

# Avaliação de técnicas para controle de erosão a partir do ensaio de Inderbitzen

Amanda Scartezini da Silva

Aluna do curso de Engenharia Civil, UNESP/FEG, Guaratinguetá, Brasil, amanda.scartezini@unesp.br

Mariana Ferreira Benessiuti Motta

Professora Assistente Doutora, UNESP/FEG, Guaratinguetá, Brasil, mariana.motta@unesp.br

Paulo Valladares Soares

Professor Assistente Doutor, UNESP/FEG, Guaratinguetá, Brasil, paulo.valladares@unesp.br

Gabriel Orquizas Mattiello Pedroso

Professor Assistente Doutor, UNESP/FEG, Guaratinguetá, Brasil, gabriel.pedroso@unesp.br

**RESUMO:** A erosão do solo é um problema global que afeta tanto as áreas urbanas quanto as rurais, gerando graves impactos ambientais e problemas socioeconômicos. No Brasil, a erosão conta com um fator agravatório, pois, o clima tropical e as constantes precipitações pluviais favorecem o processo erosivo. A erosão causada por chuvas é inversamente proporcional a cobertura vegetal, ou seja, quanto mais protegido é o solo, menor é o processo que acelera a erosão. Neste contexto, o presente trabalho busca apresentar considerações acerca da aplicação de diferentes técnicas para contenção de processos erosivos em um solo coletado na bacia do Ribeirão Guaratinguetá. Foram conduzidas simulações utilizando a rampa de Inderbitzen com a aplicação de dois tipos distintos de geossintéticos: biomanta de fibra de coco e geomanta. Buscou-se avaliar, além do tipo de cobertura, a erodibilidade do solo frente a três ciclos de vazão constante por vinte minutos de duração cada. As características do campo onde as amostras foram coletadas foram mantidas, e os dados de perda de solo acumulado e tempo de ensaio foram avaliados. Entre as opções analisadas, a biomanta de fibra de coco se destacou, mostrando a menor perda de solo acumulado.

**PALAVRAS-CHAVE:** Erosão Superficial, Controle de Erosão, Geossintéticos, Biomanta, Ensaio de rampa.

**ABSTRACT:** Soil erosion is a global issue that affects both urban and rural areas, causing severe environmental impacts and socio-economic problems. In Brazil, erosion faces an exacerbating factor due to the tropical climate and constant rainfall, which favor erosive processes. Rain-induced erosion is inversely proportional to vegetative cover; in other words, the more protected the soil, the slower the erosion process. In this context, this study aims to present considerations regarding the application of different techniques for controlling erosive processes in soil collected from the Guaratinguetá Stream basin. Simulations were conducted using the Inderbitzen slope with the application of two different types of geosynthetics: coconut fiber biomats and geomats. The aim was to evaluate, in addition to the type of cover, the soil erodibility in the face of three cycles of constant flow for twenty minutes each. The field characteristics where the samples were collected were maintained, and the data on accumulated soil loss and test time were evaluated. Among the options analyzed, the coconut fiber biomat stood out, showing the lowest accumulated soil loss.

**KEYWORDS:** Surface Erosion, Erosion Control, Geosynthetics, Biomat, Inderbitzen Test.

## 1 INTRODUÇÃO

A erosão do solo acarreta graves impactos ambientais e socioeconômicos, prejudicando tanto regiões urbanas quanto rurais. Segundo Fernandes (2011), a erosão refere-se a um conjunto de processos que envolvem a desagregação, o transporte e a deposição de partículas de solo, os quais são ocasionados por agentes erosivos, como o gelo, o vento, a gravidade e a água.

De acordo com Giangiulio (2009), a erosão pode ser categorizada em dois grupos principais: a erosão natural, que é um processo natural de denudação e evolução da superfície terrestre, ocorrendo de forma lenta e contínua, seguindo os padrões de equilíbrio de formação do solo; e a erosão antrópica, induzida pela atividade humana, que ocorre de forma muito mais acelerada do que a natural e com intensidade superior à capacidade natural de formação do solo, impedindo sua recuperação espontânea.

No contexto brasileiro, o intenso processo de urbanização, o acelerado crescimento industrial e a expansão da atividade agrícola e de mineração desencadeiam uma série de intervenções no ambiente, resultando em diversas formas e escalas de impacto humano. Uma reação da natureza a essas mudanças é a erosão, onde entre as consequências está o assoreamento de corpos d'água, o qual causa o aumento das enchentes e inundações, diminuindo assim a eficácia das obras de drenagem urbana.

