acarretam ameaças às infraestruturas urbanas, devido à degradação do solo

e até à instabilidade de taludes. Além disto, é comumente observado, nos cortes de taludes naturais, o aumento do fluxo das águas pluviais por alteração da topografia, concentração do fluxo das águas superficiais devido a impermeabilizações oriundas da urbanização e exposição de solos suscetíveis à erosão (MORGAN e RICKSON, 1990), situações estas que ainda se apresentam na atualidade.

Nas cidades, as erosões atuam nas encostas, nos canais a céu aberto, vias não pavimentadas e, em menor proporção em parques e praças, fazendo com que todo material erodido seja levado para as partes mais baixas, em que pode ser direcionado para rios ou para os sistemas de drenagem urbana. Do ponto de vista ambiental, o excesso de sedimento pode mudar o curso dos rios, aumentar a planície de inundação, causar problemas à fauna aquática, bem como mudar o ecossistema fluvial. O assoreamento dos rios reduz a lâmina de água. Já do ponto de vista econômico, o excesso de sedimentos nos sistemas de drenagem urbana contribui para o aumento do pico de vazão, provocando enchentes e destruição da infraestrutura urbana (PIMENTEL *et al.*, 1993). Essas manifestações constituem, além de sérios problemas de engenharia, fatores de desequilíbrio ambiental.

Sulcos erosivos, ravinas e voçorocas em meio urbano assumem um papel preocupante. É comum verificar o preenchimento de áreas erodidas com entulho ou resíduos sólidos, nesse caso além de um problema ambiental é caracterizado também um problema sanitário grave. A proliferação de vetores patogênicos, devido ao acúmulo de resíduos sólidos urbanos e esgoto, gera doenças à população.

Essa vulnerabilidade associada à geologia local traz problemas como deslizamentos, erosões, assoreamento de rios e nascentes, dentre outras alterações no bioma.

Para o caso de Salvador e Região metropolitana, somam-se a esses aspectos a geologia diversa que dá origem a solos com grande variação quanto à erodibilidade. Por se tratar de uma região de clima litorâneo úmido, com chuvas concentradas entre março e julho, esta situação exige cuidados na realização de cortes em vias de transportes. Vegetação suprimida, remoção do horizonte orgânico do solo e relevo de vertentes íngremes são elementos que trazem o solo para uma condição de vulnerabilidade.

Na Bahia, a formação geológica também inclui a Formação Barreiras, muito evidente em todo o litoral, a exemplo da BA-099, conhecida como Linha Verde, que apresenta diversos problemas com erosões hídricas. A situação é potencializada à medida que as cidades se desenvolvem, sendo o corte uma tendência natural e conseqüente exposição desse solo para construções de infraestruturas.

A Formação Barreiras, tendo sua origem a partir de eventos cenozóicos de natureza climática e/ou tectônica, é constituída de sedimentos fluviais e marinhos, constituídos por conglomerados de arenitos e argilitos, de cores e granulometrias variadas (ALHEIROS, 1998; ROSSETTI *et al.*, 2013). Esta formação está presente em uma considerável extensão no litoral brasileiro, sendo encontrada desde o Rio de Janeiro até o Pará, em que é possível verificar problemas relativos à erosão.

2.2 A EROSÃO NO SOLO

O termo erosão originou-se do latim, derivando do verbo *erodere* (escavar), sendo a erosão dos solos um processo que ocorre em duas fases: uma que constitui a remoção (*detachment*) de partículas, e outra que é o transporte desse material, efetuado pelos agentes erosivos, eólicos ou hidráulicos (CONCIANI, 2008; GUERRA, SILVA e BOTELHO, 1999; SEIXAS, 1984). Fernandes *et al.* (2009) corroboram, acrescentando o gelo e microrganismos como agentes erosivos.

A erosão constitui um processo natural no desenvolvimento da paisagem. A forma do relevo é lentamente modificada pela ação dos processos erosivos contínuos. A ação antrópica interfere nesse processo com a aceleração ou a atenuação da erosão. O avanço social tem acelerado a deflagração de fenômenos erosivos que afetam a biodiversidade, ameaçam e comprometem a sustentabilidade (PIMENTEL *et al.*, 1993).

A erosão hídrica, uma das principais formas de perda de solos nas regiões tropicais, reduz a taxa de infiltração, a capacidade de retenção da água, carrega os nutrientes, matéria orgânica, reduz a profundidade do solo e desregula sua biota, afetando, dessa forma, sua qualidade (PIMENTEL *et al.*, 1993; BERTONI e LOMBARDI NETO, 1990). No ecossistema, a erosão hídrica também gera impactos, como na qualidade e quantidade da água. O transporte do solo superficial do local de origem e contaminação das águas superficiais gera eutrofização e assoreamento fora do local da erosão (FARIAS, 2012; GLENIO *et al.*, 2010; MACHADO, 2008; PIMENTEL *et al.*, 1993).

A vulnerabilidade do solo a eventos erosivos é denominada erodibilidade, e está diretamente relacionada à textura, estrutura, permeabilidade, infiltração, resistência ao cisalhamento, retenção de água, matéria orgânica e morfologia do perfil (LAL, 2006 e 2000; MORGAN e RIKSON, 1990). A maior ou menor resistência à ação dos agentes físicos é que irá definir o grau de vulnerabilidade do solo, ou seja, a erodibilidade.

O estudo da erosão tem ganhado a atenção da engenharia geotécnica, principalmente a erosão hídrica, que possui a chuva como principal agente. De acordo com o agente mecânico, a erosão hídrica é caracterizada de duas formas:

i) Erosão Interna ou Piping – também conhecida como erosão iluvionar, que é um dos fatores de formação dos horizontes e ocorre devido ao alto grau de dispersibilidade do solo, associado ao elevado gradiente hidráulico, quando a força de percolação supera a resistência localizada do solo. Esse processo torna-se cíclico, pois, uma vez rompida a estrutura do solo, o caminho para percolação torna-se cada vez mais definido e com gradientes hidráulicos maiores, deixando a estrutura do solo passível de novas quebras (MASCARENHA *et al.*, 2015). O *Piping* pode ocorrer também em solos com curva granulométrica aberta que, com o fluxo da água, tendem a perder a fração mais fina, propiciando a formação de cavidades no interior do maciço (MASCARENHA *et al.*, 2015). As partículas menores e os nutrientes do solo são lixiviados para horizontes mais profundos do perfil.

ii) Erosão Pluvial – ocorre pelo impacto direto da chuva, efeito *splash*, associado a um escoamento superficial. Este último é uma decorrência lógica da erosão pluvial por impacto, pois as partículas de solo soltas e desagregadas por esse tipo de erosão ficam em condições de serem facilmente transportadas. A erosão pluvial subdivide-se em duas modalidades, as quais seguem:

- Erosão entressulcos – É devida ao escoamento superficial uniforme em forma de uma delgada lâmina na superfície do solo sem, no entanto, ocorrer concentração do fluxo (erosão “laminar”) (FOSTER, 1982). A desagregação de partículas do solo, na erosão em entressulcos, deve-se, ao impacto direto das gotas de chuva na superfície do solo. As gotas da chuva, quando colidem com a superfície do solo, geram compressão e cisalhamento, com grande capacidade de desagregação pela dissipação de sua energia cinética (HUANG *et al.*, 1983; NEARING *et al.*, 1986). A erosão entressulcos é resultante do processo de desagregação das partículas do solo pelo impacto das gotas de chuva e do transporte das partículas desagregadas, pela lâmina de escoamento. A capacidade de transporte de escoamento é incrementada pelo impacto das gotas de chuva (FOSTER, 1982).

Os fatores que afetam a erosão em entressulcos são a erodibilidade do solo, a cobertura do solo, a intensidade da chuva (FOSTER, 1982; MEYER e HARMON, 1984; WATSON e LAFLEN, 1986; REICHERT, NORTON e HUANG, 1994, SCHAFER *et al.*, 2001), a declividade do solo (YOUNG e ONSTAD, 1978;

MEYER e HARMON, 1992; SCHAFER *et al.*, 2001), o estado de consolidação do solo (NEARING *et al.*, 1988a; REICHERT, NORTON e HUANG, 1994; SCHAFER, 2001), a rugosidade superficial do solo (RÖMKENS e WANG, 1987; ELTZ e NORTON, 1997; SCHAFER *et al.*, 2001) e a umidade inicial do solo (GHUIDEY e ALBERTS, 1994; SCHAFER *et al.*, 2001).

A erodibilidade do solo em entressulcos representa a sua susceptibilidade à desagregação pelo impacto das gotas da chuva, sendo essa susceptibilidade atribuída a características intrínsecas do solo, conferida pelas suas propriedades físicas, químicas e mineralógicas (FOSTER, 1982). Algumas propriedades do solo que afetam a sua erodibilidade são: a textura, o teor de matéria orgânica, a estrutura, o teor de óxidos de ferro e alumínio, as ligações eletroquímicas, a umidade inicial, a mineralogia e o grau de intemperismo (WISCHMEIER *et al.*, 1971; RÖMKENS, ROTH e NELSON, 1977; VEIGA *et al.*, 1993; REICHERT e NORTON, 1994; ALBUQUERQUE *et al.*, 2000).

A ocupação de forma desordenada do solo tem sido um problema de difícil solução e tem provocado diversos problemas ambientais, tais como: a compactação do solo, que diminui a quantidade de água pluvial infiltrada, aumentando assim, o escoamento superficial; deslizamento em áreas de risco; assoreamento de rios e lagos. Esse conjunto de fatores propicia o aumento do processo erosivo laminar, que pode evoluir na forma de sulcos, ravinas e, por fim, a voçoroca.

- Erosão em sulcos – ocorre devido ao intenso desgaste do solo, formada por pequenas depressões da superfície, no sentido de maior declividade. Ao ocorrer a formação dos sulcos, a lâmina de escoamento terá um sentido preferencial e concentrado, o que mobiliza maiores tensões de cisalhamento, portanto, aumentando a capacidade de desagregar o solo (MEYER, FOSTER e RÖMKENS, 1975). A desagregação ocorre por ação das forças de cisalhamento atuantes no contorno sólido (interface água-superfície do solo), sendo o transporte dos sedimentos influenciado pela descarga líquida e pela velocidade do escoamento. A erosão em sulcos ocorre somente, quando as forças de cisalhamento do escoamento superam as forças coesivas do solo, momento em que ocorre a tensão crítica de cisalhamento (FOSTER, 1982).

2.3 MECÂNICA DO PROCESSO EROSIVO

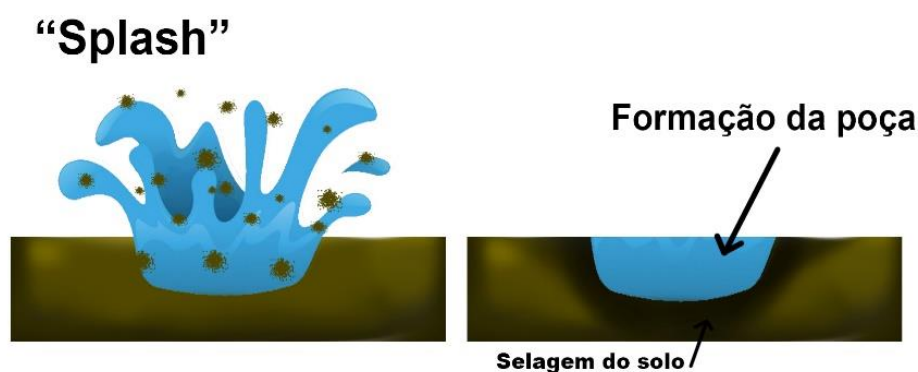
A busca de soluções para mitigar e prevenir os danos causados pela erosão depende diretamente de um bom entendimento do seu mecanismo. A erosão do solo envolve um processo de três etapas: (1) desagregação (*splash*) – Figura 1, (2) transporte e (3) deposição do solo. A energia para o trabalho é fornecida por agentes de erosão, e a fonte de energia determina o tipo de processo erosivo. Existem quatro fontes principais de energia: as físicas, como vento e água, a aceleração da gravidade, as reações químicas e as perturbações antropogênicas, como lavoura.

Para Govers *et al.* (1999), os implementos de lavoura podem ser uma fonte importante de energia e levar a um transporte substancial de solos. A intensidade e taxa de dissipação de energia dessas quatro fontes determinam a intensidade dos processos erosivos. A erosão do solo começa com a desagregação, causada pela decomposição de agregados pelo impacto da gota de chuva, cisalhamento ou força de arraste da água e do vento, ou dissolução de agentes de cimentação através de reações químicas. Partículas destacadas e microagregados são transportados pela água corrente (fluxo superficial e subterrâneo) e pelo vento, são depositados quando a velocidade da água ou do vento diminui pelo efeito da inclinação ou da cobertura do solo (LAL, 1997). A distância do deslocamento físico pode variar de alguns milímetros a milhares de quilômetros, e o tempo decorrido entre a desagregação e a deposição eventual pode variar de alguns segundos a milhares de anos (LAL, 2001; GARCIA-CHEVESICH, 2015). Tanto a erosão quanto a deposição são processos preferenciais ou seletivos, e o tamanho das partículas transportadas ou depositadas é determinado pela Lei de Stokes. Enquanto a taxa e o tamanho da partícula transportada são diretamente proporcionais à velocidade, a deposição está diretamente relacionada à concentração e densidade do sedimento e indiretamente à velocidade do fluxo (HAIRSINE e ROSE, 1991; LAL, 2001).

A intensidade, duração, qualidade da água da chuva, diâmetro da gota e velocidade de escoamento determinam o poder do processo erosivo da gota de chuva. Nos primeiros 5 a 10 minutos de chuva, durante um evento pluvial, o impacto da chuva na superfície do solo causa dispersão de argilas e desintegração de agregados, formando um selo superficial de baixa porosidade e continuidade de poros, restringindo a infiltração e aumentando o escoamento superficial (REICHERT e NORTON, 1995; MASCARENHA *et al.*, 2015). Os agregados situados logo abaixo das crostas ficam protegidos do impacto da gota de chuva, e a erosão por salpicamento fica reduzida. A selagem dos poros diminui a porosidade, conseqüentemente, aumenta a massa específica seca, dando início ao processo erosivo pela diminuição da

infiltração de água no solo, formando poças que se interligam e originando o escoamento superficial e os processos erosivos laminares e “lineares”, conforme Figura 1. A formação do selo superficial ocorre principalmente em solo descoberto (REICHERT *et al.*, 1992; BARCELOS *et al.*, 1999) e é diminuída em solo com estrutura mais estável (REICHERT *et al.*, 1992; REICHERT e NORTON, 1994) ou em sistemas conservacionistas, que mantêm os resíduos de cultivos sobre o solo (ALVES e CABEDA, 1999; BARCELOS *et al.*, 1999).

Figura 1- Efeito *splash* no solo e formação de poça



Fonte: O autor (2018).

2.3.1 Estudo sobre o Efeito *splash* (Desagregação)

Os pingos de chuva são agentes da consolidação e dispersão. O desenvolvimento da selagem do solo sob chuva simulada mostra que as crostas têm selagem superficial, com cerca de 0,1mm de espessura, com partículas de argila bem orientadas. Abaixo disso, há uma camada com 1–3mm de espessura, em que os espaços de poros maiores são preenchidos por material fino que foi carreado, conforme apontam Tackett e Pearson (1965) e citado por Morgan (2005).

O impacto da gota de chuva é o processo crítico. Após uma tempestade, a maioria dos agregados na superfície do solo é destruída, enquanto a camada inferior da crosta permanece intacta, embora completamente saturada. Um toque nesses agregados, no entanto, causaria sua quebra instantânea. Isso evidencia que, embora a saturação reduza a sucção dos agregados do solo, eles não se desintegram até serem atingidos por pingos de chuva (MORGAN, 2005).

No entanto, o comportamento do solo a uma determinada chuva está ligado ao seu teor de umidade e, também, ao seu estado estrutural e a intensidade da chuva. Le Bissonnais (1990) descreve três possíveis situações: *i* - Se o solo estiver seco e a intensidade da chuva for elevada,

a estrutura dos agregados do solo é rapidamente afetada. Ocorre uma quebra por compressão do ar antes da frente de umedecimento e a capacidade de infiltração é reduzida. Se a superfície for lisa, o escoamento é imediato, mas se a superfície for áspera, há um armazenamento por empoçamento seguido do escoamento. *ii* – Se os agregados já estiverem umedecidos de chuvas anteriores ou se a intensidade da chuva for baixa, sucção reduzida, há uma facilidade na separação dos agregados. A infiltração permanece alta devido aos grandes espaços porosos entre os microagregados. *iii* – já com os agregados saturados, a capacidade de infiltração dependerá da permeabilidade do solo e será necessário grande volume de chuvas para selar a superfície. Solos com menos de 15% de argila são susceptíveis à vedação, se a intensidade de chuva for alta. A selagem do solo diminui com teores crescentes de argila e matéria orgânica, já que estes fornecem maior resistência ao solo. Assim, os solos siltosos e arenosos são os mais propícios à formação de crostas. Solos mais grossos são resistentes ao desprendimento devido ao peso das partículas maiores. Solos mais finos são resistentes, porque a energia do pingo de chuva tem que superar a sucção ou forças de ligação química, que unem os minerais que compõem as partículas de argila. A ampla gama de energia necessária para separar as partículas de argila é função de diferentes níveis de resistência em relação ao tipo de minerais de argila e as quantidades relativas de cálcio, magnésio e íons de sódio na água que passa pelos poros (ARULANANDAN e HEINZEN, 1977 *apud* MORGAN, 2005).

A chuva nem sempre cai em uma superfície seca. Durante uma tempestade, as águas podem cair e formar as poças ou fluxo superficial. A espessura da lâmina de água superficial aumenta, assim como a erosão por *splash*. Acredita-se que isso seja devido à turbulência que o impacto das gotas de chuva transmite à água. Há, no entanto, uma espessura crítica da lâmina de água a partir da qual a erosão diminui exponencialmente com o aumento da espessura, porque grande parte da energia da chuva é dissipada na água e não afeta a superfície do solo. Experiências de laboratório mostraram que a espessura crítica é aproximadamente igual ao diâmetro das gotas de chuva (MORGAN, 2005).

A ação do vento no momento da chuva deve ser considerada, pois uma força horizontal, devido à ação do vento nas gotas, irá potencializar a ação da energia cinética que promove o arraste das partículas de solo. Estudos comprovam que o aumento das partículas desagregadas no *splash*, devido à ação do vento, é de 1,5 a 3,0 vezes superior considerando as mesmas características (diâmetro e intensidade) das gotas de chuva (LYLES, 1981). Esse dado explica a importância da vegetação nos taludes, pois funciona como uma barreira impedindo a ação do vento sobre as gotas da chuva.

A erodibilidade dos solos, para a mecânica dos solos, é função de sua resistência ao cisalhamento. A resistência do solo definirá o maior ou menor potencial erosivo do solo. Essa resistência do solo é dada, classicamente, pela equação (1) de *Coulomb* e é caracterizada por duas componentes: a coesão e o ângulo de atrito.

