



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA CENTRO DE
TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

MARINA RODARTE DE MOURA

**ANÁLISE COMPARATIVA DE CONTENÇÕES EM SOLO GRAMPEADO COM
FACE EM CONCRETO PROJETADO E COM VEGETAÇÃO**

JOÃO PESSOA - PB

2025

MARINA RODARTE DE MOURA

ANÁLISE COMPARATIVA DE CONTENÇÕES EM SOLO GRAMPEADO COM
FACE EM CONCRETO PROJETADO E COM VEGETAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Coordenação do Curso de
Engenharia Civil da Universidade Federal
da Paraíba como requisito para obtenção
do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Lopes Soares

**Catálogo na publicação Seção de
Catálogo e Classificação**

M929a Moura, Marina Rodarte de.

Análise Comparativa de Contensões em Solo Grampeado
com Face em Concreto Projetado e com Vegetação / Marina
Rodarte de Moura. - João Pessoa, 2025.

55 f. : il.

Orientação: Fábio Soares.

TCC (Graduação) - UFPB/Tecnologia.

1. Solo Grampeado, Revestimento Vegetal. I. Soares,
Fábio. II. Título.

UFPB/BSCT

CDU 624(043.2)

FOLHA DE APROVAÇÃO

MARINA RODARTE DE MOURA

ANÁLISE COMPARATIVA DE CONTENÇÕES EM SOLO GRAMPEADO COM FACE EM CONCRETO PROJETADO E COM VEGETAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso em 29/09/2025 perante a seguinte Comissão Julgadora:

Fábio Lopes Soares

Fábio Lopes Soares

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

Aprova da

Isabelle Yruska Braga

Isabelle Yruska de Lucena Gomes Braga

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO

Igor Fernandes Gomes

Igor Fernandes Gomes

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO

AGRADECIMENTOS

Agradeço a toda minha família, em especial aos meus pais e à minha irmã, a quem dedico este trabalho. Vocês são minha maior inspiração, não apenas por suas brilhantes carreiras acadêmicas, mas por me incentivarem e me apoiarem em cada passo, especialmente nas dificuldades do curso e na coragem de mudar de cidade.

Às minhas amigas de Teresina, Carol, Bruna, Bia, Camilla e Camila, que me acompanham desde a escola. Mesmo à distância, vocês sempre me apoiaram, ouviram e, ao longo da vida, me mostraram o verdadeiro significado de amizade.

Aos meus amigos de João Pessoa, em especial à Amanda, que compartilhou comigo as experiências de viver longe da família e, em meio ao período da pandemia, tornou os passeios com o cachorro e nossas conversas os momentos mais especiais do meu dia. Agradeço também à Bruna, que esteve ao meu lado no cotidiano, dividindo frustrações e alegrias, e que acabou se tornando uma verdadeira irmã para mim. Sou igualmente grata ao time de futsal e ao grupo de vôlei, que dividiram as quadras comigo e transformaram minha vivência em João Pessoa em algo incrível.

Aos meus colegas de faculdade, que tornaram a rotina e a jornada do curso mais leves. E, principalmente, à Micaelle, minha amiga desde o primeiro período, que compartilhou comigo cada sensação e desafio ao longo dessa caminhada. Foi a primeira pessoa a me acolher ainda antes da mudança para João Pessoa, e com quem vivi experiências que ultrapassaram os limites da universidade.

Aos meus professores, por todo o conhecimento transmitido. Em especial, ao meu orientador, Prof. Dr. Fábio Lopes, por ser uma referência na profissão e por despertar em mim um interesse tão grande pela área de solos, que foi a base deste trabalho.

Por fim, agradeço a todas as empresas e órgãos onde estagiei, pela oportunidade e por todos os ensinamentos, profissionais e de vida. Sou grata também por me proporcionarem conhecer pessoas incríveis que fizeram dos meus dias melhores e que levarei para sempre.