Do mesmo modo que a ação antrópica pode acelerar o processo erosivo, ela também pode retardar ou mitigar danos causados pela ação humana. Dessa forma, o presente estudo tem por objetivo apresentar considerações sobre a aplicação de geossintéticos para a contenção de processos erosivos do solo na bacia do Ribeirão Guaratinguetá e avaliar a melhor solução a partir de ensaios de laboratório do tipo Inderbitzen.

Segundo Marques e Geroto (2015) os geossintéticos utilizados no controle de processos erosivos devem apresentar a capacidade de reter os finos provenientes dos solos subjacentes ou dos materiais erodíveis transportados e/ou resistir às velocidades e aos esforços tangenciais causados pelo escoamento superficial.

De acordo com Guerra e Jorge (2013), paisagens com declividade maior que 3° geralmente podem sofrer erosão. A área de estudo está situada próximo a Serra da Mantiqueira, onde predomina relevo com presença de morros e foi selecionada devido ao desenvolvimento de sulcos característicos de processos erosivos e à sua localização em uma região de pastagem, onde o pisoteio do gado e a declividade acentuada contribuem para o processo erosivo.

A pesquisa utiliza o ensaio de Inderbitzen, o qual monitora a quantidade de solo erodido devido aos processos erosivos causados pela água, simulando condições de escoamento superficial com vazões e declividades controladas. A avaliação dos dados de massa de solo erodido e o volume de água escoado, irá demonstrar o desempenho dos geossintéticos testados e indicar qual a técnica mais adequada para mitigar a erosão nesta área.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Caracterização da área de estudo e coleta das amostras

A área estudada foi selecionada por possuir uma declividade acentuada de aproximadamente 80° e está situada na Fazenda Santa Terezinha (22°43'50"S e 45°15'00"W). A fazenda está localizada na região rural da cidade de Guaratinguetá, no estado de São Paulo, onde a área é apresentada na figura 1.

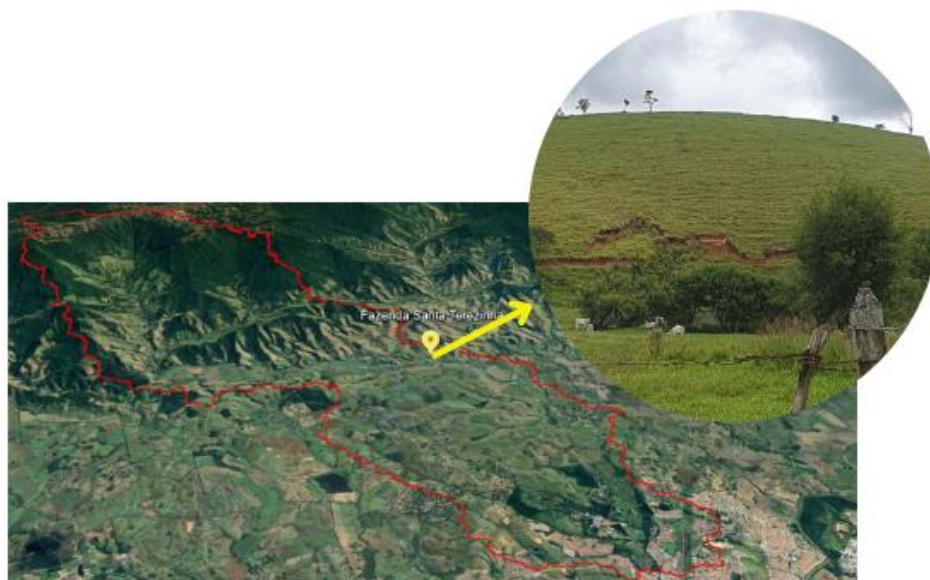


Figura 1. Bacia do Ribeirão delimitada em vermelho e localização da área de estudo.

Para o solo estudado foram coletadas amostras em dois estados distintos: deformado e indeformado. Ambas as amostras foram retiradas da camada superficial do solo, eliminando qualquer vestígio de vegetação. Para a amostra deformada foram realizados os ensaios básicos para caracterização do solo com o intuito de extrair dados de umidade natural, limites de liquidez (ABNT NBR 6459/16), limite de plasticidade (ABNT NBR 7180/16), densidade relativa dos grãos (ABNT NBR 6458/16) e granulometria (ABNT NBR 7181/16). Para a realização do ensaio de Inderbitzen foram coletadas amostras indeformadas, com diâmetro de 100 mm e altura de 50 mm, envolvidas em papel filme e alumínio para conservar a umidade natural do campo.