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \phi \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que:

c = Coesão do Solo (kPa);

ϕ = Ângulo de atrito interno do Solo;

τ = Resistência ao cisalhamento do solo (kPa).

Uma abordagem geotécnica do problema de erosão em taludes é estudada por pesquisadores do LNEC, que modelam o solo de encostas frente à erosão como um talude infinito sujeito a uma tensão tangencial (τ_w) que corresponde à tensão cisalhante hidráulica (NASCIMENTO, 1976 *apud* BASTOS, 1999), conforme equação (2)

$$\tau_w = \tau_w = C \cdot \gamma_w \left(\frac{I}{u} \right) L \cdot \operatorname{sen} \beta \quad (\text{Eq. 2})$$

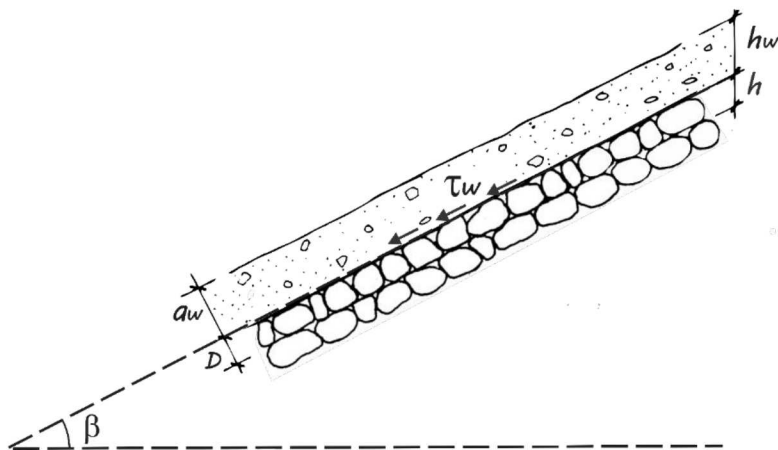
Em que: C é o coeficiente de escoamento; γ_w o peso específico da água; I a intensidade da chuva; u a velocidade do escoamento superficial; L a distância da crista do talude e β o ângulo de inclinação do talude.

A resistência à erosão (Eq. 3) é identificada como sendo a resistência ao cisalhamento dada pela lei de *Coulomb*, generalizada ao escoamento superficial em taludes (τ):

$$\tau = c + b \cdot \gamma_{sub} \cdot D \cdot \cos \beta \cdot \operatorname{tan} \phi \quad (\text{Eq. 3})$$

Em que: c e ϕ são a coesão e o ângulo de atrito; b um coeficiente variando de 0 a 1 que representa condição de escoamento (laminar a turbulento) e $D = h \cdot \cos \beta$, sendo que D corresponde ao diâmetro médio dos grãos na Figura 2.

Figura 2 - Abordagem da erosão em encostas e taludes pela análise do escoamento superficial uniforme em talude infinito.



Fonte: Nascimento (1976) citado por Bastos (1999).

Bastos (1999) propõe um novo mecanismo para a erosão de solos não coesivos, em que as forças hidráulicas atuantes (τ_h) apresentam flutuações inerentes à condição do fluxo junto à superfície do solo. As oscilações nas tensões normais também determinam flutuações nos valores de resistência friccional (S). Logo, os processos erosivos passam a ocorrer segundo uma função probabilística P (Eq. 4):

$$P = \text{probabilidade } (\tau_h > S) \quad (\text{Eq. 4})$$

De acordo com Bastos (1999), a contribuição da coesão na resistência aos processos erosivos considera dois tipos de resistência atuantes nos solos: sucção, que desaparece quando o solo é submerso em água, e a coesão pétreia, resistente à submersão. A contribuição da coesão pétreia e da sucção pode ser avaliada pelo grau de petrificação e isso varia conforme os solos sejam coesivos e não coesivos. Ainda de acordo com os estudos de Bastos (1999), existe um critério para escolha de solos resistentes à erosão, no qual as propriedades admitidas no critério são a granulometria, a expansibilidade e o grau de petrificação. A análise da mecânica da desagregação do solo, no momento do impacto da gota da chuva, é determinada pela segunda lei de Newton (Eq. 5). Para que ocorra o desprendimento, é necessário que essa força seja maior que a resistência ao cisalhamento do solo (CONCIANI, 2008).

$$F = m \cdot a \quad (\text{Eq. 5})$$

Em que:

F = Força (N)

m = Massa da gota da água (kg);

a = aceleração da partícula – ação da gravidade sobre a gota de água, nesse caso $a = g(\text{m/s}^2)$

2.4 FATORES QUE INFLUENCIAM NA ERODIBILIDADE DOS SOLOS

Segundo Garcia-Chevesich (2015), denominam-se fatores erosivos os elementos que causam, ou afetam, diretamente a erosão, e podem ser classificados como ativos ou passivos. Os agentes ativos são subdivididos em:

- Água – Fator principal no processo erosivo, atua como agente erosivo através do processo de escoamento superficial e de infiltração.
- Ações antrópicas – São devidas às práticas gerais realizadas pelo homem, têm grande importância no tipo e na intensidade dos processos erosivos. A ação do homem sobre a natureza é bastante diversa e pode beneficiá-la ou destruí-la. Na maioria dos casos, em que não são tomadas medidas de precaução para implantação das obras e benfeitorias, a ação antrópica é danosa.
- Ação de micro-organismos – Segundo Seixas (1984), a principal atividade dos micro-organismos do solo é decompor os restos dos vegetais em matéria orgânica. Diversas classes de bactérias e fungos são responsáveis por essa atividade. Algumas espécies de líquens, algas, fungos e bactérias tem-se revelado capazes de intemperizar rochas comuns, através de processos químicos e/ou físicos.
- Vento – A erosão eólica ganha destaque nas regiões áridas, semiáridas e nas superfícies desérticas, em que não há vegetação.
- Temperatura – Tanto altas temperaturas como baixas provocam dilatações e contrações sucessivas que geram o enfraquecimento do solo, desta forma, facilitando a remoção das partículas.

Os agentes passivos são subdivididos em:

- Vegetação – A cobertura vegetal protege o solo contra a erosão de impacto e dificulta, também, o caminho que a água faz na superfície do solo, aumenta sua

rugosidade e reduz sua velocidade, logo, reduz a erodibilidade. Quanto mais densa e abrangente for a cobertura vegetal, mais efetiva será a redução da erosão laminar. A evapotranspiração e a infiltração reduzem a parcela de água que escoar no solo; parte da água da chuva escoar pelos troncos das plantas lentamente e infiltra no solo e outra parte evapora diretamente, quando são interceptadas pelas folhas.

A decomposição das folhas e raízes presentes no solo forma material coloidal, que exerce uma ação aglutinante nas partículas, ou seja, material de maior dimensão e elevada porosidade que aumenta a capacidade de absorção de água do solo.

- Tipo do solo e Textura – A erodibilidade no solo depende de variáveis como textura, conteúdo de matéria orgânica, estrutura e permeabilidade (MORGAN,2005). A textura do solo é importante para definir seu nível de erodibilidade, pois nem todas as classes de textura têm o mesmo grau de erodibilidade. As partículas de solo de tamanhos medianos são mais fáceis de erodir. As partículas mais finas, por terem uma superfície específica maior, e conseqüentemente maior sucção, as tornam mais resistentes à erosão. Por outro lado, as partículas mais grossas são mais pesadas, o que aumenta sua resistência a erosão. As partículas medianas não possuem sucção nem peso relevante, o que as torna mais erodíveis. O fator dominante na análise de erodibilidade do solo é o percentual de argila e areia. De um modo geral, solos ricos em silte, pobres em argila, e com pouca matéria orgânica são os mais erodíveis (WISCHMEIER, 1969).
- Declividade do terreno – A topografia é uma variável muito importante no estudo da erodibilidade do solo. Fatores como inclinação e comprimento do talude, associados à rugosidade da superfície, determinam a velocidade do escoamento superficial. A distância horizontal percorrida por uma partícula de solo desprendida, pelo impacto de uma gota de chuva, está relacionada com a inclinação do talude (MORGAN, 2005).

A forma do talude também influencia nas taxas de erosão. Se para o mesmo talude existirem inclinações diferentes, formatos côncavo ou convexo, as taxas de erosão serão maiores para as inclinações mais elevadas (MOTA, 1997).

2.5 ESTUDO DOS FATORES QUE INFLUENCIAM NA REDUÇÃO DA ERODIBILIDADE DO SOLO

Wischmeier e Smith (1978) e Bertol, Cogo, Levien *et al.* (1989) afirmam que cobertura morta, folhas caídas, ou com vegetação rasteira são mais eficazes do que coberturas com árvores de grande porte. As coberturas rasteiras interceptam as gotas de chuva, que não recuperam velocidade de queda ao caírem muito próximo da superfície do solo. E, portanto, o fluxo de escoamento fica obstruído, reduzindo a velocidade de impacto, o escoamento e a capacidade de transporte da água de chuva.

Wildner (1985) e Ramos *et al.* (2014) afirmam que as perdas de solo aumentam exponencialmente com o aumento da erosividade da chuva e reduzem exponencialmente com o aumento da cobertura do solo e da rugosidade superficial. Tartari *et al.* (2012) quantificam a redução da erosão hídrica em 75% durante os eventos de precipitação, com a utilização da cobertura vegetal; afirmam também que o uso de cobertura vegetal reduziu as taxas de desagregação do solo em entressulcos, já a densidade de cobertura vegetal não influenciou nas perdas de água e nas taxas de infiltração de água no solo.

Fernandes *et al.* (2009) evidenciaram a importância da proteção de taludes de cortes de estrada, em razão da significativa quantidade de sedimentos que são carreados pela erosão. Foi realizada também uma análise do escoamento superficial, baseada em oito eventos chuvosos comparando-se as variáveis massa de sólidos e volume em suspensão de água + solo escoado, usando geomantas com e sem vegetação (mistura de espécies de gramíneas e leguminosas). Concluiu-se que as geomantas aumentaram a proteção do solo contra a erosão superficial hídrica e a incorporação de vegetação melhorou os resultados em todos os tratamentos. Resultado também já apresentado por Bertoni e Lombardi Neto (1990), Carvalho *et al.* (1990), Braida (1999), Schafer *et al.* (2001) e Albuquerque *et al.* (2002).

A intensidade das chuvas, o tipo de solo e as características físicas dos geossintéticos são os principais fatores que influenciam os processos erosivos (AYUBA e OLORUNNAIYE, 2014; RICKSON, 2000) e este assunto está sendo abordado no tópico 2.6.

2.6 UTILIZAÇÃO DE GEOMANTAS EM SISTEMAS DE CONTROLE DE EROSÃO

Os geossintéticos são confeccionados por materiais naturais e sintéticos, industrializado, com características técnicas controladas e que trazem economia para as obras de construção

civil. Existem em diferentes formas, tamanhos, classificações e características físicas. Sua aplicação no controle da erosão do solo remonta à década de 1970, após pesquisas no uso de materiais têxteis sintéticos em projetos de engenharia civil (MARQUES, 2015).

Considerando que o Brasil e muitos outros países tropicais necessitam aperfeiçoar métodos de recobrimento de taludes, tornam-se necessários estudos que aprimorem a utilização e a eficácia das diferentes alternativas do mercado. Visto que cortes em taludes estão sempre sujeitos a erosão, é necessário proteger com técnica de fácil instalação, baixo custo e manutenção. A indicação de solução para controle de erosão em taludes deve contemplar as seguintes funções: permitir o crescimento de vegetação, aumentar a infiltração, amenizar o impacto da gota da chuva no solo e reduzir a velocidade de escoamento superficial.

De acordo com Marques (2015), as técnicas empregadas em obras contra a erosão podem variar de soluções simples e flexíveis, como o plantio de espécies vegetais, a soluções mais complexas e pesadas, como a execução de estruturas rígidas em concreto. O autor também afirma que a aplicação de geossintéticos pode ser inserida em praticamente toda a gama de soluções empregadas em obras de controle de erosão.

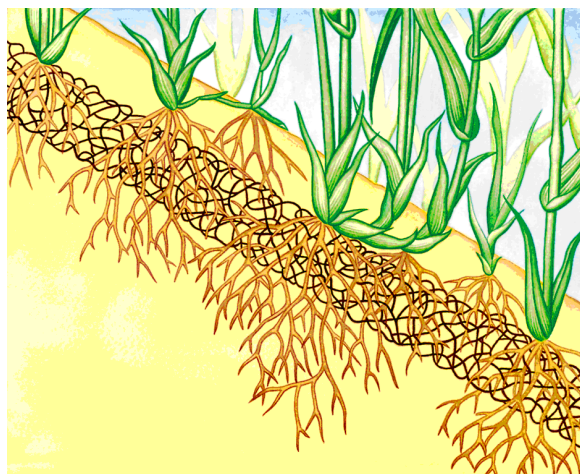
O restabelecimento da vegetação assegura uma proteção imediata ao talude, as gotas de chuva impactam diretamente nas suas folhas, preservando, dessa forma, o solo. Antes que a vegetação se estabeleça, o talude fica desprotegido, fazendo-se necessário o uso de material sintético ou natural, geomantas, para preservação do solo e, até mesmo, criar um ambiente propício para o restabelecimento da nova vegetação. Existem alguns tipos de geomantas com função de proteção inicial. Esses geossintéticos, além da proteção superficial imediata, contra erosão hídrica, ajudam a segurar os aditivos utilizados para correção do solo bem como as sementes, que são usadas para revegetação, aumentando, dessa forma, o índice de pega da recuperação da vegetação.

Os geossintéticos, usados para controle de erosão, são divididos em dois grupos classificatórios, os temporários e os permanentes. Os primeiros são utilizados em locais onde a vegetação, por si só, irá promover a proteção contra o processo erosivo, e estão relacionados, principalmente, a materiais naturais, como fibras de coco e de juta. Essas fibras podem estar envoltas em geossintéticos de polipropileno de baixa resistência, formando, assim, um geocomposto (MARQUES, 2015). Existem duas principais vantagens na utilização de geossintéticos temporários, o fato de serem constituídos de material natural e, também, por eles reterem a umidade e se degradarem naturalmente ao longo do tempo, dessa forma alimentando o solo com sua matéria orgânica, criando um ambiente propício à revegetação. Já os

geossintéticos permanentes para controle de erosão estão relacionados a materiais não naturais, não degradáveis, que apresentam elevada resistência mecânica.

A geomanta, geossintético permanente para controle de erosão, tem uma matriz tridimensional, que reforça a vegetação existente contra a pressão de fluxo superficial e contra a força de tração que supera a resistência que a vegetação oferece, conforme Figura 3 (GARCIA-CHEVESICH, 2015). É flexível e possui em torno de 90% de vazios, fabricada a partir de filamentos grossos de polipropileno fundidos nos pontos de contato. A presença da geomanta na superfície do talude garante a passagem da vegetação, armando as raízes desta. As geomantas, ainda, garantem a utilização de taludes com inclinações acima de 40°, são fabricadas para resistirem às radiações UV, permanecendo suas características mecânicas por 5 anos, e suportam fluxo de água com velocidade de até 2,5 m/s.

Figura 3 - Relação da geomanta com o reforço das raízes.



Fonte: Maccaferri do Brasil (2018).

Para taludes com elevada inclinação, composto por solos finos sem coesão, a melhor solução para controle erosivo é a geomanta, devido a sua durabilidade em obra e a suas características associadas já citadas. Desta forma, a geomanta é mais uma forma de tratamento contra erosão para taludes íngremes e com alto potencial de erodibilidade (GARCIA-CHEVESICH, 2015; FERNANDES *et al.*, 2009).

O desempenho dos geossintéticos, no controle da erosão, foi avaliado quantitativamente (poucos estudos) e qualitativamente (na maioria dos casos). A avaliação qualitativa do desempenho dos geossintéticos é geralmente no campo ou em experimentos de laboratório, sendo que a maioria dos estudos sobre avaliação do desempenho das geomantas são baseados em dados de campo ou laboratório (THEISEN, 1992; MITCHELL *et al.*, 2003; DAVIES *et al.*,

2006; FOLTZ e COPELAND, 2009; SMETS e POESEN, 2009; BHATTACHARYYA *et al.*, 2010a; 2010b; 2011; SMETS *et al.*, 2011; ALVAREZ-MOZOS *et al.*, 2013). Alguns estudos realizados com geomantas mostraram uma redução média de 60% na taxa de erosão ao utilizar esses materiais (SMETS e POESEN, 2009).

Para a escolha do geossintético que mais se adéqua, devem ser analisadas todas as condições da obra, tais como severidade do clima local, posição do talude em relação ao sol, acidez do solo, percentual de material orgânico, tipo do solo, níveis de nitrogênio, fósforo e potássio (NPK) e inclinação do talude. Existem alguns elementos que podem comprometer o sucesso de aplicação das soluções contra erosão, tanto das soluções temporárias quanto das permanentes, são eles: ataque de pragas, queimadas, secas prolongadas, antes da germinação ou nos primeiros dias de desenvolvimento. Através do controle fitossanitário, irrigação e uma boa escolha da mistura de sementes, para hidrossemeadura, estes danos serão eliminados.

2.7 ENSAIOS GEOTÉCNICOS PARA DETERMINAÇÃO DA ERODIBILIDADE DO SOLO

2.7.1 Estimativa de erodibilidade dos solos tropicais baseada no método MCT (Miniatura, Compactado, Tropical)

A metodologia MCT usada para solos tropicais é composta por ensaios, que classificam o solo segundo o comportamento laterítico ou não laterítico. Fornece parâmetros para dimensionamento de pavimentos, escolha de solos em obras de engenharia rodoviária e faixas de classificação de erodibilidade, a fim de prevenir erosões nas margens das rodovias. Ela é aplicada somente aos solos que contenham, no mínimo, 95% de material passante na peneira #10 (2,0 mm).

Visando a classificação MCT de um solo, é necessária a utilização de dois dos ensaios da metodologia para que se obtenham os dados necessários: o ensaio de Compactação Mini-MCV e o ensaio de Perda de Massa por Imersão.

Segundo Nogami e Villibor (1995), a classificação MCT cobre as lacunas deixadas pelas classificações geotécnicas tradicionais e pela associação isolada de pedologia e geologia, na previsão do comportamento dos solos tropicais frente à erosão.