RESUMO

A instabilidade de taludes é uma questão geotécnica frequente, que se agrava devido a fatores naturais e humanos, causando sérias consequências socioeconômicas e ambientais. Dentre as técnicas de estabilização, o solo grampeado se sobressai pela eficácia e adaptabilidade. No entanto, a eficácia e a longevidade da contenção dependem em grande parte do revestimento de face utilizado. Este estudo oferece uma análise comparativa entre duas soluções bastante empregadas: revestimento vegetal e revestimento em concreto projetado. A metodologia se fundamentou na revisão da literatura e na análise de documentos de estudos de caso, levando em conta critérios técnicos, ambientais, econômicos e operacionais. Os resultados sugerem que o concreto projetado proporciona uma resistência mecânica imediata superior, execução mais uniforme e necessidade de manutenção reduzida. Por outro lado, o revestimento vegetal se sobressai pelo menor impacto ambiental, melhor integração paisagística e contribuição para a drenagem superficial, apesar de demandar uma manutenção inicial mais intensa. A escolha entre as soluções deve ser baseada no contexto geotécnico, condições climáticas, orçamento disponível e metas de sustentabilidade do projeto.

PALAVRAS-CHAVE: Estabilidade de Taludes; Solo Grampeado; Revestimento Vegetal; Concreto Projetado; Contenção.

ABSTRACT

Slope instability is a frequent geotechnical issue, aggravated by natural and human factors, causing serious socioeconomic and environmental consequences. Among stabilization techniques, soil nailing stands out for its effectiveness and adaptability. However, the effectiveness and longevity of the containment depend largely on the face covering used. This study offers a comparative analysis between two widely used solutions: vegetative revetment and shotcrete revetment. The methodology was based on a review of the literature and analysis of case study documents, taking into account technical, environmental, economic, and operational criteria. The results suggest that shotcrete provides superior immediate mechanical strength, more uniform execution, and reduced maintenance requirements. On the other hand, vegetative revetment stands out for its lower environmental impact, better landscape integration, and contribution to surface drainage, despite requiring more intensive initial maintenance. The choice between solutions should be based on the geotechnical context, climatic conditions, available budget, and sustainability goals of the project.

KEYWORDS: Slope Stability; Soil Nailing; Vegetation Cover; Shotcrete; Retaining Structures.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ocorrência de escoamento.....	17
Figura 2 - Ocorrência de escorregamentos rotacionais	18
Figura 3 - Ocorrência de escorregamentos planares ou translacionais.....	19
Figura 4 - Ocorrência de escorregamentos em cunha.....	19
Figura 5 - Ocorrência de queda de blocos.....	21
Figura 6 - Ocorrência de tombamentos de blocos	22
Figura 7 - Técnicas de execução de túneis com revestimento rígido (a) e flexível (b)	27
Figura 8 - Drenos do parâmetro do tipo linear (a) e barbacã (b).....	36
Figura 9 - Dispositivos de drenagem em solo grampeado	37
Figura 10 - Etapas da construção do solo grampeado.....	41
Figura 11 - Execução do solo grampeado com face de concreto projetado.....	42
Figura 12 - Finalização da face de concreto projetado	42
Figura 13 - Antes da Obra	44
Figura 14 - Depois da Obra	44
Figura 15 - Início da face vegetal.....	49
Figura 16 - Evolução da vegetação	50
Figura 17 - Estágio final da vegetação.....	50

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Nível de segurança desejado contra perda de vidas humanas	24
Quadro 2 - Nível de segurança desejado contra danos materiais e ambientais.....	24
Quadro 4 - Quadro comparativo dos critérios adotados.....	33
Quadro 5 - Etapas do processo construtivo do solo grampeado com revestimento de face de concreto projetado	40
Quadro 6 - Etapas do processo construtivo do solo grampeado com revestimento de face vegetal	43
Quadro 7 - Levantamento de equipamentos e mão de obra utilizados em ambas as faces segundo Clouterre.....	46
Quadro 8 - Equipamento e mão de obra utilizados em ambas as faces segundo o estudo de caso	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Fatores de segurança mínimos para deslizamentos	24
Tabela 2 - Comparação do custo de execução por metro quadrado	47