A partir da amostra indeformada foram obtidas as características geotécnicas do solo. Na Tabela 1, estão listadas as principais propriedades e índices. Observa-se que o solo estudado pode ser caracterizado como argilo arenoso, contendo 44,0% de argila, 43,5% de areia e 12,5% de silte, conforme a ABNT NBR 6502 (2022), e sendo classificado como silte de alta plasticidade (MH) pela SUCS.

Tabela 1. Caracterização física do solo estudado.

Propriedade	Unidade	Valor
Densidade Relativa dos Grãos	-	2,64
Massa Específica Seca	$g/cm^3$	1,25
Índice de Vazios	-	1,11
Porosidade	%	52,6
Limite de Liquidez	%	52,7
Limite de Plasticidade	%	31,1
Índice de Plasticidade	%	21,6
Classificação SUCS	-	MH (silte de alta plasticidade)
Classificação ABNT	-	Argilo arenoso
Umidade natural	%	26,5

## 2.2 Geossintéticos testados

Em cada uma das amostras indeformadas, foi aplicado um geossintético diferente, com o objetivo de comparar os resultados com a amostra de solo exposto.

Um dos materiais utilizados durante os ensaios foi a Biomanta Antierosiva Tridimensional com gramatura da matriz orgânica de 500 [ $g/m^2$ ], a qual é constituída em 100% por fibras de coco, entrelaçadas e incorporadas em redes de polipropileno nos dois lados e uma terceira malha estável à ação dos raios ultravioleta, por meio de costura longitudinal por processo industrial, com fios de polipropileno, com espaçamento de 5 cm entre os fios e de 6 cm entre os pontos.

O outro material aplicado foi a geomanta produzida mediante a fusão de filamentos poliméricos em todos os pontos de contato. Esta apresenta mais de 90% de sua estrutura com vazios.

Na figura 2 abaixo é possível visualizar as amostras preparadas para o ensaio com os geossintéticos aplicados.

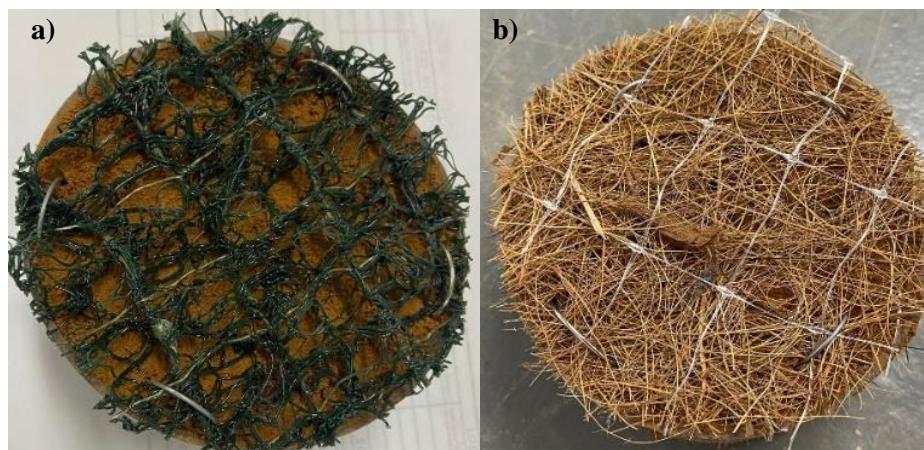


Figura 2. Amostras cobertas com: a) geomanta; b) biomanta de fibra de coco.



## 2.3 Ensaio de Inderbitzen

O objetivo do ensaio de Inderbitzen é quantificar a massa de solo erodido devido aos processos erosivos causados pela água. A rampa de Inderbitzen consiste em uma rampa com inclinação e vazões controladas, onde é inserida uma amostra indeformada, simulando condições de escoamento superficial. No entanto é importante observar que o ensaio não considera a desagregação das partículas devido ao impacto das gotas de chuva. Portanto, a quantidade de massa erodida no ensaio pode se diferenciar daquela observada na natureza.

O ensaio foi realizado por meio de uma estrutura de madeira composta por uma rampa hidráulica em formato trapezoidal invertido, projetada para direcionar o fluxo em direção à amostra que é inserida no orifício com diâmetro de 100 mm.