Villibor, Nogami e Fabbri (1986) reconhecem como solos erodíveis aqueles classificados como NS' (Siltoso Não Laterítico), como potencialmente erodíveis os solos LA

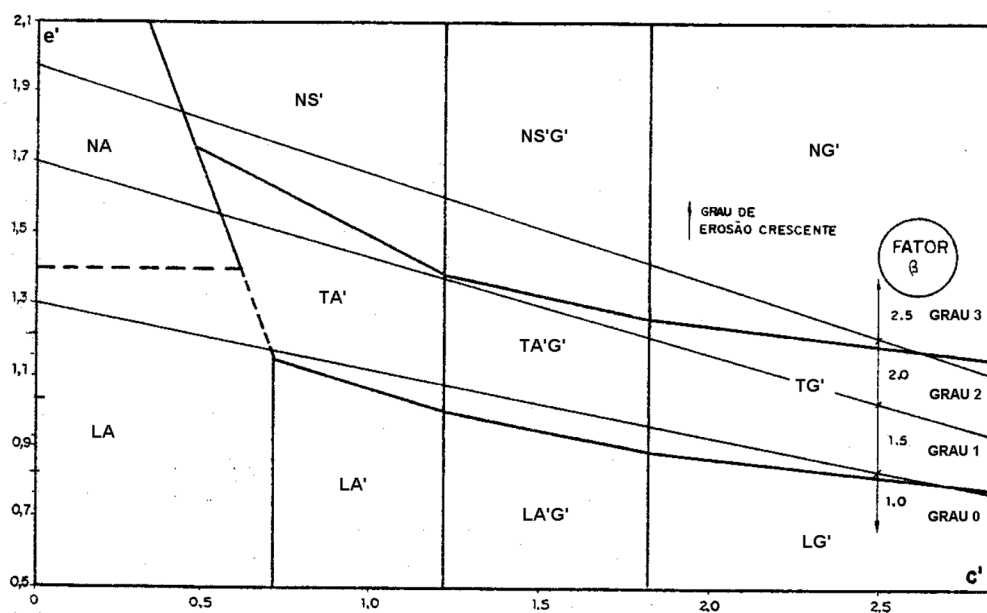
(Areia Laterítica) e LA'(Arenoso Laterítico) e como resistentes à erosão os solos LG'(Argiloso Laterítico). As demais classes têm a erodibilidade condicionada a outras propriedades, o que dificulta a previsão do comportamento frente à erosão pela classificação MCT.

O emprego da classificação MCT modificada (MCT-M) na caracterização da erodibilidade foi apresentado em Vertamatti e Araújo (1990) e Vertamatti *et al.* (1990). Com base no comportamento frente à erosão de taludes rodoviários do interior de São Paulo e em aeroportos de Santarém/PA e Manaus/AM, foram definidos graus de erosão (Grau de Erosão Associado – GEA, segundo Vertamatti e Araújo, 1998):

- Erosão grau zero: talude intacto.
- Erosão grau um: talude pouco erodido com sulcos esparsos.
- Erosão grau dois: talude medianamente erodido com sulcos frequentes.
- Erosão grau três: talude muito erodido, com desconfiguração total da face do talude e sulcos muito frequentes e interligados.

Os autores propõem a distinção de três faixas de erodibilidade no gráfico classificatório MCT-M (VERTAMATTI, 1988) (Figura 4). Mesmo havendo a superposição de faixas com as classes de solos, de uma maneira geral, os solos lateríticos correspondem ao grau zero, os transicionais aos graus 1 e 2 e os solos saprolíticos ao grau 3 de erosão. O fator β está relacionado ao grau de erosão.

Figura 4 – Faixas de erodibilidade definidas sobre o ábaco classificatório MCT modificado



Fonte: VERTAMATTI e ARAÚJO (1990).

2.7.2 Ensaio com simulador de chuva

Esse método tem sido bastante utilizado na agronomia, em estudos de conservação e manejo do solo e água. No entanto, pesquisadores da área da geotecnia tem utilizado do método a fim de estudar o processo erosivo em taludes, devido a algumas vantagens, entre elas: redução do tempo do experimento; redução do custo; maior controle das condições do experimento; possibilidade de repetição; repetição dos vários eventos de chuva de diferentes intensidades e energia cinética (MASCARENHA *et al.*, 2015).

Os simuladores de chuva são equipamentos que aplicam água por aspersão. Permitem controlar a intensidade de precipitação, tamanho e velocidade de impacto das gotas sobre a parcela de solo em que se deseja estudar as características de infiltração, erosão laminar e efeito *splash*.

Bertol *et al.* (2004), Panachuki *et al.* (2006), Martins Filho *et al.* (2009), Santos, Guebeler e Oliveira (2010) utilizaram um simulador de chuva capaz de reproduzir tamanhos de gotas e níveis de energia cinética semelhantes às da chuva natural. Trata-se de equipamento constituído por uma estrutura metálica retangular, apoiada em quatro hastes de alturas reguláveis, posicionado a uma altura padrão de 2,45 m da superfície da amostra.

2.7.3 Ensaio sedimentométrico comparativo

Ensaio desenvolvido pelo SCS/USDA (*Soil Conservation Service/United States Department Agriculture*) e normatizado no Brasil pela NBR 13602 (ABNT, 1996 b). Esta norma fornece a metodologia recomendada para a avaliação da dispersibilidade de solos argilosos, pelo ensaio sedimentométrico comparativo. O parâmetro obtido do ensaio é a porcentagem de dispersão, calculada através da divisão da porcentagem, em massa, de partículas inferiores a 0,005 mm sem defloculante, pelo resultado em percentual após a aplicação da agitação mecânica com defloculante. Destaca-se que a norma somente será válida para os solos com teores de argila maiores que 12%, em ensaios com defloculante.

2.7.4 Ensaio de desagregação

Segundo Mascarenha *et al.* (2015), os ensaios de desagregação representam um bom índice qualitativo na previsão do comportamento dos solos frente aos esforços erosivos. O

ensaio pode ser executado com inundação total ou parcial de amostras indeformadas de solo, no formato de cubos com 6 cm de aresta. No ensaio de imersão total, inunda-se o corpo de prova totalmente, permanecendo assim por 24h. Já para o ensaio de imersão parcial, a amostra é disposta em uma pedra porosa inundada por 30 minutos. Em seguida, adiciona-se água para um terço (1/3), dois terços (2/3) e completa imersão do corpo de prova, aguardando-se 15 minutos em cada etapa; após a completa imersão, mantém-se o solo inundado por 24h. A interpretação dos resultados é realizada, conforme apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 - Interpretação dos resultados do ensaio de desagregação

Resultados	Comportamento do Solo
Sem Resposta	Mantida a forma do solo
Abatimento	Desintegração da amostra formando uma pilha
Fratramento	Quebra da amostra em pedaços mantendo a forma das faces externas
Dispersão	Paredes difusas e densa suspensão coloidal

Fonte: Adaptado de HOLMOREN e FLANAGA (1977).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 MATERIAL ESTUDADO

O talude, objeto do presente estudo, está situado no município de Simões Filho, localizado na região metropolitana de Salvador. Simões Filho possui uma área total de aproximadamente 201,22 km², com cerca de 163.449 habitantes, de acordo com o último censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, com densidade demográfica de 691,63 habitantes por km² no território do município. Vizinho dos municípios de Camaçari, Lauro de Freitas e Candeias, Simões Filho, geograficamente é cortado pelo paralelo de 12° 47' 8" Sul e pelo meridiano de 38° 24' 20" Oeste, distanciando-se 22 km da capital do estado e 13 km ao Sul-Oeste de Camaçari, com uma altitude média de 52 m.

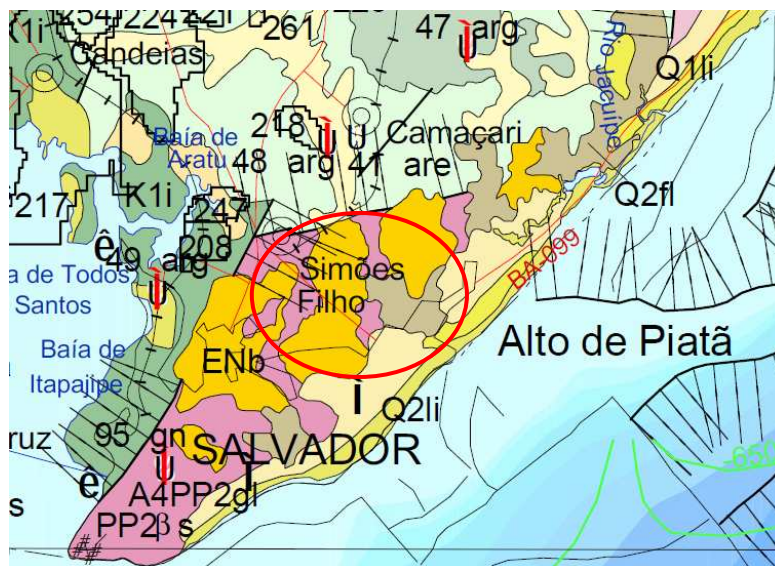
3.2 CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS

Embora a Região de Simões Filho esteja situada onde se sobrepõem rochas granulíticas do Complexo Jequié, e onde há predominância da Formação São Sebastião, aflorando em grandes extensões na área da Bacia Sedimentar do Recôncavo, a área em estudo, no entanto, é originária da Formação Barreiras, apresentada como código ENb na Figura 5. Esse tipo de

formação corresponde a uma notável unidade sedimentar terrestre, de origem fluvial, que ocorre ao longo do litoral brasileiro, desde o estado do Pará até o estado do Rio de Janeiro (SANABRIA, PEREIRA e ANTONIOLI, 2015; VILAS BOAS, 2018).

Na Região Nordeste, as áreas aflorantes mais extensas são aquelas que constituem os tabuleiros aplanados das regiões de Feira de Santana, Irará e Santanópolis, recobrando discordantemente diatextitos do Complexo Caraíba-Paramirim, algumas transpondo o limite norte de Aracaju. De modo geral, a Formação Barreiras é constituída por uma sedimentação clástica; consistindo de arenitos argilosos, de coloração vermelha, violeta, branca e amarelada, com incipiente estratificação plano-paralela. São frequentes intercalações de siltitos e argilas varicoloridas, bem como lentes conglomeráticas e caulínicas. Os conglomerados são compostos comumente de fenoclastos de quartzo leitoso, subarredondados, que sofreram pouco transporte, em meio a seixos de granulitos, arenitos e lamitos, distribuídos em uma matriz arenosa mal selecionada, igualmente complexa em composição. São em geral friáveis, sendo comum a presença de concreções ferruginosas, formando massas compactas no seio de uma matriz areno-argilosa castanho-avermelhada (ALHEIROS,1998).

Figura 5 – Recorte da Carta Geológica da Bahia



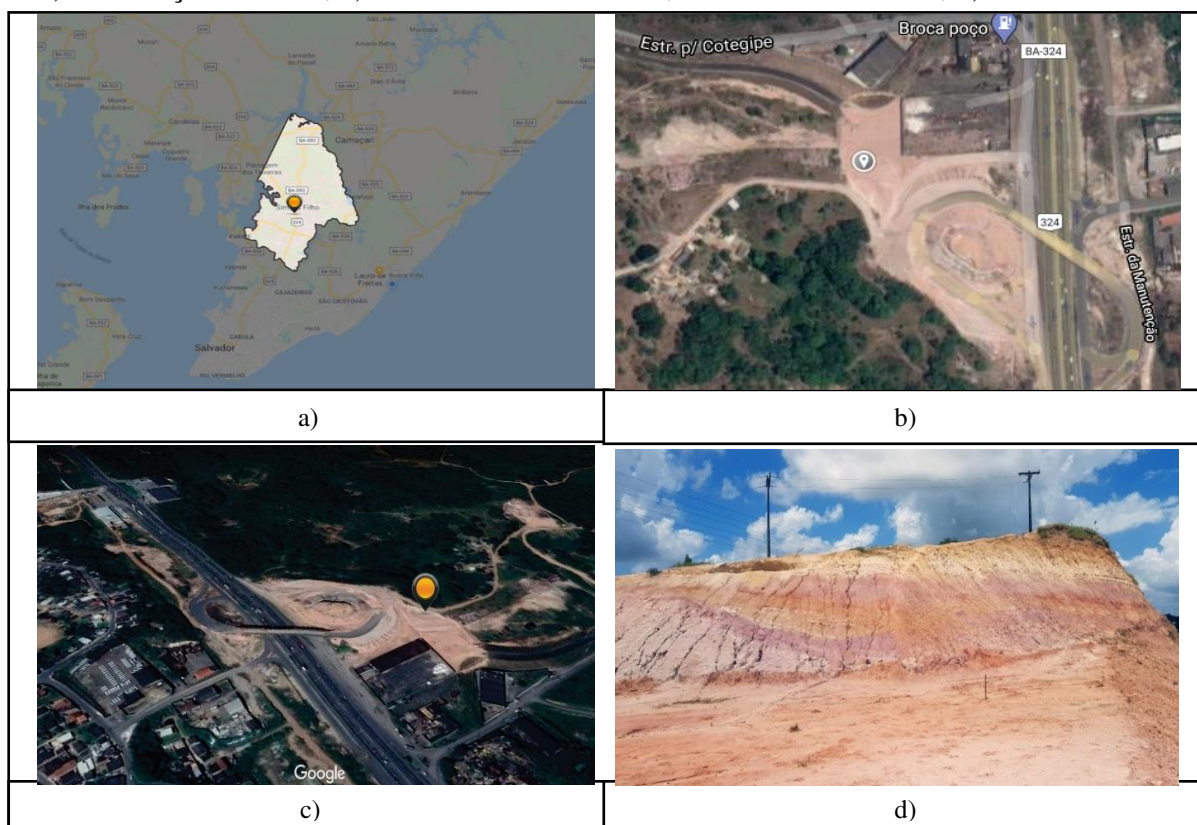
Fonte: Serviço Geológico do Brasil (2018).

3.3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

O talude de estudo é parte de uma obra inacabada de um viaduto da BR-324. O perfil conta com extensão de 60 metros, medido através do Google Earth Pro, e com inclinação de 50° , obtida *in loco*.

A área estudada está situada nas coordenadas $12^\circ 47' 45.6'' S$ $38^\circ 24' 22.7'' W$, localizada no trecho da BR-324 que corta o município de Simões Filho, região da grande Salvador, distando 26,5 km da capital, conforme apresentado na Figura 6.

Figura 6 – a) Região Metropolitana de Salvador com destaque do município de Simões Filho; b) localização da Área; c) Vista aérea da BA-324, trecho Simões Filho; d) Talude estudado



Fonte: Adaptado do Google Earth Pro (2018).

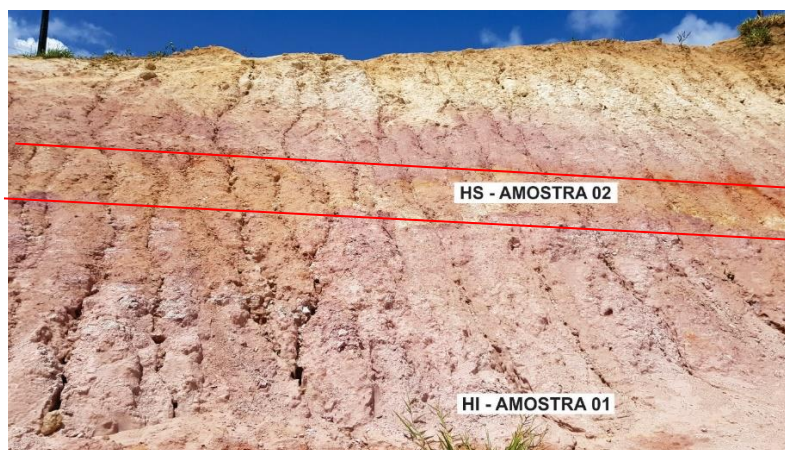
3.4 COLETA DE AMOSTRAS

Para a realização dos ensaios de caracterização geotécnica, foram coletadas amostras deformadas e indeformadas, de acordo com os procedimentos estabelecidos pela norma NBR 9604 - Abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas (ABNT, 1986).

As amostras deformadas, representativas de cada horizonte (Figura 7), foram retiradas e acondicionadas em sacos plásticos, convenientemente etiquetadas e identificadas. Adotou-se HI-Amostra 01 para o horizonte inferior de solo arenoso e HS-Amostra 02 para o horizonte superior de solo argiloso.

Conforme a NBR-9604 (ABNT, 1986), as amostras indeformadas foram coletadas sob a forma de blocos de dimensões (30 x 30 x 30) cm, posteriormente impermeabilizados por uma cobertura de parafina, acondicionados convenientemente em caixas de madeira e transportados para o Laboratório de Mecânica dos Solos da UCSAL.

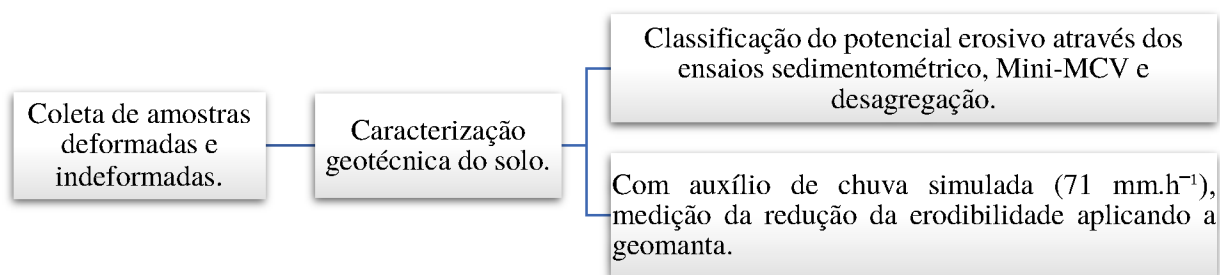
Figura 7- Talude do Grupo Barreiras: erosões em sulcos, com destaque dos horizontes.



Fonte: o autor (2018)

3.5 ESQUEMATIZAÇÃO DA PESQUISA

Para o cumprimento do objetivo proposto na pesquisa e, em virtude de se tratar de um estudo comparativo, este trabalho consiste essencialmente de ensaios de caracterização convencional e dos ensaios sedimentométricos e de caracterização MCT-M, para classificação do potencial erosivo. Para análise da erodibilidade, foram realizados ainda ensaios diretos, utilizando o simulador de chuva, com e sem aplicação da geomanta no solo, além dos ensaios de desagregação. A Figura 8 ilustra a esquematização da pesquisa.

Figura 8 – Esquematização da pesquisa

Fonte: O autor (2018).

Os ensaios para a classificação MCT foram realizados no Laboratório de Geotecnia da UFBA - Universidade Federal da Bahia e os demais ensaios foram realizados no Laboratório de Solos da UCSAL - Universidade Católica do Salvador.

3.6 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS

Os ensaios de laboratório tiveram o intuito de analisar e classificar as propriedades físicas do solo, para em seguida reproduzir em laboratório corpos de prova com as mesmas características de campo, e utilizá-los nos ensaios com Simulador de Chuva. Inicialmente, foram realizados ensaios de caracterização dos solos estudados, determinando-se, para cada uma das litofácies, a umidade natural (w_{nat}), umidade higroscópica (w_h), os limites de liquidez (LL) e de plasticidade (LP), a granulometria (com e sem o uso de defloculante), a densidade dos grãos (Gs) e o peso específico natural de cada um dos solos. As amostras coletadas foram preparadas conforme os procedimentos estabelecidos pela norma NBR 6457, e foram usadas para os ensaios de caracterização e compactação, segundo especificações a seguir:

- preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização, conforme NBR-6457 (ABNT, 2016);
- massa específica natural pelo método da balança hidrostática, conforme NBR-10838 (ABNT, 1988);
- massa específica natural pelo método do anel de adensamento (ABNT, 1987);
- limite de liquidez conforme NBR-6459 (ABNT, 2016);
- limite de plasticidade conforme NBR-7180 (ABNT, 2016);

- massa específica dos sólidos NBR-6508 (ABNT, 1984);
- análise granulométrica conforme NBR-7181 (ABNT, 2016).