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1. Justificativa	12
2. OBJETIVOS.....	14
2.1. Objetivo Geral	14
2.2. Objetivos Específicos	14
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
3.1. Tipos de taludes e movimentos de massa	16
a. Escoamentos	16
b. Escorregamentos.....	18
c. Subsídências	20
d. Quedas por rolamentos de blocos	20
e. Quedas por tombamentos.....	21
3.2. Análise da estabilidade dos taludes	22
a. Aspectos a serem considerados na análise de estabilidade	23
3.3. Solo grampeado.....	26
a. Descrição do solo grampeado	26
b. Origem e desenvolvimento do solo grampeado	26
c. Definição da técnica	27
d. Aplicação do solo grampeado.....	28
4. METODOLOGIA	30
4.1. Apresentação e análise de dados.....	30
4.2. Critérios Comparativos	31
4.3. Limitações da Metodologia	32
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
a. Drenagem	34
b. Resistência à intempéries	37
c. Complexidade construtiva	39
c.1) Execução do processo construtivo de solo grampeado com revestimento de concreto projetado	39
c.2) Execução do processo construtivo de solo grampeado com revestimento vegetal.....	42
d. Impacto ambiental.....	43
e. Equipamentos	46
f. Custo de execução	48
g. Manutenção	49
6. CONCLUSÕES	52
6.1. Sugestões para trabalhos futuros	53
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	54

1. INTRODUÇÃO

As superfícies inclinadas formadas por maciços terrosos, rochosos ou mistos, denominadas taludes ou encostas, são elementos geomorfológicos presentes em diversas paisagens, sejam elas naturais ou resultantes de intervenções antrópicas (Augusto Filho e Virgili, 1998). A instabilidade dessas estruturas, manifestada por movimentos de massa como deslizamentos e rastejos, representa um sério risco geotécnico, capaz de provocar impactos socioeconômicos e ambientais significativos.

Fatores como a intensidade e duração de eventos pluviométricos, as características geológicas e geotécnicas dos solos, a topografia local e a atividade humana (como desmatamento e ocupação irregular) são cruciais para a deflagração desses fenômenos (Silva, 2024; Varnes, 1978). A presença de água, em particular, é um dos principais deflagradores de instabilidade, pois a percolação e o acúmulo de poropressões podem reduzir drasticamente a resistência do solo ao cisalhamento (Guidicini e Nieble, 1984).

Diante da crescente necessidade de mitigação de riscos em áreas de encosta e da proteção de infraestruturas, diversas técnicas de contenção têm sido desenvolvidas. Entre elas, o solo grampeado tem se consolidado como uma solução de engenharia civil altamente eficaz, versátil e de aplicação relativamente rápida para a estabilização de taludes naturais e cortes em solos (Federal Highway Administration (FHWA), 2015; French National Research Project Clouterre, 1991; Mitchell; Villet, 1987). Esta técnica consiste na instalação de barras de aço (grampos) em furos perfurados no maciço, que são posteriormente injetados com calda de cimento. Os grampos funcionam como elementos de reforço que mobilizam resistência à tração e cisalhamento, aumentando a estabilidade do talude (Zirlis & Pitta, 1992).

Apesar de sua eficiência estrutural intrínseca, a performance e a durabilidade a longo prazo de um talude estabilizado com solo grampeado não dependem apenas da correta especificação e instalação dos grampos. Um componente fundamental para a funcionalidade do sistema é o seu revestimento de face. Este revestimento possui diversas funções críticas, incluindo a proteção superficial do maciço contra processos erosivos causados por chuvas e ventos, a prevenção da desagregação do solo na

superfície, a contenção de blocos soltos e a estética da obra (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009).

No cenário da engenharia geotécnica, a escolha do tipo de revestimento de face é uma decisão crucial que envolve uma complexa ponderação entre desempenho técnico, impacto ambiental, custos de implantação e manutenção, e a integração paisagística. Dentre as diversas opções disponíveis, destacam-se os revestimentos em concreto (geralmente concreto projetado) e os revestimentos vegetais. O concreto projetado oferece alta resistência mecânica imediata e durabilidade, enquanto os revestimentos vegetais proporcionam soluções com menor impacto ambiental e melhor integração paisagística, além de auxiliarem na drenagem superficial e no controle de erosão a longo prazo.

Considerando essa dualidade e a demanda por soluções de engenharia que aliem eficácia com sustentabilidade, este trabalho tem como objetivo principal realizar uma análise comparativa de contenções em solo grampeado em concreto projeto e com vegetação. A pesquisa visa discutir suas características técnicas, vantagens e desvantagens específicas, aspectos ambientais, implicações econômicas e necessidades de manutenção. Ao analisar esses dois tipos de revestimento, pretende-se compreender as condições de uso e os diferenciais competitivos de cada um, a fim de apoiar de forma mais precisa a tomada de decisão em diferentes contextos.