### 2.3.1 Execução do ensaio

Duas amostras foram ensaiadas com distintos geossintéticos e uma com solo exposto. Foi mantida fixa a vazão de 3 [litros/minuto] e a declividade de 80°. O tempo de ensaio foi de 20 minutos, com medições feitas aos 1, 5, 10 e 20 minutos a partir do início do ensaio, conforme indicado em Bastos (1999). A água com o solo carregado foi recolhida em baldes e submetida ao peneiramento úmido na peneira #400. O material retido na peneira foi levado à estufa por no mínimo 24 horas e pesado após seco para determinar a massa de solo erodida. Para cada amostra, foram realizados 3 ciclos de 20 minutos cada. Na Figura 3, é possível observar a execução do ensaio na amostra com cobertura da biomanta de fibra de coco.



Figura 3. Execução do ensaio de Inderbitzen na amostra com a biomanta de fibra de coco.

Com base nos dados de massa de solo erodida registrados ao longo dos tempos, a perda de solo foi calculada como a massa seca de solo erodida por unidade de área da amostra [ $\text{g}/\text{cm}^2$ ].

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A determinação da redução da erodibilidade do solo com o uso dos geossintéticos será analisada com base nos resultados obtidos nas amostras tratadas com essas soluções e assim comparadas à amostra de solo

exposto. Os resultados foram plotados em gráficos de perda de solo acumulada por tempo de ensaio, assim como propõe Bastos (1999).

Os dados mostrados na figura 4 apresentam os resultados obtidos no primeiro ciclo de cada amostra, a qual expõe que a aplicação da geomanta resultou em uma redução de perda de solo de aproximadamente 62,59% em comparação com o solo exposto. Já a biomanta demonstrou uma redução de 90,94% em relação ao solo exposto. Visualmente, no ciclo 1, ocorre a formação de sulcos, aumentando assim a área de solo em contato com a água.

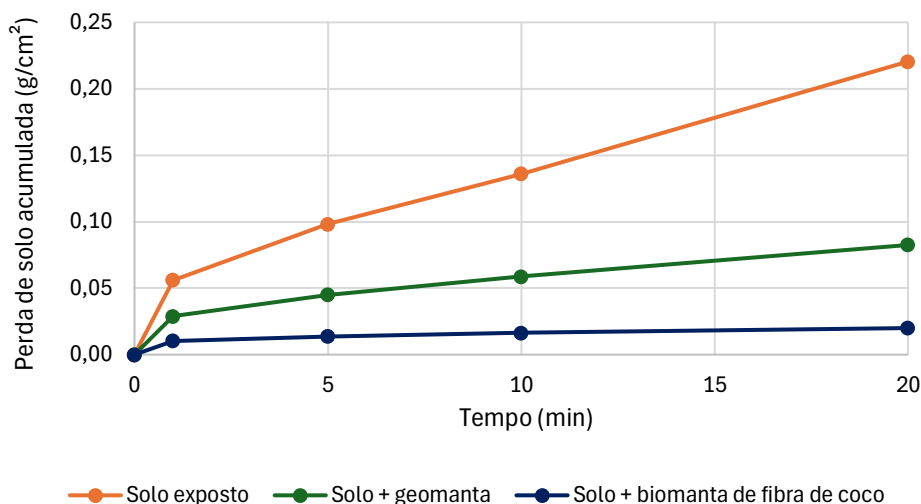


Figura 4. Ciclo 1 – Perda de solo acumulada por tempo.

Devido ao aumento da área de solo em contato com a água, o ciclo 2, exibido na figura 5, apresenta valores de perda acumulada de solo superiores aos do ciclo 1. Neste ciclo, a aplicação da geomanta resultou em uma redução de aproximadamente 75,36% em comparação com o solo exposto, enquanto a biomanta demonstrou uma redução de 98,96%.