Os ensaios de granulometria, realizados por sedimentação sem defloculante, tiveram o intuito de caracterizar as diferenças da fração argila que, por se encontrar agregada, é contabilizada no ensaio sem defloculante como uma partícula maior. Essa agregação, quando ocorre na natureza, interfere no processo de destacamento da partícula.

3.7 ENSAIOS DE ERODIBILIDADE

Para entender e propor soluções de controle da erodibilidade dos solos, é necessária a realização e validação de ensaios geotécnicos. Existem dois grupos de ensaios, a análise direta, por meio de ensaios específicos, e a indireta. Para este último, as caracterizações físicas, químicas, classificação MCT-M e mineralógicas são comumente utilizadas nos estudos geotécnicos. Devido à quantidade de variáveis que influenciam na erodibilidade do solo, dificilmente uma análise indireta isolada será conclusiva, portanto, faz-se necessário uma análise multiparamétrica.

Existem vários modelos e ensaios destinados à determinação direta da erodibilidade dos solos. Desagregação, simulador de chuva, *Inderbitzen*, ensaio *Pinhole* e o ensaio *Crumb Test* são alguns exemplos. E para o desenvolvimento desta pesquisa, foram realizados os 2 primeiros com descrição a seguir.

3.7.1 Critérios de erodibilidade baseados na Metodologia MCT

As amostras de solos coletadas foram submetidas aos ensaios de referência da metodologia MCT. Foram realizados os ensaios de compactação segundo o procedimento Mini-MCV (*Moisture Condition Value*) e ensaio de perda de massa por imersão (PI).

As amostras foram preparadas de acordo com a norma DNER-ME 228: Solos - Compactação em equipamento miniatura (DNER, 1994). Foram preparadas cinco porções de cada solo, com 500g cada, e homogeneizadas em diferentes teores de umidade. Terminada esta etapa, as amostras foram colocadas em sacos plásticos e acondicionadas em câmara úmida por um período de 24 horas.

Após o período de repouso, foram realizados os ensaios de compactação em miniatura. Inicialmente, as paredes internas dos moldes cilíndricos foram lubrificadas com vaselina, e

inseridos discos de polietileno e um anel metálico para se evitar o contato entre o solo e o metal. Posteriormente, foram depositados cerca de 200g de material no molde e iniciada a compactação do material, de acordo com a sistemática e a sequência de golpes prescrita pela norma DNER-ME 228: Solos - Compactação em equipamento miniatura (DNER, 1994). Em seguida, os corpos de prova foram deslocados de maneira que o topo (superfície que esteve em contato com o soquete de compactação) fosse exposto de 10mm em relação ao molde, por meio de operação suave e contínua. Após a extrusão, o corpo de prova foi colocado imerso em água por um período de cerca de 20 horas, conforme disposições da norma DNER – ME 256: Solos-determinação da perda de massa por imersão (DNER, 1994).

Após a realização do ensaio de perda de massa por imersão, os solos eventualmente desprendidos foram secos em estufa e pesados, obtendo-se o percentual em relação à massa saliente de 10mm. De posse dos resultados da perda de massa por imersão e do mini – MCV, foram obtidos os coeficientes e' , d' e c' que permitiram a classificação geotécnica dos solos estudados pela metodologia MCT.

Com a classificação pelo método MCT, segundo Vertamatti *et al.* (1990), foi definido o grau de erodibilidade para cada amostra analisada.

3.7.2 Ensaio de desagregação

O ensaio de desagregação inicialmente seria feito para os dois horizontes, tanto inferior quanto superior, mas devido à fragilidade do solo argiloso do horizonte superior, quando realizadas algumas tentativas de moldar o corpo de prova, o solo se desagregava em torrões (Figura 9), impossibilitando dessa forma, a moldagem dos corpos cúbicos de 6cm (seis centímetros) de aresta necessários para o ensaio.

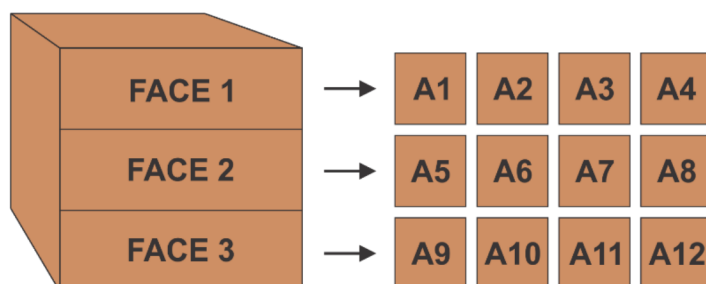
Figura 9 - Tentativa de moldar o corpo de prova da amostra do horizonte superior



Fonte: O autor (2018).

O ensaio foi realizado apenas para o horizonte inferior, no qual foi definido que a amostra indeformada seria dividida em 3 (três) faces e que, de cada face, seriam extraídos 4 corpos de prova, resultando em um total de 12 corpos de prova, intitulados de A1, A2..., A11, A12 (Figura 10).

Figura 10 - Perspectiva da divisão dos corpos de prova em cada face.



Fonte: O autor (2018).

A extração e moldagem dos corpos de prova cúbicos de 6cm de aresta foram realizadas, utilizando apenas um estilete com auxílio de uma régua (Figura 11) e esses foram acondicionados em sacos plásticos, para evitar a perda de umidade natural.

Figura 11 - Extração e moldagem dos corpos de prova



Fonte: O autor (2018).

Após a extração de todos os corpos de prova, prosseguiu-se para a execução do ensaio. Os corpos de prova foram colocados em recipientes com capacidade de submergi-los, acondicionados sobre papel filtro com manta geotêxtil e, em seguida, foram submetidos ao contato com água até a altura das suas bases por 30 minutos, no qual já era possível notar uma pequena degradação dos corpos de prova (Figura 12).

Figura 12 - Início do ensaio de desagregação, nível de água até a base dos corpos de prova.



Fonte: O autor (2018).

Em seguida, com o aumento do nível de água gradativamente para 1/3, 2/3, em intervalos de 15 minutos, ficou ainda mais evidente a degradação do solo, e pôde-se observar que os corpos de prova da FACE 1 e FACE 3 sofreram mais com a ação da água, enquanto os corpos da FACE 2 aparentemente se mostravam mais resistentes, indicando assim uma estabilidade estrutural com o umedecimento (Figura 13).

Figura 13 - Ensaio de desagregação, após o aumento do nível de água para 1/3.



Fonte: O autor (2018).

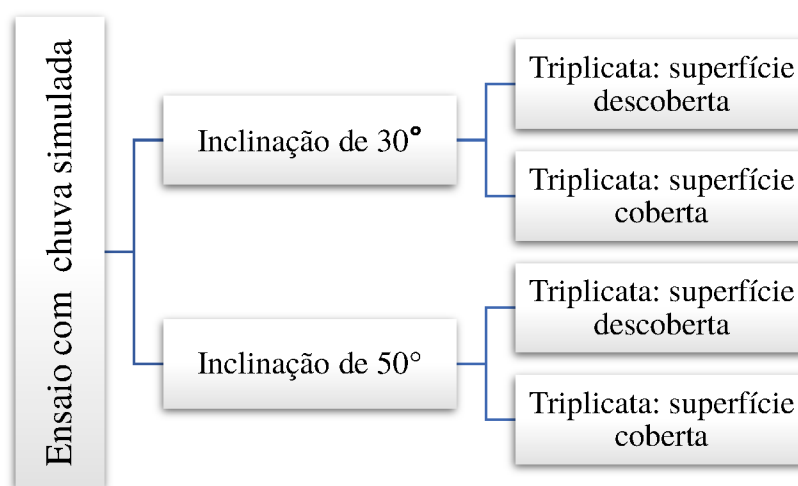
Na etapa final, após o aumento do nível de água para 1/3, 2/3, levaram mais 15 minutos até a submersão total dos corpos de prova. Essa etapa prosseguiu por um período de 24 horas, sendo finalizada apenas no dia seguinte.

3.7.3 Simulador de Chuva Utilizado na Pesquisa

Para realização da pesquisa, foi utilizado o simulador de chuva de disco rotativo FEL 3 fabricado pela Armfield, que consiste em uma câmara de pulverização suportada por uma

estrutura de metal e acessórios que incluem um tanque de água, uma bomba de reforço e um painel de controle. Os ensaios foram realizados em triplicata, com e sem a geomanta, para as inclinações de 30° e 50°, sendo esta igual à inclinação do campo. A inclinação de 30° foi escolhida, para fins comparativos. A Figura 14 apresenta a esquematização utilizada, para a análise da eficácia da geomanta com auxílio do simulador de chuva, sendo o mesmo esquema utilizado para as duas amostras analisadas.

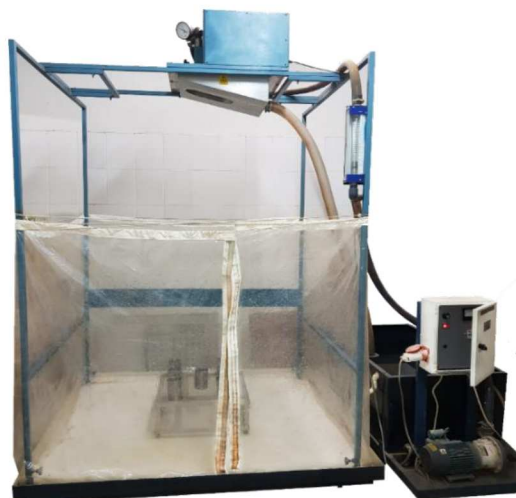
Figura 14 - Esquema dos ensaios com simulador de chuva



Fonte: O autor (2018).

O simulador de chuva funciona bombeando a água do tanque para a câmara de pulverização, que antes passa por um registro de gaveta o qual permite ajustar a pressão da água que atinge o bocal, e essa pressão pode ser aferida através do manômetro da Bourbon. Após atingir o bocal, o jato de água é interceptado por um disco rotativo, cuja velocidade de rotação ajustada e medida no painel de controle chega a 240 rot./min e sua abertura pode variar de 5° a 40° de 5° em 5°, permitindo assim variações nas intensidades de precipitação induzida. A Figura 15 ilustra o simulador de chuva usado na investigação.

Figura 15 - Aparelho Simulador de chuva



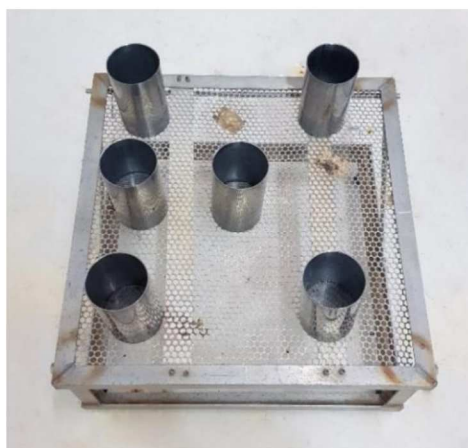
Fonte: O autor (2018).

3.7.4 Calibração do Simulador de Chuva

Para reproduzir a intensidade de precipitação com as características da região de Simões Filho, foi necessária a calibração do aparelho simulador de chuva, ajustando a abertura do disco, a pressão de água, a velocidade de rotação do disco e a posição da mesa metálica no interior da câmara pulverizadora.

A mesa metálica foi centralizada na câmara pulverizadora, contendo seis coletores de água com diâmetros variando entre 72,95 mm até 73,20 mm (Figura 16). Em seguida, eram realizados testes para obter dados relativos à variação da intensidade e uniformidade das chuvas simuladas.

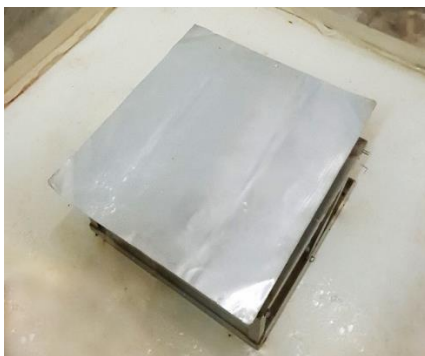
Figura 16 - Mesa metálica com os coletores de água



Fonte: O autor (2018).

Os coletores, após serem posicionados em seus devidos lugares, foram cobertos – Figura 17 – com uma placa metálica, impedindo a coleta de água; em seguida, a bomba foi ligada e a vazão foi ajustada através do registro até que a pressão de interesse fosse obtida. Após a obtenção de chuva uniforme, retirava-se a placa de cima dos coletores, os quais foram expostos à chuva por um período de 10 minutos.

Figura 17 - Mesa metálica com placa protetora



Fonte: O autor (2018).

Após esse período, os coletores foram recobertos, a bomba desligada e o volume de água, coletado em cada recipiente foi medido. Conhecendo o volume de água em cada coletor, o tempo de exposição e a área deles, calculava-se a intensidade da chuva simulada pela Equação 6.

$$I = \left(\frac{Q}{A \times t} \right) 600 \quad (\text{Eq. 6})$$

Em que:

Q = volume de água coletado (ml)

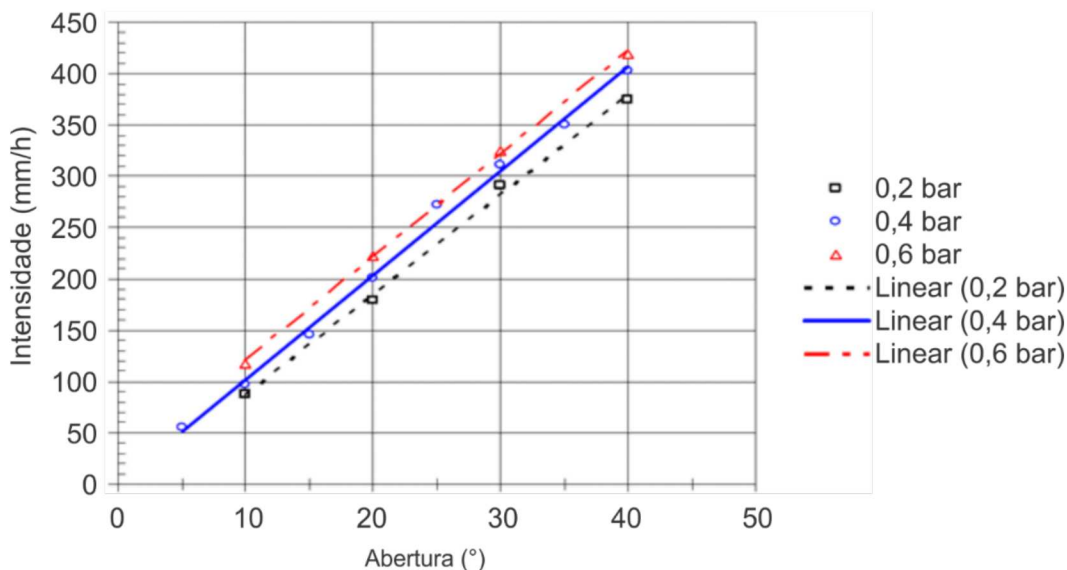
A = área do recipiente (cm²)

t = tempo (min)

I = intensidade de chuva (mm/h)

A Figura 18 mostra a capacidade do simulador de produzir uma ampla gama de precipitações, ajustando a velocidade de rotação do disco, pressão de trabalho e abertura da placa de deflexão, obtendo intensidades variando de 55,29 mm/h a 419,43 mm/h, usando um bocal feito pela *Spraying Systems Co.*, modelo *Fulljet 1HH 12*, chamado bocal 1.

Figura 18—Gráfico da abertura da placa defletora x intensidade de chuva, referente ao bocal 1.



Fonte: O autor (2018).

A relação entre a intensidade e a abertura do disco foi obtida, para uma velocidade de rotação padrão do disco a 70 rotações/min e três pressões (0,2; 0,4 e 0,6 bar).

3.7.5 Definição das Declividades

Por se tratar de um trabalho que busca reproduzir e analisar uma situação real de erosão hídrica em um talude rodoviário, foi adotada primeiramente a declividade de 50°, encontrada em campo. Para efeito de comparação foi considerada uma segunda declividade, de 30°. Desse modo, pôde-se obter uma análise mais aprofundada, com resultados mais significativos, contrapondo duas situações diferentes.

3.7.6 Definição das Intensidades de Precipitação

Para obter as intensidades de chuva, fez-se uso da equação de intensidade (Equação 7) de chuva da cidade de Salvador, que relaciona a intensidade, a duração e a frequência das precipitações.

$$i = \frac{1065.66 \times T r^{0.163}}{(t+24)^{0.743}} \quad (mm/h) \quad (\text{Eq. 7})$$

Em que:

Tr = tempo de recorrência em anos.

t = tempo de concentração em minutos.

i = intensidade da chuva em mm/h.

O tempo de concentração em minutos escolhido foi $t = 30$, pois de acordo com Wischmeier *et al.* (1978) esse é o tempo de duração médio de chuva, que permite considerar o período da saturação do solo e coincidir com chuvas mais erosivas. Já para o tempo de recorrência em anos foi escolhido $Tr = 5$, que, de acordo com Tucci e Genz (1995), é o mais usado nos cálculos de obras de microdrenagens. Considerando esses dados, foi possível calcular a intensidade de chuva de Salvador, $i = 71,5$ mm/h.

3.7.7 Compactação da Amostra Deformada

A compactação é um método de estabilização do solo, que ocorre pela aplicação de alguma forma de energia (impacto, vibração, compressão estática ou dinâmica). Seu efeito promove, no solo, um aumento em seu peso específico e resistência ao cisalhamento e uma diminuição do índice de vazios.

A compactação foi realizada em uma fôrma quadrada – Figura 19 – com medidas de 50,0 cm x 50,0 cm x 10,0 cm, com exceção de um dos lados, que conta com um vertedouro afunilado com a função de recolher o solo erodido pelo fluxo superficial concentrado, sendo a sua abertura de 50,0 cm x 2,0 cm, restando assim 8,0 cm de profundidade nesse lado. Essa profundidade de 8,0 cm é a máxima para preencher com o solo a ser compactado, chegando ao extremo entre a altura máxima da parede e o início da abertura que coleta o solo erodido.

Figura 19 – Fôrma de moldagem do corpo de prova



Fonte: O autor (2018).

3.7.7.1 Preparação do Corpo de Prova

Com o resultado do ensaio de massa específica seca, obtido pelo método da balança hidrostática e pelo método do anel de adensamento, e com a umidade após tratamento estatístico, tentou-se reproduzir em laboratório corpos de prova com a mesma massa específica e umidade encontradas em campo.