1.1. Justificativa

A crescente urbanização e a expansão de infraestruturas em áreas com topografia irregular têm intensificado os desafios relacionados à instabilidade de taludes e encostas. Os movimentos de massa, impulsionados tanto por fatores naturais como eventos pluviométricos extremos quanto por intervenções antrópicas, representam ameaças significativas à segurança de populações, ao patrimônio e ao meio ambiente. A engenharia geotécnica busca constantemente soluções eficazes e sustentáveis para a estabilização desses maciços.

A técnica do solo grampeado é uma alternativa economicamente competitiva para a contenção de taludes, consolidando-se como uma das soluções mais empregadas globalmente devido à sua versatilidade e rapidez de execução. No entanto, a eficiência global e a vida útil de uma estrutura de solo grampeado não se limitam apenas à capacidade de reforço dos grampos. A escolha e a execução do

revestimento de face são elementos importantes que impactam diretamente a proteção superficial do maciço, sua durabilidade, os custos de manutenção, e a integração estética e ambiental da obra.

Este trabalho justifica-se pela necessidade de aprofundar o conhecimento sobre as opções de revestimento de face em solos grampeados, focando na análise comparativa entre os revestimentos em concreto, tipicamente o concreto projetado, e os revestimentos vegetais. A relevância desta pesquisa reside primeiramente na demanda por uma decisão mais ponderada por parte de projetistas e engenheiros, que frequentemente se deparam com o dilema da escolha do revestimento mais adequado, envolvendo complexas considerações técnicas, ambientais e econômicas. Uma análise comparativa sistemática pode, portanto, fornecer critérios claros para essa tomada de decisão. Em segundo lugar, alinha-se à crescente busca por sustentabilidade na engenharia, tornando fundamental a análise das vantagens do revestimento vegetal em termos de integração paisagística, drenagem natural e contribuição para a biodiversidade, em contraponto às soluções mais tradicionais em concreto.

A otimização de custos e manutenção representa um pilar importante: a avaliação comparativa dos custos iniciais de implantação e dos custos de manutenção a longo prazo para cada tipo de revestimento é essencial para a viabilidade econômica dos projetos, permitindo identificar a solução mais custo-efetiva para diferentes cenários. Por fim, o estudo busca compreender ambas as técnicas (concreto projetado e revegetação) e sejam bem estabelecidas individualmente.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Comparar o desempenho técnico dos revestimentos vegetal e de concreto projetado aplicados em solos grampeados, avaliando aspectos como drenagem, resistência à intempéries, complexidade construtiva, impacto ambiental, equipamentos, custo de operação e manutenção.

2.2. Objetivos Específicos

- Identificar e caracterizar os principais tipos de movimentos de massa, suas causas e agentes deflagradores;
- Avaliar a aplicabilidade do solo grampeado com revestimento vegetal ou com revestimento de concreto projetado como técnica de estabilização do talude, considerando aspectos geotécnicos e operacionais.
- Analisar os critérios estabelecidos de comparação, como os impactos ambientais e paisagísticos de cada solução, contemplando controle de erosão, permeabilidade do solo, integração com o ecossistema local e sustentabilidade.
- Propor diretrizes técnicas e operacionais para auxiliar na escolha do tipo de revestimento mais adequado a diferentes condições geotécnicas e ambientais, visando segurança, eficiência e sustentabilidade.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A instabilidade de taludes e encostas, assim como os problemas de erosão, resultam de uma combinação de fatores geotécnicos e metodológicos que devem ser cuidadosamente analisados para prevenir ou mitigar os riscos envolvidos (Anderson; Bezerra, 2017; Budhu, 2011).

Do ponto de vista geotécnico, o tipo de solo ou rocha presente na encosta é um fator determinante para sua estabilidade. Solos coesivos, por exemplo, apresentam maior sensibilidade à saturação, o que pode reduzir sua resistência ao cisalhamento e aumentar a probabilidade de deslizamentos. (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009; Colângelo, 2012). Já os solos granulares, apesar de apresentarem melhor capacidade de drenagem, podem estar sujeitos à liquefação sob certas condições, como vibrações intensas ou saturação rápida (literatura sobre liquefação em solos arenosos). Em encostas compostas por rochas fraturadas, os planos de fratura podem atuar como superfícies de deslizamento naturais, favorecendo movimentos de massa. (Britto; Fiori, 2021).