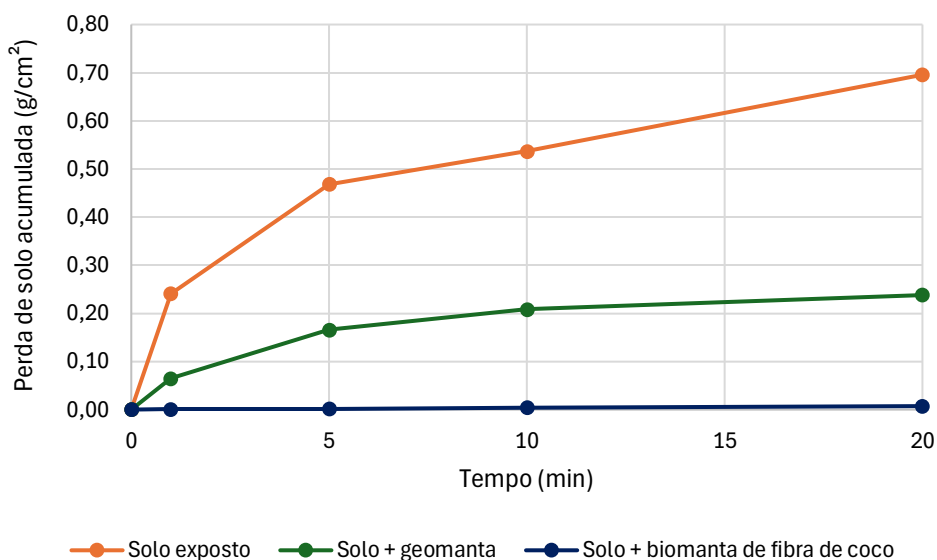


Figura 5. Ciclo 2 – Perda de solo acumulada por tempo.

No ciclo 3, a erosão é menos acentuada, uma vez que todo o solo suscetível ao processo erosivo já foi carregado no ciclo anterior, apresentando, assim, diminuição dos valores de perda de solo acumulado. No último

ciclo (Figura 6) a geomanta apresentou 49,10% de diminuição em relação ao solo exposto, enquanto a biomanta apresentou 89,25% de redução.

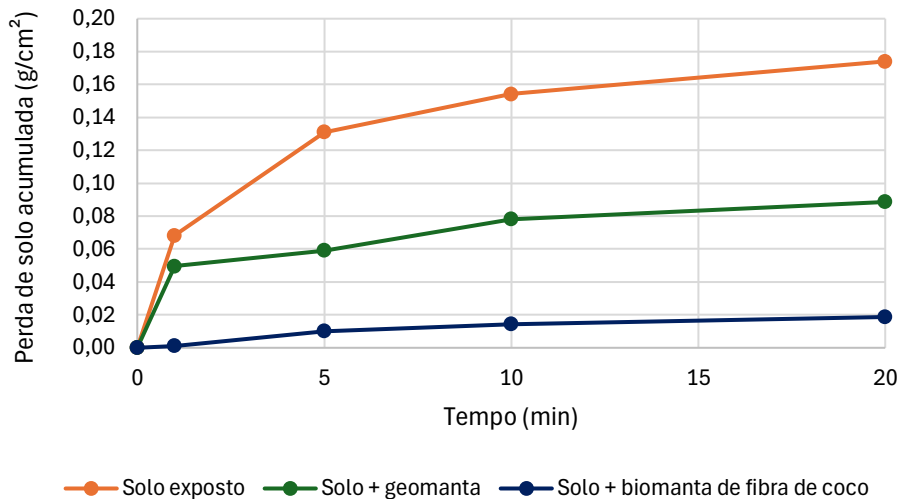


Figura 6. Ciclo 3 – Perda de solo acumulada por tempo.

Em todos os ciclos, as maiores perdas de solo ocorreram nos primeiros 5 minutos de ensaio e após os 10 minutos as amostras com geomanta e biomanta aplicadas apresentaram um comportamento mais estável. Nos estudos de Campos (2014) foi constatado maior taxa de erodibilidade no tempo de 5 minutos e tendência de estabilização nos tempos posteriores.

Na figura 7 é possível observar a massa de solo erodida total em cada um dos ciclos. Nos resultados em relação a biomanta, fica evidente que esta apresentou uma menor quantidade de massa de solo erodida nos três ciclos. Este comportamento pode ser atribuído à disposição das fibras de coco e a sua espessura na biomanta, já que ela é confeccionada de tal maneira que minimiza os espaços abertos, promovendo assim uma menor infiltração de água no solo e garantindo uma maior contenção do solo.

Ao analisar os resultados relacionados a geomanta, observa-se que ela apresentou uma massa de solo erodida menor que o solo exposto. Porém, essa menor diferença pode ser dada pelo fato desta ter maior espaçamento gerando assim mais espaços vazios por onde a água pode infiltrar e escoar, diminuindo, então, a contenção do solo.

Segundo Melo (2020) as características da geomanta e da biomanta são importantes para a eficácia. Em seu estudo foram empregadas soluções geossintéticas similares às investigadas neste trabalho. Em seu estudo foram feitas considerações sobre a geometria dos geossintéticos utilizados, observando-se que a geomanta com aberturas maiores apresenta maior permeabilidade, ao passo que a biomanta, devido à sua menor permeabilidade, resultou em maior contenção do solo.