Para a preparação dos corpos de prova, tomava-se uma quantidade suficiente de massa de amostra deformada seca (cerca de 28 kg), fazia-se o destorroamento e por fim era passada na peneira de número 10 (abertura de malha igual a 2,0 mm) – Figura 20.

Figura 20 - Destorroamento da amostra deformada.



Fonte: O autor (2018).

Após o destorroamento, com a quantidade de material suficiente, despejava-se em um recipiente e, em seguida, adicionava-se água, aproximadamente 2 litros, para atingir a umidade higroscópica de campo. Homogeneizava-se e as amostras eram reservadas em sacos plásticos, deixando-as descansar por 24 horas.

Após as 24 horas, dava-se início ao processo de compactação, com 5 camadas iguais, de aproximadamente 1,6 cm de espessura, para obter uma melhor homogeneização do corpo de prova.

No processo de compactação para cada uma das 5 camadas utilizou-se 7,5 kg de solo, o qual era transferido para a fôrma e colocado sobre um geotêxtil não-tecido, que funcionava como filtro para a água infiltrada – Figura 21.

Figura 21- Pesagem e preparação dos corpos de prova.



Fonte: O autor (2018).

Com o auxílio de um soquete – Figura 22 – e uma placa de madeira, realizou-se a compactação aplicando-se vários golpes uniformemente distribuídos, até se alcançar a espessura máxima de 1,6 cm por camada, totalizando uma espessura de 8,0 cm após compactar as 5 camadas.

Figura 22 - Compactação do corpo de prova com auxílio de um soquete.



Fonte: O autor (2018).

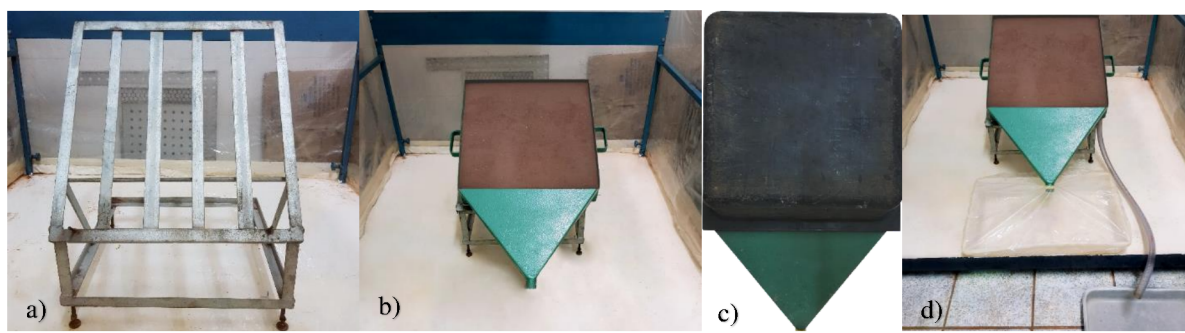
Vale ressaltar que todo o processo descrito nesse item é específico para a preparação do corpo de prova com solo arenoso. Para o solo argiloso, a massa específica seca, a umidade e a quantidade de solo na fôrma se alteraram de acordo com os resultados obtidos nos ensaios de caracterização geotécnica desse solo.

3.7.8 PROCEDIMENTO PARA EXECUÇÃO DO ENSAIO DE ERODIBILIDADE

O ensaio seguiu os seguintes passos:

1. Preparar o corpo de prova (item 3.7.7.1).
2. Pesar o conjunto, fôrma e corpo de prova, e anotar na ficha de ensaio.
3. Calibrar o Simulador de Chuva e aferir a intensidade de precipitação.
4. Preparar a mesa de ensaio com a declividade desejada (30° e 50°) – Figura 23a.
5. Acoplar o conjunto à mesa de ensaio no centro na câmara pulverizadora – Figura 23b.
6. Cobrir o corpo de prova com uma tampa protetora – Figura 23c.
7. Conectar o recipiente coletor de material erodido ao funil vertedouro com uma capa plástica – Figura 23d –, que tem como função impedir a coleta de material perdido por *splash*.
8. Conectar a mangueira coletora na saída da chuva filtrada – Figura 23d.
9. Colocar a outra extremidade da mangueira no recipiente que recebe a chuva filtrada, e que deve ficar do lado externo do Simulador de Chuva.
10. Ligar o disco e ajustar a rotação para 100 Rev./min – Figura 24.

Figura 23 - Passo a passo do ensaio de erodibilidade



Fonte: O autor (2018).

Figura 24 - Painel de controle e indicação da rotação (100 Rev./min).



Fonte: O autor (2018).

11. Ligar a Bomba e ajustar a pressão para 0,6 bar e conferir a rotação do disco – Figura 25.

Figura 25 - Medidor de fluxo e registro de pressão (0,6 bar).



Fonte: O autor (2018).

12. Esperar a chuva estabilizar e retirar a tampa protetora, acionando o cronômetro.
13. Observar e aguardar, por 20 minutos, o término do ensaio.
14. Retirar o amostrador e lavar a parte interna do funil vertedouro, com auxílio de uma piçeta, removendo todo o material preso que foi erodido.
15. Remover o recipiente coletor de material erodido e levar para a estufa.
16. Medir o volume de chuva filtrado e anotar na ficha de ensaio.
17. Colocar o restante do material não erodido em bandejas e levar para a estufa por um período de 4 dias, o qual foi reaproveitado para a preparação de novos corpos de prova, após totalmente seco.
18. Retirar o recipiente coletor de material erodido da estufa, esperar esfriar e pesar. Anotar na ficha de ensaio.
19. Os cálculos das perdas de material erodido por escoamento superficial são determinados diretamente, pesando o material erodido depois de seco. A perda total, por escoamento e por *splash*, é calculada subtraindo-se o peso seco do corpo de prova após o ensaio do peso seco do corpo de prova antes do ensaio. Para obter o valor de perda por *splash*, subtrai-se o valor de perda do material erodido por escoamento superficial do valor da perda total.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS

A tabela 1 apresenta os resultados obtidos dos ensaios de análise granulométrica sem e com o uso do defloculante para os solos estudados – Figuras 26 e 27. Na tabela 2, são apresentados os resultados dos limites de consistência, massa específica e índices físicos das amostras.

Tabela 1 - Resultados dos ensaios de análise granulométrica com e sem defloculante

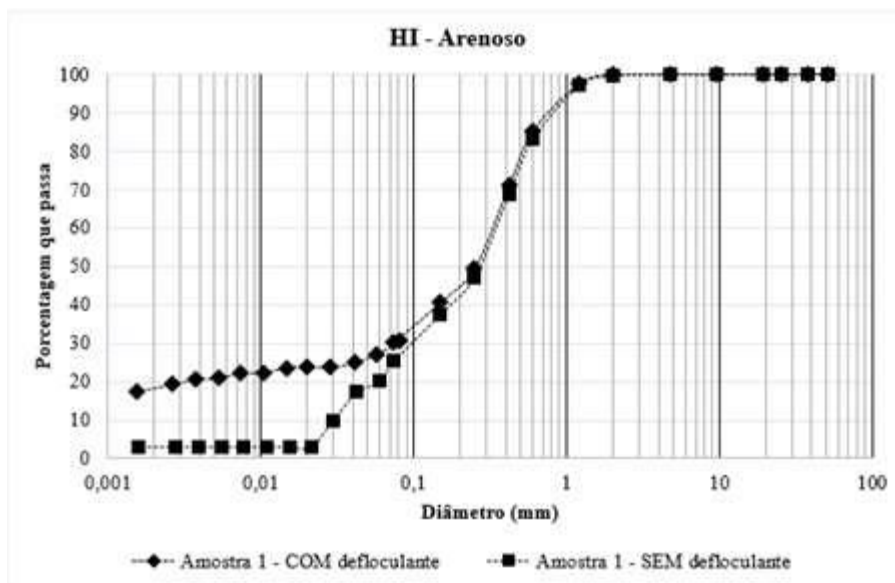
		Ped.	A. G. ¹	A.M. ²	A. F. ³	Silte	Argila	Classificação granulométrica
HI (Arenoso)	c/ def.	0%	15%	41%	17%	10%	17%	Areia argilosa
	s/ def.	0%	18%	38%	18%	24%	2%	Areia siltosa
HS (Argiloso)	c/ def.	1%	2%	3%	8%	9%	77%	Argila arenosa
	s/ def.	1%	2%	3%	34%	30%	30%	Silte arenoso

¹A.G (Areia Grossa); ²A.M. (Areia Média); ³A.F. (Areia Fina).

Fonte: O autor (2018).

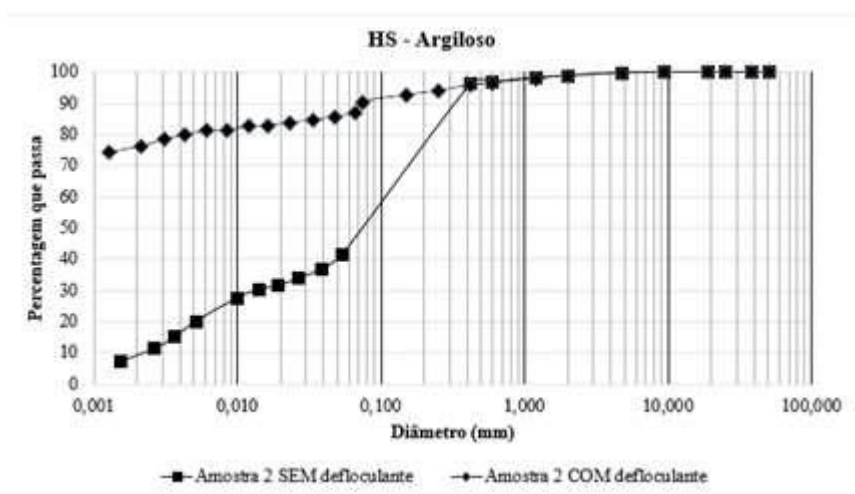
Nota-se uma alteração nos percentuais de silte e argila, quando as amostras são ensaiadas com e sem defloculante (Tabela 1). A presença do defloculante separa as partículas de argila, inicialmente aderidas às partículas maiores de solo e, portanto, mostra o percentual de argila que de fato existe no solo. Sem a utilização do defloculante, o percentual de silte aumenta e, particularmente para o HS – argiloso, o percentual de areia fina também cresce. Isto pode também ser observado nas Figuras 26 e 27, para o solo HI – arenoso e HS – argiloso, respectivamente. Para o primeiro, este fato pode evidenciar a relação com a erodibilidade do solo, visto que solos siltosos são mais erodíveis que os argilosos, conforme apontado em Nearing *et al.* (1988); Reichert *et al.* (1994); Schafer *et al.* (2001) e Mascarenha *et al.* (2015).

Figura 26 - Curva granulométrica da amostra HI – Arenoso



Fonte: O autor (2018).

Figura 27 - Curva granulométrica da amostra HS - Argiloso



Fonte: O autor (2018).

Tabela 2 - Resultados dos ensaios de limites de consistência, massa específica e índices físicos.

Parâmetros dos solos	Limites de Consistência			Massa esp. Grãos	Massa esp. natural	w	Massa esp. aparente Seca	e	N	Classificação	
	L _L	L _P	IP							AASHTO	SUCS
	%			g cm ⁻³	g cm ⁻³	%	g cm ⁻³				
HI (arenoso)	24	15	9	2,72	1,87	4,87	1,78	0,52	0,34	A-2-4	SC
HS (argiloso)	65	41	24	2,88	1,81	26,83	1,43	1,02	0,51	A-7-5	MH

Fonte: O autor (2018).

O solo HI – arenoso foi classificado como areia argilosa – SC, segundo o SUCS - Sistema Unificado de Classificação dos Solos, A-2-4 segundo a ASSHTO e apresentou índice de plasticidade de 9% (Tabela 2). Bastos (1999) propõe que solos, quando ensaiados com defloculante e apresentarem percentual de finos menor que 55% e/ou IP inferior a 10% são solos potencialmente erodíveis. Partindo dessa proposta, o solo estudado HI – arenoso pode ser classificado como potencialmente erodível, para as duas situações com e sem defloculante. No entanto, Jacintho *et al.* (2006) afirmam que para análise de erodibilidade dos solos saprolíticos, nem sempre é possível fazer uma associação direta com a plasticidade (condição de IP<10%) e o potencial de erosão; os aspectos mineralógicos e texturais necessitam ser considerados. Afirmam ainda que, para solos tropicais, não é correto afirmar que quanto maior a porcentagem de argila menor a erodibilidade, visto que, em muitos casos, esta argila encontra-se agregada, assumindo a textura de silte a areia fina, fato evidenciado na tabela 1 para os solos estudados nesta pesquisa.

O solo HS apresentou IP de 24% e 86% passante na #200 (0,075mm), sendo classificado como MH pelo SUCS e A-7-5 pela AASHTO – tabela 2, classificação coerente para o ensaio de granulometria. Segundo Bastos (1999), não apresentou potencial de erosão, mas este resultado não é compatível com o verificado in loco. No entanto, aplicando o proposto por Bastos (1999) para o ensaio de granulometria sem defloculante (% pass#200 = 50%), este horizonte foi classificado como potencialmente erodível. Para validar a classificação aplicando

a proposta de Bastos (1999), faz-se necessário a realização de mais ensaios com solos argilosos não laterizados, a fim de confirmar coerência dos resultados com ensaios de granulometria com e sem defloculante.

Os resultados para o solo HS – argiloso ensaiado com defloculante, são compatíveis com os apresentados por Jacintho *et al.* (2006), que afirmam que os solos saprolíticos do Distrito Federal, apesar de possuírem 40%, 60% e 80% de argila, são susceptíveis à erosão.

Não é possível relacionar a massa específica dos grãos à erodibilidade dos solos. Esta depende, em maior grau, de fatores como porosidade, distribuição dos poros e mineralogia (JACINTHO, 2003). De acordo com o conceito de porosidade, volume de vazios sobre volume total, nota-se que a amostra HS apresenta o volume de vazios ocupando 51% do volume total do solo, sendo classificado como muito alto. Já a amostra HI apresenta porosidade baixa. Desta forma, embora não seja um critério determinante, os solos estudados podem receber a classificação de alta e baixa erodibilidade, respectivamente, para as amostras HS e HI, de acordo com o proposto por Jacintho (2003), confirmando a ideia de que os siltes são os mais erodíveis.

4.2 CRITÉRIOS DE ERODIBILIDADE BASEADOS NA METODOLOGIA MCT DOS SOLOS ESTUDADOS

Para os solos estudados, a erodibilidade foi avaliada segundo o método que aplica a classificação MCT, que reúne o critério de erodibilidade originalmente estabelecido pela Metodologia MCT (NOGAMI e VILLIBOR, 1981) e o critério proposto por Vertamatti e Araújo (1990), com base na classificação MCT modificado (MCT-M). Para a classificação MCT, faz-se necessário determinar os índices c' , e' , d' e PI para cada solo estudado. Quanto ao solo HI, obteve-se os valores entre 0,2 e 0,3 para c' , índice que se relaciona com a granulometria. Um c' baixo ($<1,0$) caracteriza as areias e os siltes não plásticos ou pouco coesivos. Para o índice e' , que está relacionado com o comportamento laterítico ou não laterítico, foram obtidos resultados variando entre 1,8 e 2,0, mostrando um comportamento não laterítico. Desta forma, o solo HI ensaiado em triplicata foi classificado pelo método MCT como NA, areia não laterítica.

Para o solo HS, ensaiado em duplicata, obteve-se os valores entre 1,5 e 1,8 para c' e, para o índice e' , valores variando entre 1,4 e 1,6. O solo foi classificado pelo método MCT como

NG', argila não laterítica. O quadro 2 apresenta as características dos solos NA e NG', segundo Nogami e Villibor (1995).

Quadro 2 - Características dos solos estudados segundo a metodologia MCT
(NOGAMI e VILLIBOR, 1995).

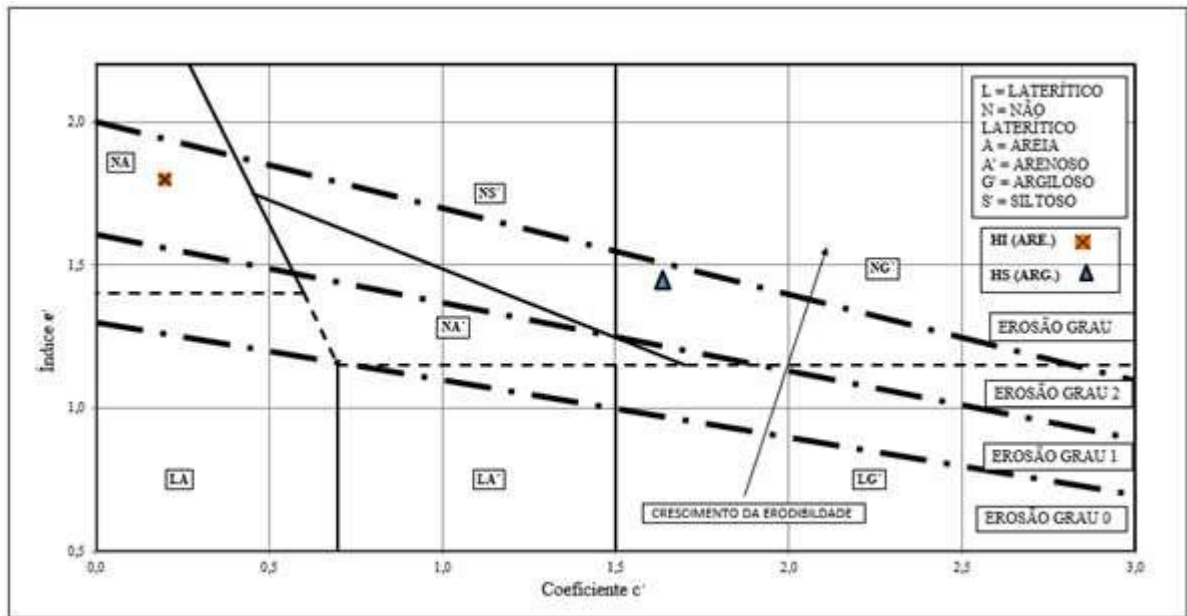
Amostra	Classe	Característica referente a classe MCT
HI (arenosa)	NA	- areias, siltes ou a mistura destes - saprolíticos e associados a rochas sedimentares ou metamórficas, característico de solos de Formação Barreiras - erodibilidade difícil de ser prevista pela classificação MCT
HS (argilosa)	NG'	- saprolíticos argilosos, que derivam de rochas sedimentares argilosas (argilitos, folhelhos, siltitos) ou cristalinos - pobres em quartzo e ricos em anfibólios, piroxênio e feldspatos cálcicos - apresentam restrições consequentes às suas elevadas expansibilidade, plasticidade, compressibilidade e contração quando submetidos a secagem - erodibilidade de média a elevada nos taludes de corte

Fonte: O autor (2018).

A classificação segundo Nogami e Villibor (1995), apresentada no quadro 2 para os solos estudados, corrobora com a classificação usando o critério da porosidade sugerido por Jacintho (2003).