A configuração do perfil geológico-geotécnico exerce um papel fundamental na análise da estabilidade de taludes, pois revela a disposição das camadas de solo e rocha, suas inclinações e a presença de possíveis descontinuidades estruturais. Essas características influenciam diretamente o comportamento mecânico da encosta. Taludes com maior inclinação, por exemplo, estão sujeitos a tensões internas mais elevadas, o que aumenta significativamente o risco de ruptura, especialmente quando combinadas com fatores como saturação, erosão superficial ou vibrações. (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009).

No campo metodológico, é fundamental adotar uma série de procedimentos técnicos que permitam avaliar e monitorar o comportamento do maciço de solo. Para isso, são realizadas investigações geotécnicas por meio de sondagens, ensaios laboratoriais, instrumentação do talude e análises numéricas, como o cálculo do fator de segurança. Esses métodos fornecem dados essenciais para compreender as condições do terreno e tomar decisões adequadas quanto à estabilidade e ao planejamento de medidas preventivas ou corretivas. (Das; Sobhan, 2012).

Após a caracterização detalhada do solo e a análise das condições geotécnicas da encosta, realiza-se o estudo de viabilidade técnica e econômica para definição das medidas de contenção mais adequadas. Nesse processo, busca-se

aliar baixo custo, eficiência estrutural e viabilidade de execução, de modo a selecionar a solução mais apropriada às condições específicas do terreno. Entre as alternativas analisadas, considera-se o uso de técnicas como solo grampeado, muros de arrimo, cortinas atirantadas ou drenagem profunda, sempre com base nos resultados das investigações e nas exigências de estabilidade do talude. Essa abordagem permite propor intervenções seguras e duráveis, e que estejam de acordo com as condições locais e os objetivos do projeto. (Das; Sobhan, 2012).

3.1. Tipos de taludes e movimentos de massa

Os taludes naturais, ou encostas, são formações geológicas originadas por processos naturais, como a erosão, a ação da água, o tectonismo e outros agentes modeladores do relevo. Por outro lado, os taludes artificiais resultam de intervenções antrópicas, como cortes de terrenos para implantação de rodovias, atividades de mineração ou obras de engenharia civil. (Guidicini e Nieble, 1984).

O termo movimento de massa refere-se, de forma geral, aos processos naturais ou induzidos em que massas de solo, rocha ou detritos se deslocam ao longo de encostas, impulsionadas principalmente pela força da gravidade ou por fatores extraordinários. As trajetórias e dinâmicas desses movimentos variam conforme um conjunto de condições que influenciam sua evolução. (Varnes, 1978).

O aprofundamento no entendimento dos mecanismos de instabilização de taludes naturais e artificiais tem se consolidado como tema de relevância global, tanto pelo papel desses processos na modelagem do relevo quanto pelas suas implicações práticas, econômicas e sociais. (Wolle, 1980)

Segundo Guidicini e Nieble (1984), em sua obra *Estabilidade de taludes naturais e de escavação*, existem diversas formas de classificar os movimentos de massa. Muitas dessas classificações, elaboradas por autores de diferentes partes do mundo, possuem aplicabilidade restrita a contextos regionais. Porém para o autor, os movimentos de massa podem ser classificados em três categorias principais: escoamentos, escorregamentos e subsidências.

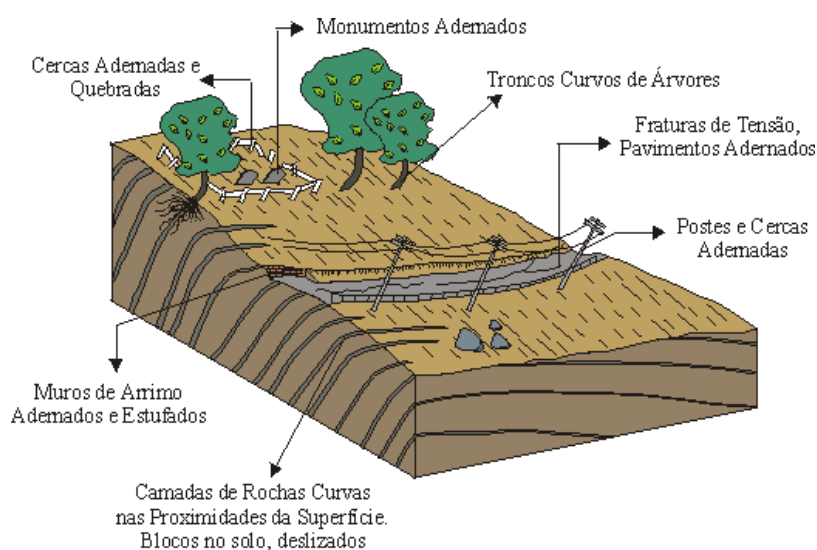
a. Escoamentos

Os escoamentos são caracterizados por deformações ou movimentos contínuos, podendo ocorrer com ou sem a presença de uma superfície de deslocamento bem definida, e não estão necessariamente associados a uma