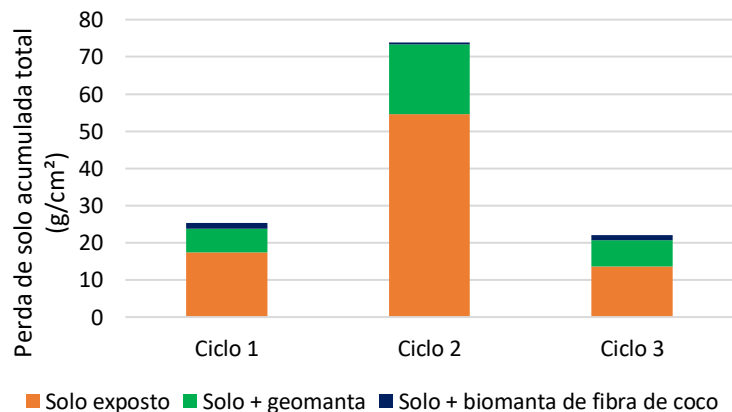


Figura 7. Massa de solo erodida total em cada ciclo.

## 4 CONCLUSÃO

Este estudo objetivou avaliar o desempenho dos geossintéticos no controle dos processos erosivos na bacia do Ribeirão Guaratinguetá, considerando os ensaios com a rampa proposta por Inderbitzen. Para isso, simularam-se condições de escoamento superficial na rampa, a fim de medir a massa de solo erodida. Visando verificar o desempenho dos geossintéticos ao longo de três ciclos de vinte minutos de duração, comparou-se a redução da massa de solo erodida nas amostras em que foram aplicados os geossintéticos em relação a massa de solo erodida da amostra com solo exposto.

Com base nos resultados observados nos gráficos sobre a perda de solo acumulada, a solução com geomanta apresentou uma diminuição significativa da perda de solo acumulada e, por se tratar de uma solução permanente, consegue combinar a durabilidade do material com a diminuição da perda de solo. Já a biomanta apresentou a menor perda de solo acumulada entre as soluções. Contudo, por ser um material natural que se degrada com o tempo, trata-se de uma solução temporária, servindo de base para o plantio de vegetações que vão atuar como proteção natural do solo após a degradação completa da biomanta.

Levando em consideração que o local estudado se trata de uma fazenda e a área onde ocorre o processo erosivo é uma faixa pequena de solo que não oferece risco, a solução de biomanta seria uma opção muito eficiente para servir como base para a revegetação da área.

Cada caso é único e requer uma análise cuidadosa de diversas variáveis para determinar a melhor solução. Entre essas variáveis estão as características específicas do solo e sua localização geográfica, bem como a extensão do processo erosivo, os riscos envolvidos e os custos associados. Essa abordagem é essencial para desenvolver estratégias eficazes de controle da erosão, visando garantir a viabilidade técnica e econômica.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Deflor Bioengenharia e a Maccaferri pelo fornecimento da biomanta e geomanta utilizadas neste estudo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). *NBR 6458: Graos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8mm – Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). *NBR 6459: Solo – Determinação do limite de liquidez*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2022). *NBR 6502: Solos e rochas - terminologia*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). *NBR 7180: Determinação do limite de plasticidade*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). *NBR 7181: Solo – análise granulométrica*. Rio de Janeiro.

Bastos, C. A. B. (1999) *Estudo geotécnico sobre a erodibilidade de solos residuais não saturados*. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre.

Campos, C. J. M. (2014) *Avaliação da erodibilidade pelo método Inderbitzen em solo não saturado da região de Bauru - SP*. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Faculdade de Engenharia, 140 p.

Giangiulio, A. R. (2009) *Gestão ambiental aplicada a prevenção, controle e recuperação de erosão linear acelerada no município de Ipeúna-SP*. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Ambiental) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 69 p.

Guerra, A. J. T, Jorge, M. C. O. (2013) *Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas*. 1. ed. São Paulo. Editora Oficina de Textos.

Fernandes, J. A. (2011) *Estudo da erodibilidade de solos e rochas de uma voçoroca em São Valentim, RS*. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 127 p.

Marques, A. C. M., Geroto, R. E. (2015) *Aplicações em Controle de Erosão Superficial*. In: Manual Brasileiro de Geossintéticos, J. C. Vertematti, Editora Blucher, 2ª edição, São Paulo, SP, 423 p.

Melo, M. T. S. (2020) *Utilização de geossintéticos para controle de erosão superficial hídrica em face de talude*. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Universidade de Brasília, Brasília, 152 f.