Utilizando o critério proposto por Vertamatti e Araújo (1990), os dois horizontes estudados assumem uma classificação quanto à erodibilidade grau 2 - Figura 28, talude medianamente erodido com sulcos frequentes. Ao confrontar os resultados obtidos com a situação real encontrada no talude - Figura 7, é possível confirmar estes resultados.

Figura 28 - Critério de Vertamatti e Araújo (1990) – classificação dos solos estudados quanto ao grau de erodibilidade no Ábaco MCT–M



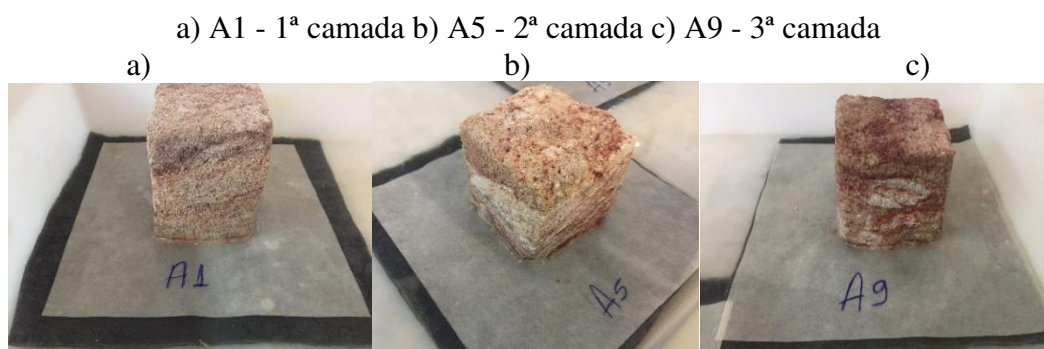
Fonte: O autor (2018).

4.3 ANÁLISE DA DESAGREGAÇÃO DOS SOLOS ESTUDADOS

O potencial de desagregação é a capacidade que um solo não saturado e não confinado tem de sofrer colapso de sua macroestrutura, quando exposto ao ar e, posteriormente, imerso em água, conforme descrito no capítulo 1.

A Figura 29 ilustra, de forma sequencial, os estágios nos quais as amostras cúbicas foram submetidas ao ensaio de desagregação.

Figura 29 - Ensaio de Desagregação com o horizonte inferior (HI) – Arenoso



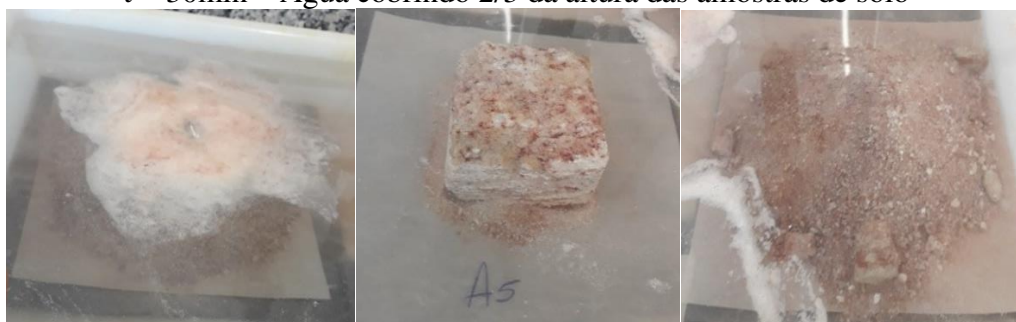
t = 0min – Água na base das amostras de solo



t = 15min – Água cobrindo 1/3 da altura das amostras de solo



t = 30min – Água cobrindo 2/3 da altura das amostras de solo



A1

A5

A9

t = 45min – Água cobrindo toda a amostra de solo



A1

A5

A9

t = 24h – Amostras em imersão total

Fonte: o autor (2018)

No início do trabalho (t = 0min), percebe-se o efeito da capilaridade umedecendo as amostras.

Ao final, com a submersão de todas as amostras em seus respectivos recipientes, foi notória uma desagregação total dos solos situados na 3ª camada, seguidos pelo solo da 1ª camada, além de apresentarem a formação de espumas.

A 2ª camada teve sua estrutura preservada, apresentou apenas pequenas erosões na superfície, em uma análise visual qualitativa e comparativa, apresentou baixa erosão. Esta camada também apresentou um maior peso específico natural, 2,04g/cm³, se comparada as outras camadas, 1,87 e 1,79 g/cm³, camadas 1 e 3 respectivamente. Fato que pode estar relacionado com a deposição dos sedimentos na sua formação. Confirmando, desta forma, a heterogeneidade do solo da Formação Barreiras que, para uma mesma litofácies, apresenta diferentes comportamentos. Corroborando com Morgan (2005) e Jacintho *et al.* (2006), quando afirmam que a erodibilidade no solo depende das variáveis estrutura e permeabilidade.

Para se obter o percentual de perda de solo foi incorporado no ensaio, após as observações visuais, a coleta do solo erodido que foi encaminhado para secagem em estufa com a finalidade de determinar a massa seca desprendida. Os valores de perda foram calculados a partir da relação de massa seca desprendida por massa seca inicial, que permitiu uma melhor avaliação das perdas sofridas por cada camada.

A tabela 3 apresenta as informações dos corpos de prova cúbicos (6,0x6,0x6,0) cm moldados para ensaio de desagregação, assim como também apresenta o percentual de perda por desagregação.

Tabela 3 - Resultados do ensaio de desagregação

Identificação	Corpo de prova	Massa seca do CP(g)	Massa desagregada(g)	% de perda por desagregação
1ª Camada	A1	571,21	564,12	98,8%
	A2	504,44	502,83	99,7%
	A3	485,19	483,45	99,6%
	A4	524,55	519,36	99,0%
2ª Camada	A5	465,38	134,72	28,9%
	A6	446,98	29,35	6,6%
	A7	427,13	23,47	5,5%
	A8	463,51	386,26	83,3%
3ª Camada	A9	446,00	434,97	97,5%
	A10	452,93	448,08	98,9%
	A11	368,25	343,3	93,2%
	A12	500,24	496,79	99,3%

Fonte: o autor (2018)

As 1ª e 3ª camadas apresentaram alto grau de erodibilidade, com perdas próximas de 100%. A 2ª camada do bloco apresentou baixo grau de erodibilidade, com perdas variando de 5 a 28%, com exceção de uma amostra que apresentou uma perda de 83,33%.

A tabela 4 apresenta a classificação de desagregação do solo, segundo proposta de Holmgren e Flanagan (1977). Os resultados dos ensaios dispostos na tabela 4 estão em conformidade com a classificação visual exibida na figura 29. Pode-se perceber que as amostras da 1ª e 3ª camadas sofreram uma perda quase que total por desagregação, apresentando abatimento com dispersão e faturamento. Já as amostras da camada intermediária (2ª camada) apresentaram baixos percentuais de perda por desagregação e sofreram, visualmente, pouco abatimento e dispersão podendo ser classificadas como menos susceptíveis à erosão.

Tabela 4 - Classificação do ensaio de desagregação segundo Holmgren e Flanagan (1977).

Identificação	Corpo de prova	Classificação
1ª Camada	A1	Abatimento com dispersão
	A2	Abatimento com dispersão
	A3	Abatimento com dispersão
	A4	Abatimento com dispersão
2ª Camada	A5	Fraturamento e dispersão
	A6	Sem resposta
	A7	Sem resposta
	A8	Fraturamento e dispersão
3ª Camada	A9	Abatimento com dispersão
	A10	Abatimento com dispersão
	A11	Abatimento com dispersão
	A12	Abatimento com dispersão

Fonte: o autor (2018)

Os resultados mostram a diferença de comportamento dos solos estudados frente ao umedecimento e posterior inundação. Apontam, ainda, que o potencial de desagregação do solo em água tem forte relação com a fragilidade frente à ação erosiva pelo fluxo superficial.

4.4 ANÁLISE DO ENSAIO SEDIMENTOMÉTRICO

Para utilizar o ensaio sedimentométrico, a NBR 13602 (ABNT, 1996 b) admite a aplicação para solos com o teor de argila (diâmetro < 0,005 mm) maior que 12%, que é o caso do solo argiloso - HS. A tabela 5 mostra o percentual de dispersão encontrado, para os solos dos dois horizontes estudados.

Tabela 5 - Resultados do ensaio de dispersão

SOLO	PORCENTAGEM DE DISPERSÃO		
	Argila (< 0,005mm)	Argila (< 0,005mm)	% dispersão (%)
	<u>sem disp. (%)</u>	<u>com disp. (%)</u>	
HI (ARE.)	3	20	N.A.
HS (ARG.)	20	80	25

Fonte: o autor (2018)

A dispersibilidade ocorre quando as forças de repulsão são superiores às forças de atração, formando uma suspensão quando em contato com água. A percentagem de dispersão igual a 100% indica uma fração de argila completamente dispersiva, e a percentagem de dispersão igual a 0 indica uma argila completamente não dispersiva. O solo argiloso – HS apresentou baixo grau de dispersão, com percentuais abaixo de 50%.

Do ponto de vista prático, enfocando o problema de erosão, para a natureza do solo estudado ocorrerá erosão simples pela atuação da força atrativa da água, pois houve 25% de dispersão com a presença de misturador mecânico e com o hexametáfosfato de sódio. Fato corroborado por Jacintho *et al.* (2006), quanto ao aspecto químico que a defloculação exerce, provocando pequena mudança nas características do solo.

4.5 AVALIAÇÃO DA ERODIBILIDADE DO SOLO COM O SIMULADOR DE CHUVA

Nas Tabelas 6 e 7, são apresentados os índices físicos de campo dos horizontes estudados e das amostras compactadas em laboratório, as quais foram utilizadas no Simulador de Chuva.

O solo HI apresentou maior facilidade para reproduzir as condições de campo, pois necessitou de baixa umidade e permitiu fácil homogeneização. Os valores previamente calculados variaram entre 1,63 g.cm⁻³, que fornece um grau de compactação (GC) de 92%, e 1,74 g cm⁻³ com GC = 98 %.

Tabela 6 - Controle de compactação do Solo Arenoso – HI e índices físicos das amostras

		Massa Seca Compactada (kg)	GC	w (%)	ρ_d (g cm ⁻³)	e	Sr (%)	ΔSr (%)		
		Índices físicos encontrados in loco		4,87	1,788	0,52	25,46			
HI- ARENOSO	INCLINAÇÃO 30°	NUA		32,68	92%	4,60	1,63	0,66	18,86	-25,91
				34,35	96%	5,37	1,72	0,58	25,04	-1,64
				33,37	94%	5,28	1,67	0,63	22,82	-10,39
		C/ GEOMANTA		34,63	97%	5,16	1,73	0,57	24,62	-3,31
				34,41	97%	5,80	1,72	0,58	27,22	6,91
				34,58	97%	5,07	1,73	0,57	24,10	-5,33
	INCLINAÇÃO 50°	NUA		34,38	96%	5,98	1,72	0,58	27,98	9,90
				34,50	97%	5,67	1,73	0,57	26,82	5,32
				34,52	97%	5,20	1,73	0,57	24,63	-3,25
		C/ GEOMANTA		34,72	97%	5,71	1,74	0,56	27,46	7,86
				34,86	98%	5,68	1,74	0,56	27,60	8,40
				34,16	96%	5,78	1,71	0,59	26,57	4,35

Fonte: o autor (2018)

Para garantir uma homogeneização adequada do solo HS, devido ao seu alto teor de finos, foi necessária a cura da amostra por 24 horas. Devido à dificuldade para compactação do solo, os graus de compactação ficaram inferiores a 90%, produzindo, desta forma, um material com maior índice de vazios, grau de compactação entre 74% e 87%, e grau de saturação acima dos parâmetros de campo. A umidade apresentou valores mínimo e máximo de 25,56% e 28,45%, respectivamente, (variando de -1,33% a +1,17% em relação ao valor de campo que foi de 26,83%), como pode ser visto na tabela 7.

Tabela 7 - Controle de compactação do Solo Argiloso – HS e índices físicos das amostras

		Massa Seca Compactada (kg)	GC	w (%)	$\rho_d(\text{g.cm}^{-3})$	e	Sr (%)	ΔS_r (%)	
		Índices físicos encontrados in loco		26,83	1,43	1,02	75,73		
HS - ARGILOSO	INCLINAÇÃO 30°	NUA	24,53	86%	28,4%	1,23	1,35	60,76	-19,77
			24,84	87%	26,9%	1,24	1,32	58,76	-22,40
		C/ GEOMANTA	24,49	86%	28,5%	1,22	1,35	60,60	-19,97
			24,52	86%	28,3%	1,230	1,350	60,41	-20,230
	INCLINAÇÃO 50°	NUA	24,75	78%	25,6%	1,24	1,33	55,44	-26,79
			24,36	80%	28,1%	1,22	1,36	59,27	-21,73
		C/ GEOMANTA	24,27	73%	27,6%	1,21	1,37	57,88	-23,56
			23,70	79%	25,8%	1,19	1,43	51,97	-31,38

Fonte: o autor (2018)

O efeito de estruturação do solo e de cimentação ocasionada pelo processo de formação pedogenético, exerce influência significativa sobre a atuação dos processos erosivos. Este aspecto não foi reproduzido em laboratório, uma vez que as amostras submetidas ao simulador de chuvas foram compactadas e, portanto, não representaram com fidelidade a ação dos agentes cimentantes de campo, por exemplo. O comportamento do solo, frente a uma determinada chuva, está atrelado ao seu teor de umidade, grau de saturação e, portanto, ao seu estado de tensões e a intensidade da chuva. Quanto menor o grau de saturação, maior a sucção, ou seja, maior a capacidade do solo em absorver água. Com o umedecimento, reduz-se a coesão aparente e o ar presente nos vazios é comprimido, sendo capaz de gerar uma poropressão positiva que, dependendo da estrutura do solo, pode desagregá-lo (BENDER, 1985; LE BISSONNAIS, 1990; FÁCIO, 1991; MORGAN, 2005; JACINTHO *et al.*, 2006; ALMEIDA,

2014; GARCIA-CHEVESICH, 2015). Esta foi a situação ocorrida com o solo HI quando comparado ao solo HS, no que se refere ao grau de saturação. A variação nos níveis de porosidade, peso específico seco, umidade e grau de saturação, produziram solos com condições diferentes no campo e, conseqüentemente, com características de susceptibilidade à erosão também não semelhantes. Quanto maior a variação, mais distante das características reais de erodibilidade.

As tabelas 8 e 9 mostram os resultados da taxa de desagregação laminar e por *splash*, obtidas de cada ensaio realizado para as amostras compactadas estudadas.

Tabela 8 - Resultados de desagregação laminar e por *Splash* do Solo Arenoso – HI

Superfície	Chuva de calibração (mm/h)	Taxa de desagregação Laminar		Taxa de desagregação por Splash		Perda Total			
		(kg m ⁻² min ⁻¹)	Média	(kg m ⁻² min ⁻¹)	Média	(kg m ⁻² min ⁻¹)	Média		
HI- ARENOSO	INCLINAÇÃO 30°	NUA	69,08	0,145	0,077		0,222		
			66,21	0,162	0,155	0,048	0,065	0,211	0,220
			79,30	0,159		0,070		0,229	
	C/ GEOMANTA	81,44	0,065		0,073		0,139		
		77,64	0,103	0,110	0,004	0,040	0,106	0,150	
		83,13	0,161		0,044		0,205		
INCLINAÇÃO 50°	NUA	70,77	0,470		0,101		0,570		
		80,50	0,444	0,470	0,054	0,080	0,498	0,558	
		81,94	0,523		0,087		0,610		
	C/ GEOMANTA	80,07	0,225		0,029		0,254		
		74,83	0,145	0,181	0,009	0,014	0,154	0,195	
		76,02	0,174		0,003		0,177		

Fonte: o autor (2018)

Tabela 9 - Resultados de desagregação laminar e por *Splash* do Solo Argiloso – HS

Superfície	Chuva de calibração (mm/h)	Taxa de desagregação Laminar		Taxa de desagregação por <i>Splash</i>		Perda Total	Perda Total	
		(kg m ⁻² min ⁻¹)	Média	(kg m ⁻² min ⁻¹)	Média	(kg m ⁻² min ⁻¹)	Média	
HS - ARGILOSO	INCLINAÇÃO 30°	NUA	77,00	0,240	0,230	0,060	0,066	0,300
			75,56	0,220		0,072		0,292
	C/ GEOMANTA	76,84	0,038	0,036	0,008	0,006	0,046	
		75,90	0,034		0,004		0,038	0,042
INCLINAÇÃO 50°	NUA	76,75	0,422	0,319	0,074	0,113	0,496	
		72,68	0,216		0,152		0,369	
	C/ GEOMANTA	70,04	0,031	0,026	0,006	0,005	0,038	
		76,48	0,020		0,003		0,023	0,020

Fonte: o autor (2018)

Nas tabelas 8 e 9, observa-se que o solo HI-arenoso sofreu perda total de solo muito superior ao solo HS-argiloso, para o talude com as duas inclinações, independente de haver proteção ou não, indicando uma maior susceptibilidade à erosão para o solo HI-arenoso.

Para a inclinação de 30° sem a geomanta, o solo HI apresentou taxas de desagregação total superiores ao do solo HS, 0,22 kg.m⁻².min⁻¹ contra 0,197 kg.m⁻².min⁻¹, prevalecendo as taxas de desagregação laminar que foram muito superiores à desagregação por *Splash*, com valores de perda 2,4 e 3,5 superiores para as amostras HI e HS, respectivamente. Com a geomanta, as taxas de desagregação total reduziram, apresentando valores de 0,15 kg.m⁻².min⁻¹ e 0,042 kg.m⁻².min⁻¹ para HI e HS, respectivamente. Durante o ensaio com o uso da geomanta, a erosão por *Splash* foi praticamente nula e a perda por desagregação laminar comandou o processo erosivo em detrimento da desagregação por *Splash* para HI e HS.

Para a inclinação de 50°, superfície nua, ocorreram perdas ainda maiores. Dentre as condições simuladas, obteve-se a taxa de desagregação total de 0,558 kg.m⁻².min⁻¹ para o HI e

0,288 kg.m⁻².min⁻¹ para o HS, mostrando maior susceptibilidade para o HI-solo arenoso. Analisando as taxas de desagregação, separadamente, a taxa laminar foi 5,9 vezes maior que a taxa por *Splash* para o HI e 2,8 vezes para o HS. Ou seja, o aumento da inclinação do talude promoveu um aumento na taxa de desagregação laminar para o solo do HI. Para a mesma inclinação e, considerando a superfície coberta, a taxa de desagregação total reduziu sendo 0,195 kg.m⁻².min⁻¹ para o HI e 0,020 kg.m⁻².min⁻¹ para o HS, mostrando, mais uma vez, que a geomanta protege o solo dos processos erosivos. As taxas de desagregação laminar foram 12,9 vezes maiores que as taxas por *Splash* para o solo HI e 5,2 para o HS, conforme tabelas 8 e 9, comprovando que o uso da geomanta praticamente elimina a desagregação por *Splash*, para as duas inclinações e os dois solos estudados.