velocidade específica (Souza, 2014). Segundo Guidicini & Nieble (1984), esses movimentos podem ser classificados em duas categorias principais: movimentos lentos, como os rastejos, e movimentos rápidos, como as corridas. Essa distinção é fundamental para a compreensão da dinâmica dos processos envolvidos e para a definição de medidas adequadas de monitoramento e controle.

Os rastejos consistem em movimentos lentos e contínuos de massa de solo que não apresentam uma superfície de ruptura bem definida nem uma geometria clara, conforme a Figura 1.

Figura 1 - Ocorrência de escoamento



Fonte: Modificada de Infanti Jr. & Fornasari Filho, 1998.

Essas deformações ocorrem a velocidades muito baixas, com taxas de deslocamento que diminuem com a profundidade. Esse tipo de movimento é causado por tensões internas que provocam deformação sem resultar em rupturas evidentes. (Serviço Geológico do Canadá; GFDRR., 2004).

Corridas são formas rápidas de escoamento (≥ 10 km/h) e apresentam frequentemente caráter essencialmente hidrodinâmico, possuem um alto poder destrutivo e um extenso raio de alcance mesmo que ocorrendo em áreas planas.

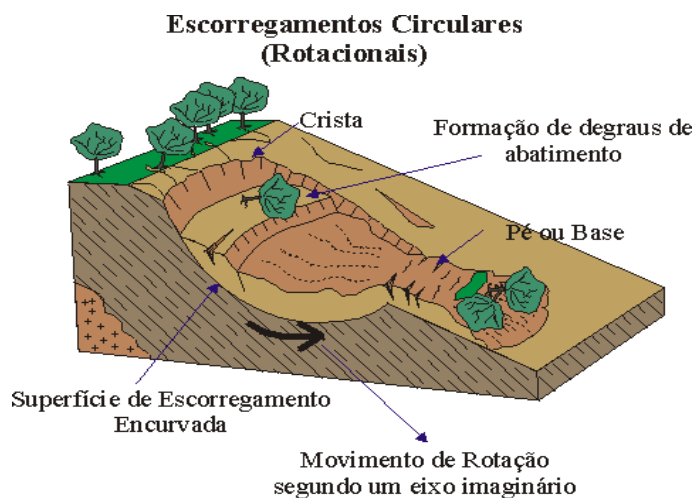
b. Escorregamentos

São movimentos de massa rápidos com uma duração relativamente curta, apresentando uma ruptura bem definida e deslocamento de massas de terreno geralmente bem definidas quanto ao volume, o centro de gravidade durante o escorregamento se desloca para baixo e para fora do talude (Guidicini e Nieble, 1984).

Frequentemente, os primeiros sinais deste movimento são a presença de fissuras e caracteriza-se por velocidades variando de médias a altas. De acordo com Varnes (1978) os escorregamentos são divididos em rotacionais e translacionais, mas ainda há os escorregamentos em cunha.

Os escorregamentos rotacionais são caracterizados por apresentarem superfícies de ruptura curvas, geralmente côncavas para cima. O movimento do material ocorre por rotação em torno de um eixo horizontal, o que resulta na formação de uma concavidade típica na encosta. Esse tipo de escorregamento geralmente provoca abatimento na crista do talude e deslocamento para frente e para baixo da massa deslizada (Varnes, 1978). Como representado na Figura 2.

Figura 2 - Ocorrência de escorregamentos rotacionais



Fonte: Modificada de Infanti Jr. & Fornasari Filho, 1998.

A Figura 3 caracteriza o escorregamento translacional que possui superfícies de ruptura planas ou levemente onduladas, ao longo das quais o bloco desliza praticamente sem rotação. Esses movimentos são frequentemente associados a

planos de fraqueza, como falhas, contatos entre solos e rochas, ou estratificações. O deslocamento ocorre predominantemente para frente e para baixo, com uma geometria alongada e pouca deformação interna (Varnes, 1978).