É possível verificar, nas tabelas 8 e 9, que as variações nos valores de perdas nos ensaios, de cada situação estudada, podem ser explicadas devido à variação das intensidades das chuvas, corroborando com Amorim *et al.* (2001) e pela variação obtida no grau de compactação (Tabelas 6 e 7) dos solos. Este afirma que, com o aumento da quantidade de água e energia cinética das precipitações, ocorrerá um aumento da perda de solos. Isso acontece com o solo HI-arenoso estudado, mesmo com um grau de compactação superior ao das amostras do solo HS-argiloso.

A tabela 10 apresenta um resumo do desempenho das amostras de solo compactado, sob chuva simulada.

Observa-se, na tabela 10 que, para a maior inclinação (50°), houve maior redução da taxa de desagregação total, quando se usa a geomanta. A desagregação total reduziu em 93% e 65% para os solos HS e HI, respectivamente. Para a inclinação de 30°, a desagregação total também sofreu redução, sendo que o maior benefício aconteceu para o talude com maior inclinação. Além disso, observa-se que o solo HS-argiloso apresentou os maiores percentuais de redução na erodibilidade, quando comparado ao solo HI-arenoso.

Os resultados obtidos vêm corroborar com os já apontados por outros trabalhos (WISCHMEIER & SMITH, 1978; WILDNER, 1985; BERTOL *et al.*, 1989; BERTONI e LOMBARDI NETO, 1990; CARVALHO *et al.*, 1990; BRAIDA, 1999; ALBUQUERQUE *et al.*, 2002; SILVA *et al.*, 2005; FERNANDES *et al.*, 2009; TARTARI *et al.*, 2012; RAMOS *et al.*, 2014; MARQUES e GEROTO, 2015). Isto é, a proteção superficial do solo resulta em uma redução da desagregação e conseqüentemente do transporte de solo, pois ao cobrir a superfície, impede-se o impacto direto das gotas na sua superfície. Além disto, a tabela 10 confirma os

resultados apresentados por Mota (1997), Morgan (2005) e Garcia-Chevesich (2015), que afirmam que as taxas de desagregação são elevadas para maiores inclinações.

Tabela 10 - Percentual de redução de erodibilidade para as amostras ensaiadas

	Superfície	Erodibilidade Média			Erodibilidade Média	
		(kg m ⁻² min ⁻¹)	Redução da erodibilidade		(kg m ⁻² min ⁻¹)	Redução da erodibilidade
Horizonte Superior - ARGILOSO	INCLINAÇÃO 50°	NUA	-93%	Horizonte Inferior - ARENOSO	0,559	-65%
		C/ GEOMANTA			0,020	
	INCLINAÇÃO 30°	NUA	-79%		0,220	-32%
		C/			0,042	

Fonte: o autor (2018)

Corroborando com Meyer *et al.* (1975), Bastos (1999), Guerra (1999), Conciani (2008), o solo HI, classificado como areia argilosa (com defloculante) e areia siltosa (sem defloculante), devido à ausência de características coesivas, apresentou taxas de perdas de solos por erosão laminar até 12,9 vezes superiores as perdas por Splash. Houve destacamento, devido à força hídrica ter sido maior que a resistência ao cisalhamento do solo, que depende de fatores como grau de petrificação, granulometria, expansibilidade e inclinação do talude.

O solo arenoso - HI, classificado como SC, apresentou níveis de erosão superiores ao solo argiloso - HS, classificado como MH, resultado que corrobora com o apresentado por Mascarenha *et al.* (2015).

4.6 RESUMO DOS RESULTADOS DOS MÉTODOS APLICADOS

A preocupação com os graves problemas de erosão em taludes de corte, em solos residuais da Formação Barreiras, com consequentes problemas ambientais, conduziu o trabalho de investigação sobre as peculiaridades de comportamento destes solos saprolíticos.

Fatores físicos, químicos, mecânicos, biológicos e morfológicos formam um complexo conjunto de variáveis, que dificultam a determinação da erodibilidade. Nesta pesquisa, foi possível verificar que, para um mesmo solo, o potencial de erodibilidade poderá ser bastante diferente, dependendo da metodologia adotada para a sua identificação, conforme mostrado na tabela 11.

Tabela 11 - Potencial de erodibilidade em função do controle de compactação

AUTOR/MÉTODO	ARE - HI	ARG - HS
Jacinto (2003)	B. Erodibilidade	A. Erodibilidade
Bastos (1999)	B. M. E. Erodibilidade	Não erodível
Cardoso (2002)	B. M. E. Erodibilidade	B. M. E. Erodibilidade
Nogami & Villibor (1995)	B. M. E. Erodibilidade	M. E. Erodibilidade
Vertamatti e Araújo (1990)	B. M. Erodibilidade	B. M. Erodibilidade
Holmgren e Flanagan (1977)	M. E. Erodibilidade	N.A.
NBR 13602 (ABNT, 1996 b)	N.A.	B. M. Erodibilidade

Abrev.: B = Baixo; M = Média; E = Elevada; N.A. = Não se aplica

Fonte: o autor (2018)

O método MCT-M, para determinação do grau de erodibilidade de solos tropicais, mostrou-se adequado, confirmando a situação encontrada no campo, conforme pode ser vista na figura 7. Considera-se ainda que o aprimoramento de técnicas para controle e mitigação dos processos erosivos torna-se fundamental, para que assim, seja possível evitar que os problemas ambientais, devido à erosão, se agravem e comprometam tanto a sociedade como o bioma.

5 CONCLUSÕES

Observou-se que a utilização da geomanta tridimensional ($>450 \text{ g.m}^{-2}$; esp. nominal $>18 \text{ mm}$; índice de vazios $> 90 \%$) proporcionou aos solos estudados, redução da erodibilidade para as inclinações de 30° e 50° estudadas.

Para o talude com inclinação de 50° , a taxa de erodibilidade reduziu em até 93% para o Horizonte Superior (HS)-argiloso, solo classificado como MH, e em até 65% para o Horizonte Inferior (HI)-arenoso, classificado como SC. Logo, essa técnica se mostra eficiente no controle do processo erosivo.

O maior desempenho da geomanta ocorreu para a mitigação e até eliminação da erosão por *Splash*, reduzindo em até 23 vezes a quantidade de solo destacado. No entanto, ressalta-se que é necessário promover o reestabelecimento da vegetação com a ajuda da geomanta, para que possa assegurar o bom desempenho da solução a longo prazo, que impede a ação direta do sol no solo, cria um ambiente confortável para pega da vegetação.

Ambos os horizontes, argiloso e arenoso, foram classificadas como mediamente erodível com sulcos frequentes.

Para identificar o potencial de erodibilidade de um solo, é necessário reunir uma grande quantidade de ensaios e metodologias, de forma a assegurar a correta e adequada classificação.

Para melhor caracterizar os solos estudados, é necessário determinar a mineralogia.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. NBR 7181/2016 – Solo – **Análise Granulométrica** – Método de Ensaio. Disponível em: <https://engenhariacivilfsp.files.wordpress.com/2015/03/nbr-7181.pdf>. Acesso em: 05.ago.2018
- _____. NBR 10838/1988 - Solo – **Determinação da massa específica aparente de amostras indeformadas, com emprego da balança hidrostática** – Método de ensaio. Disponível em: <http://files.ilcoribeiro.webnode.com.br/200000089-554bb5645c/NBR%201088>. Acesso em: 05.ago.2018
- _____. NBR 13602/1996b - Solo – **Avaliação da dispersibilidade de solos argilosos pelo ensaio sedimentométrico comparativo** – Ensaio de dispersão SCS. Disponível em: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/10138/abnt-nbr13602-solo-avaliacao-da-dispersibilidade-de-solos-argilosos-pelo-ensaio-sedimentometrico-comparativo-ensaio-de-dispersao-scs-metodo-de-ensaio> Acesso em: 05.ago.2018
- _____. NBR 6457/2016 – Amostras de Solo – **Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização** – Método de Ensaio. Disponível em: <http://files.ilcoribeiro.webnode.com.br/200000081-91bdd92b8f/NBR%206457.pdf>. Acesso em: 05.ago.2018
- _____. NBR 6459/2016 – Solo – **Determinação do Limite de Liquidez** – Método de Ensaio. Disponível em: <http://files.ilcoribeiro.webnode.com.br/200000085-5d2195d9d7/NBR%207180.pdf>. Acesso em: 04.ago.2018
- _____. NBR 7180/2016 – Solo – **Determinação do Limite de Plasticidade** – Método de Ensaio. Disponível em: <http://files.ilcoribeiro.webnode.com.br/200000085-5d2195d9d7/NBR%207180.pdf>. Acesso em: 04.ago.2018
- _____.NBR 6502/1995 – **Rochas e Solos**. Disponível em: <http://licenciadorambiental.com.br/wp-content/uploads/2015/01/NBR-6.502-Rochas-e-Solos.pdf>. Acesso em: 04.ago.2018
- _____.NBR 6508/1984 – **Grãos de solos que passam na peneira de 4,8mm** – Determinação da massa específica 934, 1988a. Disponível em: <http://files.ilcoribeiro.webnode.com.br/200000084-6ae306bdce/NBR%206508.pdf>. Acesso em: 04.ago.2018
- _____.NBR 9604/1986 – **Abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas** – Retirada de amostra indeformada, 1986. Disponível em: <http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/17403/material/NBR%209604%20-%20Coleta%20de%20Amostras.pdf>. Acesso em: 04.ago.2018
- ALBUQUERQUE, A.W. *et al.* Manejo da cobertura do solo e de práticas conservacionistas nas perdas de água e solo em Sumé, PB. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient.**, [online], v. 6, n. 1, p. 136-141, 2002. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1415-43662002000100024&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 04.ago.2018

ALBUQUERQUE, J. A.; CASSOL, E. A.; REINERT, D. J. Relação entre a erodibilidade em entressulcos e estabilidade de agregados. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v. 24, n. 1, p. 141-151, Campinas, 2000. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/172896?locale-attribute=es>. Acesso em: 20.set.2018

ALHEIROS, M. M. Riscos de Escorregamentos na Região Metropolitana do Recife. Instituto de Geociências da UFBA. Salvador. **Tese de doutorado**. 1998. Disponível em: <https://docplayer.com.br/47023789-Riscos-de-escorregamentos-na-regiao-metropolitana-do-recife.html>. Acesso em: 20.set.2018

ALMEIDA, J. G. R. Erodibilidade de solos tropicais não saturados nos municípios de Senador Canedo e Bonfinópolis – GO. **Dissertação de Mestrado**. Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil – PPG-GECON, Universidade Federal de Goiás, 128pp. 2014. Disponível em: <http://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tede/3969>. Acesso em: 20.set.2018

ÁLVAREZ-MOZOS, J. *et al.* Evaluation of erosion control geotextiles on steep slopes. Part 1: Effects on runoff and soil loss. **Catena**, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0341816213001306>
Acesso em: 20.set.2018

ALVES, M. C., CABEDA, M. S. V. Infiltração de água em um Podzólico Vermelho-Escuro sob dois métodos de preparo, usando chuva simulada com duas intensidades. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v. 23, n. 4, p. 753-761, 1999. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-06831999000400001&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 20.set.2018

AMORIM, R. S. S. *et al.* Influência da declividade do solo e da energia cinética de chuvas simuladas no processo de erosão entre sulcos. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient.**, [online], v. 5, n. 1, p. 124-130, 2001. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1415-43662001000100023&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 20.set.2018

APOSTILA HIDROLOGIA. **Conceitos Básicos**. Universidade Federal Bahia. Departamento de Engenharia Ambiental. Brasil; 2011. Disponível em: <https://www.passeidireto.com/arquivo/37947627/apostila-hidrologia-ufba>. Acesso em: 14 mar. 2018.

AYUBA, K.; OLORUNNAIYE, E. S. Application of geotextile materials in soil erosion control. Jorind, **Kaduna**, v. 12, n. 2, p. 85-93, dez. 2014. Disponível em: <http://nodaiweb.university.jp/desert/pdf9/Poster%20Session%203%20Soil%20and%20Water%20Technologies%20Combating%20Desertification,%20Remote%20Sensing%20and%20GIS/Raghuvanshi%20RAM%20pp249-252.pdf>. Acesso em: 14 mar. 2018.

BARCELOS, A. A.; CASSOL, E. A.; DENARDIN, J. E. Infiltração de água em um Latossolo Vermelho-Escuro sob condições de chuva intensa em diferentes sistemas de manejo. **Rev. Bras. Ciênc. Solo** [online], v. 23, n. 1, p. 35-43, 1999. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-06831999000100005&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 14 mar. 2018.

BASTOS, C. A. B. Estudo geotécnico sobre a erodibilidade de solos residuais não saturados. **Tese de Doutorado**. Porto Alegre/RS. Brasil, 1999. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/2978/000242000.pdf?sequence=1>. Acesso em: 14 mar. 2018.

BENDER, H. Erosion, um probleme de resistance au cisaillement em fonction du chemin des contraentes pendant l'infiltracion. **International Conference on Tropical Soils, I**, Brasília, Proceedings, v. 2, p. 15-25. 1985. Disponível em: <https://hal.univ-lorraine.fr/tel-01754597/document>. Acesso em: 14 mar. 2018.

BERTOL, I.; COGO, N. P.; LEVIEN, R. Cobertura morta e métodos de preparo do solo na erosão hídrica em solo com crosta superficial. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v. 13, n. 373-379, 1989. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832003000400019&lang=pt Acesso em: 14 mar. 2018.

BERTOL, I. *et al.* Erosão hídrica em um Nitossolo Háplico submetido a diferentes sistemas de manejo sob chuva simulada. II- Perdas de nutrientes e carbono orgânico. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v. 28, n. 6, p. 1045-1054, 2004. Disponível em: https://www.rbcsjournal.org/wp-content/uploads/articles_xml/0100-0683-rbcs-S0100-06832004000600013/0100-0683-rbcs-S0100-06832004000600013.pdf. Acesso em: 14 mar. 2018.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo, Ícone, 1990. 392p.

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

BHATTACHARYYA, R. *et al.* Use of palm-mat geotextiles for rain splash erosion control. **Geomorphology**, v. 119, n. 1-2, p. 52-61, (2010a). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169555X10000875>. Acesso em: 14 mar. 2018.

BHATTACHARYYA, R. *et al.* Using palm-mat geotextiles on an arable soil for water erosion control in the UK. **Earth Surface Processes Landforms**, v. 36, n. 7, p. 933-945, 2011. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/esp.2123>. Acesso em: 14 mar. 2018.

BHATTACHARYYA, R. *et al.* Effectiveness of geotextiles in reducing runoff and soil loss: a synthesis. **Catena**, v. 81, n. 3, p. 184-195, 2010b. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0341816210000329>. Acesso em: 14 mar. 2018.

BORRELLI, P. *et al.* Na assesment of the global impact of 21st Century land use change on soil erosion. Article. **Nature Communications**; 2017. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41467-017-02142-7> Acesso em: 14 mar. 2018.

BRAIDA, J. A. CASSOL, E. A. Relações da erosão em entressulcos com o tipo e com a quantidade de resíduo vegetal na superfície do solo. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v. 23, n. 3, p. 711-721, 1999. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-06831999000300026&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 14 mar. 2018.

CARDOSO, F. B. F. Propriedades e comportamento mecânico de solos do planalto central brasileiro. **Tese de Doutorado em Geotecnia**, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, FT, UnB, Brasília, DF, 357f, 2002. Disponível em: https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UNB_df0698296215d0d3dbed935caec37e92. Acesso em: 10 nov.2018

CARVALHO, C. C. *et. al.* **Processos Erosivos no Centro-Oeste Brasileiro**. FINATEC, Brasília/DF, Brasil; 2006. 464p.

CARVALHO, F. L. C.; COGO, N. P.; LEVIEN, R. Eficácia relativa de doses e formas de manejo do resíduo cultural de trigo na redução da erosão hídrica do solo. **Rev. Bras. Cienc. Solo**, v. 14, p. 227-234, 1990. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832008000500035 Acesso em: 10 nov.2018

CONCIANI, W. **Processos erosivos: conceitos e ações de controle** - Cuiabá: CEFET-MT 2008.

DAVIES, K., FULLEN, M. A.; BOOTH, C. A. A pilot project on the potential contribution of palm-mat geotextiles to soil conservation. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 31, n. 5, p. 561-569, 2006. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/32116354_A_pilot_project_on_the_potential_contribution_of_palm-mat_geotextiles_to_soil_conservation Acesso em: 10 nov.2018

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - DNER. Compactação em equipamento miniatura, solos, método de ensaio, **DNER - ME 228/94**. Rio de Janeiro: 1994b.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - DNER. Solos compactados com equipamento miniatura - determinação da perda de massa por imersão, solos, método de ensaio, **DNER - ME 256/94**. Rio de Janeiro: 1994c. 6p.

ELLISON W. D. Soil erosion studies. Agricultural Engineering. Elwell A. 1977. Soil loss estimation for southern Africa. **Research Bulletin 22**. Department of Conservation and Extension: Harare, Zimbabwe. 1947.

ELTZ, F. L. F.; NORTON, L.D. Surface roughness changes as affected by rainfall erosivity, tillage, and canopy cover. **Soil Science. Soc. Am. J.**, v. 61, n. 6, p. 1746-1755, 1997. Disponível em: <https://acess.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2136/sssaj1997.03615995006100060028x>. Acesso em: 10 nov.2018

FÁCIO, J. A. Proposição de uma metodologia de estudo da erodibilidade dos solos do Distrito Federal. **Dissertação de Mestrado em Geotecnia**. Universidade de Brasília, GDM-002A/91,120p. 1991. Disponível em: https://repositorio.unb.br/handle/10482/12398/browse?type=title&submit_browse=T%C3%A9tulo Acesso em: 10 nov.2018

FARIAS, W. M. Processos evolutivos de intemperismo químico e sua ação no comportamento hidromecânico de solos do planalto central. **Tese** (Doutorado em Geotecnia). Programa de Pós-graduação do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da

Universidade de Brasília. Brasília; 2012. Disponível em:
https://repositorio.unb.br/handle/10482/12398/browse?type=title&submit_browse=T%C3%A9mulo
 Acesso em: 10 nov.2018

FERNANDES, L. S. *et. al.* Uso de Geomantas no Controle da Erosão Superficial Hídrica em um Talude em Corte de Estrada. **Rev. Bras. Cienc. Solo**, v. 33, n. 1, p. 199-206, 2009. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-06832009000100021&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 10 nov.2018

FOLTZ, R. B.; COPELAND, N. S. Evaluating the efficacy of wood shreds for mitigating erosion. **Journal of environmental management**, v. 90, n. 2, p. 779-785, 2009. Disponível em: <https://www.fs.usda.gov/treearch/pubs/34163>. Acesso em: 10 nov.2018

FOSTER, G. R. **Modeling the erosion process**. In: HANN, C. T.; JOHSON, H. P.; BRAKENSIEK, D. L. (editores). Hydrologic modeling of small watersheds. St. Joseph, American Society of Agricultural Engineering, 1982.

GARCIA-CHEVESICH, P.A. **Control de la Erosión y Recuperación de Suelos Degradados**. United States of America: Outskirts Press, 2015.

GHUIDEY, F.; ALBERTS, E. E. Interrill erodibility affected by cropping and initial soil water movement. **Trans. Am. Soc. Agric. Eng.**, v. 37, n. 6, p. 1809-1815, 1994. Disponível em: https://elibrary.asabe.org/abstract.asp?aid=28270&t=2&redir=aid%3D28270&redir=%5Bvolume%3D37&confalias=&issue=6&conf=t&orgconf=t1994%5D&redirType=toc_journals.asp&redirType=toc_journals.asp&utm_source=TrendMD&utm_medium=cpc&utm_campaign=Transactions_of_the_ASAE_TrendMD_0. Acesso em: 10 nov.2018

GOVERS, G.; LOBB, D. A.; QUINE, T. A. 1999. Tillage erosion and translocation: emergence of a new paradigm in soil erosion research. **Soil Tillage Research**, v. 51, p. 167-174; 1999. Disponível em: <https://lirias.kuleuven.be/1563891?limo=0>. Acesso em: 10 nov.2018

GUERRA, A. J. T., SILVA, A. S. da.; BOTELHO, R. G. M. **Erosão e conservação dos solos: Conceitos, Temas e Aplicações**. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil, out. 1999.

HAIRSINE, P. B.; ROSE, C. W. Rainfall detachment and deposition: sediment transport in the absence of flow-driven processes. 2. ed. **Soil Science Society of America Journal**, v. 55, n. 2, p. 301-307, 1991.

HUANG, C.; BRADFORD, J. M.; CUSHMAN, J. H. A numerical study of raindrop impact phenomena: The elastic deformation case. **Soil Science Society of América Journal**, v. 47, n. 5, p. 855-861, 1983.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. (2006). **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Japão: IGES. IGES. ISBN 4-88788-032-4.

JACINTO, E. C., **Estudo de Solos residuais compactados para construção de barragens**. Dissertação de mestrado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, UNB, Brasília, DF, 27p. 2003.

https://repositorio.unb.br/handle/10482/12398/browse?type=title&submit_browse=T%C3%A Dtulo Acesso.10 nov.2018

JACINTO, E. C., *et al.* A Influência do Processo de Preparação na Compactação de um Solo Saprólítico. **13º Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica**, ABMS, Curitiba, PR, 6p. 2006.

LAL, R. Degradation and resilience of soils. **Philos Trans. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci**, v. 352, n. 1356, p. 997-1010, 1997. Disponível em:

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1691981/>. Acesso em: 10 nov.2018

LAL, R. Managing soils for feeding a global population of 10 billion. **J. Sci. Food Agric.**, v. 86, n. 14, p. 2273-2284, 2006. Disponível em:

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/jsfa.2626>. Acesso em: 10 nov.2018

LAL, R. Soil degradation by erosion. **Land Degrad. Develop.**, v. 12, n. 6, p. 519-539, 2001. Disponível em:

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ldr.472#:~:text=In%20fact%2C%20soil%20erosion%20can,fertile%20alluvial%20and%20loess%20soils>. Acesso em: 10 nov.2018

LAL, R. Soil management in the developing countries. **Soil Sci.**, v. 165, n. 1, p. 57-72, 2000. Disponível em:

https://journals.lww.com/soilsci/Abstract/2000/01000/SOIL_MANAGEMENT_IN_THE_DEVELOPING_COUNTRIES.8.aspx. Acesso em: 10 nov.2018

LE BISSONNAIS, Y. Experimental study and modelling of soil surface crusting processes. **Catena Supplement**, v. 17, n. 38, p. 13–28, 1990. Disponível em:

<https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19911953006>. Acesso em: 10 nov.2018

LYLES, L.; ALLISON, B. E. Equivalent wind erosion protection from selected crop residues. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, v. 24, n. 2, p. 405–9, 1981. Disponível em:

https://infosys.ars.usda.gov/WindErosion/publications/Andrew_pdf/80-193-J.pdf. Acesso em: 10 nov.2018

MACCAFERRI. **Geomantas MacMat**. Disponível em:

<https://www.maccaferri.com/br/produtos/geomantas-macmat/>. Acesso em: 06 abr. 2018.

MACHADO, R. L.; *et al.* Análise da erosividade das chuvas associada aos padrões de precipitação pluvial na região de Ribeirão das Lajes (RJ). **Rev. Bras. Ciênc. Solo** [online], v. 32, n. 5, p. 2113-2123, 2008. Disponível em:

https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-06832008000500032&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 10 nov.2018

MARQUES, C. M.; GEROTO R. E. Aplicação em Controle de Erosão Superficial. *In*: VERTEMATTI, J. C. (Coord.). **Manual Brasileiro de Geossintéticos**, São Paulo/SP: Blucher, 2015.

MARTINS FILHO, M. V. *et al.* Perdas de solo e nutrientes por erosão num Argissolo com resíduos vegetais de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola** [online], Jaboticabal, v. 29, n. 1, p. 8-18, 2009. Disponível em:

https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-69162009000100002&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 10 nov.2018

MASCARENHA, M. M. A. *et. al.* Erosão. In: CAVALHO, J. C. (Coord.). **Solos não saturados no contexto geotécnico**. São Paulo: Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 2015. 759p.

METZ, BERT. Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC); **Special Report on Methodological and Technological Issues in Technology Transfer**, 2000. Disponível em: <https://digitallibrary.un.org/record/466925>. Acesso em: 10 nov.2018

MEYER, L. D.; HARMON, W. C. Interrill runoff and erosion: Effects of row-sideslope, rain energy, and rain intensity. **Trans. Am. Soc. Agric. Eng.**, v. 35, n. 4, p. 1199-1203, 1992. Disponível em: <https://elibrary.asabe.org/abstract.asp?aid=28720>. Acesso em: 10 nov.2018

MEYER, L. D.; HARMON, W. C. Susceptibility of agricultural soils to interrill erosion. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 48, n. 5, p. 1152-1157, 1984. Disponível em: <https://acess.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2136/sssaj1984.03615995004800050040x>. Acesso em: 10 nov.2018

MEYER, L. D.; FOSTER, G. R.; RÖMKENS, M. J. M. Source of soil eroded by water from upland slopes. In: **PRESENT and prospective technology for predicting sediment yields and sources**. Washington, USDA-Agricultural Research, 1975. p. 177-189.

MITCHELL, D. J.; *et al.* Field studies of the effects of jute geotextiles on runoff and erosion in Shropshire, UK. **Soil Use and Management**, v. 19, n. 2, p. 182-184, 2003. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1475-2743.2003.tb00301.x>. Acesso em: 10 nov.2018

MORGAN, R. P. C.; RICKSON, R. J. Issues on soil erosion in Europe: the need for a soil conservation policy. In: BOARDMAN, J. Foster, D. L.; DEARING, J. A. (Editores), **Soil Erosion on Agricultural Land**, Wiley, Chichester; 1990.

MORGAN, R. **Soil erosion and conservation**. National Soil Resources Institute. Cranfield University. Blackwell Science Ltd. Oxford, UK, 2005, 304p.

MOTA, S. **Introdução à Engenharia Ambiental**. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES, Rio de Janeiro, RJ, 1997.

NEARING, M. A.; BRADFORD, J. M.; HOLTZ, R. D. Measurement of force vs. time relations for waterdrop impact. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 50, n. 6, p. 1532-1536, 1986. Disponível em: <https://acess.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2136/sssaj1986.03615995005000060030x>. Acesso em: 10 nov.2018

NEARING, M. A.; WEST, L. T.; BRADFORD, J. M. Consolidation of an unsaturated illitic clay soil. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 52, n. 4, p. 929- 934, 1988a. Disponível em: <https://acess.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2136/sssaj1988.03615995005200040005x>. Acesso em: 10 nov.2018

NEARING, M. A.; WEST, L. T.; BROWN, L. C. A consolidation model for estimating changes in rill erodibility. **Trans. Am. Soc. Agric. Eng.**, v. 31, n. 3, p. 696-700, 1988b. Disponível em: <https://elibrary.asabe.org/abstract.asp?aid=30769>. Acesso em: 10 nov.2018

NOGAMI, J. S.; VILLIBOR, D. F. **Pavimentos de Baixo Custo com Solos Lateríticos**. São Paulo: Ed. Villibor, 1995.

NOGAMI, J. S.; VILLIBOR, D. F. Uma nova classificação de solos para finalidades rodoviárias. **Simpósio Brasileiro de Solos Tropicais em Engenharia**, v.1, 1981.

PANACHUKI, E. *et al.* Parâmetros físicos do solo e erosão hídrica sob chuva simulada em área de integração agricultura-pecuária. **Rev. Bras. Eng. Agr. Ambient**, v. 10, n. 2, p. 261-268, Campina Grande, PB, 2006. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662006000200003. Acesso em: 20 nov.2018

PIMENTEL D. *et al.* Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. **Science**; v. 267, n. 5.201, p. 1117-1123, 1993. Disponível em: <https://science.sciencemag.org/content/267/5201/1117>. Acesso em: 20 nov.2018

RAMOS, J. C. *et al.* Influência das condições de superfície e do cultivo do solo na erosão hídrica em um cambissolo húmico. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v. 38, n. 5, p.1587-1600, Viçosa, 2014. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832014000500024#:~:text=A%20cobertura%20do%20solo%20por,superf%C3%ADcie%20C%20diminuindo%20a%20eros%C3%A3o%20h%C3%ADdrica. Acesso em: 20 nov.2018

REICHERT, J. M.; NORTON, L. D. Aggregate stability and rainimpacted sheet erosion of air-dried and prewetted clayey surface soils under intense rain. **Soil Science**, v. 158, n. 3, p. 159-169, 1994. Disponível em: https://journals.lww.com/soilsci/Abstract/1994/09000/AGGREGATE_STABILITY_AND_RAIN_IMPACTED_SHEET.1.aspx. Acesso em: 20 nov.2018

REICHERT, J. M.; NORTON, L. D. Surface seal micromorphology as affected by fluidized bed combustion bottom-ash. **Soil Technol.**, v. 7, n. 4, p. 303-317, 1995. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/093336309400015V>. Acesso em: 20 nov.2018

REICHERT, J. M.; NORTON, L. D.; HUANG, C. Sealing, amendment, and rain intensity effects on erosion of highclay soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 58, n. 4, p. 1199-1205, 1994a. Disponível em: https://www.academia.edu/19652059/Sealing_Amendment_and_Rain_Intensity_Effects_on_Erosion_of_High_Clay_Soils. Acesso em: 20 nov.2018

REICHERT, J. M.; VEIGA, M.; CABEDA, M. S. V. Selamento superficial e infiltração de água em solos do Rio Grande do Sul. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v. 16, p. 289-298, 1992. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/261707547_Selamento_superficial_e_infiltracao_de_agua_em_solos_do_Rio_Grande_do_Sul. Acesso em: 20 nov.2018

RICKSON, R. J. **The use of geotextiles for soil erosion control**. PhD thesis, Cranfield University, 2000

RÖMKENS, M. J. M.; WANG, J. Y. Soil roughness changes from rainfall. **Trans. Am. Soc. Agric. Eng.**, v. 30, n. 1, p.101-107, 1987. Disponível em: <https://elibrary.asabe.org/abstract.asp?aid=30409>. Acesso em: 20 nov.2018

RÖMKENS, M. J. M.; ROTH, C. B.; NELSON, D. W. Erodibility of selected clay subsoils in relation to physical and chemical properties. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 41, n. 5, p. 954-960, 1977. Disponível em: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2136/sssaj1977.03615995004100050030x>. Acesso em: 20 nov.2018

ROSSETTI, D. F.; FRANCISCO, H. R. B.; JOSÉ M. L. D. Late Oligocene–Miocene transgressions along the equatorial and eastern margins of Brazil. **Earth-Science Reviews**. v. 123, p. 87–112, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0012825213000792>. Acesso em: 4 dez.2018

SANABRIA, L. L. O.; PEREIRA, E.; ANTONIOLI, L. Revisão estratigráfica dos depósitos miocênicos aflorantes na região do alto de Olivença, litoral Sul do Estado da Bahia, Brasil. **Revista Brasileira de Paleontologia**, v. 18, n. 3, 2015. Disponível em: <http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/rbp/article/view/9963>. Acesso em: 4 dez.2018

SANTOS, F. A. S. *et al.* Taxa de desagregação em Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico sob chuva simulada. Universidade do Estado de Mato Grosso - **Trabalho de Conclusão de Curso**, 2010. 16p.

SANTOS, G. G.; GRIEBELER, Nori. P.; OLIVEIRA, L. F. C. de. Chuvas intensas relacionadas à erosão hídrica. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient.**, v. 14, n. 2, p. 115–123, Campina Grande, PB, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v14n2/v14n02a01.pdf>. Acesso em: 4 dez.2018

SCHAFER, M. J. *et al.* Erosão em entressulcos em diferentes preparos e estados de consolidação do solo. **Rev. Bras. Ciênc. Solo** [online], v. 25, n. 2, p. 431-441, 2001. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-06832001000200019&script=sci_arttext&tlng=pt. Acesso em: 4 dez.2018

SEIXAS, B. L. S. **Fundamentos do manejo e da conservação do solo**- Salvador: Centro Editorial e didático da UFBA, 1984.

SILVA, D. D. *et al.* Efeito da cobertura nas perdas de solo em um Argissolo Vermelho-Amarelo utilizando simulador de chuva. **Eng. Agríc. Jaboticabal**, v. 25, n. 2, p. 409-419, 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/eagri/v25n2/26503.pdf>. Acesso em: 4 dez.2018

SMETS T. *et al.* Evaluation of biological geotextiles for reducing runoff and soil loss under various environmental conditions using laboratory and field plot data. **Land Degrad. Dev. Land Degradation and Development**, v. 22, n. 5, pp. 480-494, 2011. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ldr.1095>. Acesso em: 4 dez.2018

SMETS, T.; POESEN, J. Impacts of soil tillage on the effectiveness of biological geotextiles in reducing runoff and interrill erosion. **Soil and Tillage Research**, v. 103, n. 2, p. 356-363, 2009. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016719870800216X>. Acesso em: 4 dez.2018

TARTARI, D. T. *et al.* Perda de solo e água por erosão hídrica em Argissolo sob diferentes densidades de cobertura vegetal. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Rio de Janeiro, v.7, n. 3, p. 85-93, 2012. Disponível em: <https://orgprints.org/22793/1/12720-54133-1-PB.pdf>. Acesso em: 4 dez.2018

THEISEN, M. S. The role of geosynthetics in erosion and sediment control: An overview. **Geotextiles and Geomembranes**, v. 11, n. 4–6, p. 535-550, 1992. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0266114492900315>. Acesso em: 4 dez.2018

TUCCI, C. E. M.; GENZ, F. **Drenagem Urbana**, Porto Alegre, Ed. da Universidade / ABRH, 1995.

VEIGA, M.; CABEDA, M. S. V.; REICHERT, J. M. Erodibilidade em entressulcos de solos do Rio Grande do Sul. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v. 17, n. 1, p. 121-128, 1993. Disponível em: <http://andorinha.epagri.sc.gov.br/consultaweb/site/busca?b=pc&id=75957&biblioteca=vazio&busca=autoria:%22CABEDA,%20M.S.V.%22&qFacets=autoria:%22CABEDA,%20M.S.V.%22&sort=&paginaAtual=1>. Acesso em: 4 dez.2018

VERTAMATTI, E.; ARAÚJO, F. A. R. Critério para previsão do potencial erosivo de solos tropicais. Reunião Anual de Pavimentação, 24., 1990, Belém/PA. **Anais...** Rio de Janeiro/RJ: ABPv, 1990. v.1, p. 328–348.

VERTAMATTI, E.; ARAÚJO, F. A. R.; Elaboração de ábaco de erodibilidade de solos tropicais. *In*: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 11., 1998, Brasília/DF. **Anais...** Brasília/DF: ABMS, 1998. v.1, p. 573–579.

VERTAMATTI, E.; ARAUJO, F.A.R.; PAPPALARDO, F. R. Estudo da erodibilidade de solos tropicais. *In*: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 6. / Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, 9., 1990, Salvador/BA. **Anais...** Salvador/BA: ABGE/ABMS, 1990. v. 1, p. 363–370.

VERTAMATTI, E. Contribuição ao Conhecimento Geotécnico de Solos da Amazônia com Base na investigação de Aeroportos e nas Metodologias MCT e Resiliente. **Tese de Doutorado**. Instituto Tecnológico da Aeronáutica, São José dos Campos/SP, Brasil, 1988.

VILAS BOAS, G. S. **O Grupo Barreiras na Região Nordeste do Estado da Bahia: Estratigrafia, Sedimentologia e Geologia Ambiental – Um modelo de Gestão**. Disponível em: <http://www.cpgg.ufba.br/lec/Barreiras.htm> Acesso em: 2 jun. 2018.

VILLIBOR, D. F.; NOGAMI, J.; FABBRI, G. T. P. Proteção à erosão em pavimentos de baixo custo. *In*: Reunião Anual de Pavimentação, 21, 1986, Salvador/BA. **Anais...** Rio de Janeiro/RJ: ABPv, 1986, v. 2, p. 413–430.

WATSON, D. A.; LAFLEN, J. M. Soil strength, slope, and rainfall intensity effects on interrill erosion. **Trans. Am. Soc. Agric. Eng.**, v. 29, n. 1, p. 98-102, 1986. Disponível em: <https://elibrary.asabe.org/abstract.asp?aid=30109>. Acesso em: 4 dez.2018

WILDNER, L. P. Efeito da adição de diferentes resíduos orgânicos nas perdas de solo e água em um solo Podzólico Vermelho-Amarelo. **Dissertação de Mestrado**, Universidade Federal de Santa Maria, 1985. 100p.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning. Washington, USDA, 1978. 58p. **Agricultural Handbook, 573**. Disponível em: <https://naldc.nal.usda.gov/download/CAT79706928/PDF>. Acesso em: 4 dez.2018

WISCHMEIER, W. H.; JOHNSON, C. B.; CROSS, B. V. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. **J. Soil Water Cons**, v. 26, p. 189-193, 1971. Disponível em: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201302239293>. Acesso em: 4 dez.2018

WISCHMEIER, W. H.; MANNERING, J. V. Soil and water management and conservation. Colorado: **Soil Sci. Soc. Amer. Proc.**, v. 33, 1969.

YOUNG, R. A.; ONSTAD, C. A. Characterization of rill and interrill eroded soil. **Trans. Am. Soc. Agric. Eng.**, v. 21, n. 6, p. 1126-1130, 1978. Disponível em: <https://elibrary.asabe.org/abstract.asp?aid=35454>. Acesso em: 4 dez.2018