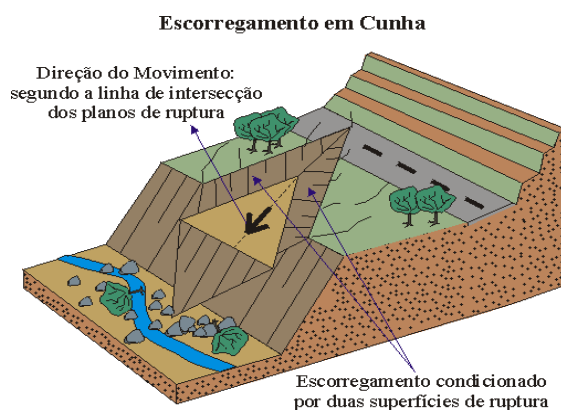
Figura 3 - Ocorrência de escorregamentos planares ou translacionais



Fonte: Modificada de Infanti Jr. & Fornasari Filho, 1998.

Os escorregamentos em cunha envolvem o movimento de blocos delimitados por duas ou mais descontinuidades que se intersectam, formando uma superfície de ruptura em forma de cunha, conforme mostra a Figura 4. Esse tipo é comum em maciços rochosos fraturados, onde o bloco escorrega ao longo do eixo de interseção das descontinuidades, podendo ocorrer em taludes naturais ou de escavação (Varnes, 1978).

Figura 4 - Ocorrência de escorregamentos em cunha



Fonte: Modificada de Infanti Jr. & Fornasari Filho, 1998.

c. Subsidências

Segundo Guidicini e Nieble (1984), a subsidência por definição é o resultado do deslocamento da superfície gerado por adensamento ou afundamento de camadas, no movimento o solo desloca-se verticalmente para baixo e pode causar severas consequências. Pode-se ser dividida em três: propriamente ditas, recalques e desabamentos (subsidências bruscas).

a) Subsidência propriamente dita

É o efeito do adensamento ou afundamento de camadas, consequência da remoção de alguma fase sólida, líquida ou gasosa do maciço. (Guidicini e Nieble, 1984).

b) Recalque

É o movimento vertical de uma estrutura provocada pelo próprio peso ou pela deformação do subsolo por outro agente. (Guidicini e Nieble, 1984).

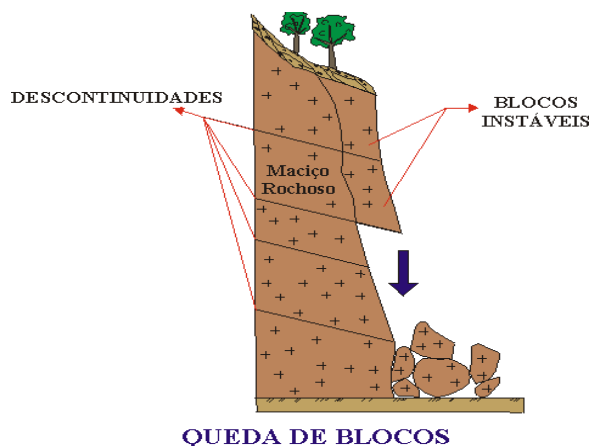
c) Subsidências bruscas

Envolvem o colapso na superfície, provocadas pela ruptura ou remoção total, ou parcial, do substrato. Sua principal origem é associada a trabalhos subterrâneos ou processos naturais de dissolução de rochas como é o caso do calcário. As subsidências bruscas podem ser classificadas em dois principais tipos: quedas por rolamentos de blocos ou matacões e quedas por tombamentos (Augusto Filho, 1992).

d. Quedas por rolamento de blocos

A Figura 5 ilustra o processo de queda que são movimentos caracterizados pelo destacamento súbito de materiais rochosos de volumes variados a partir de encostas muito íngremes, ocorrendo em trajetórias verticais (queda livre) ou inclinadas (rolamento de blocos). Esses eventos apresentam velocidades extremamente elevadas e podem percorrer grandes distâncias, mesmo em terrenos de relevo acidentado ou em áreas de transição para superfícies mais planas. Segundo especialistas, trata-se de um processo de dinâmica rápida, com alto potencial destrutivo, especialmente quando associado a blocos de grandes dimensões (Augusto Filho, 1992).

Figura 5 - Ocorrência de queda de blocos



Fonte: Modificada de Infanti Jr. & Fornasari Filho, 1998.

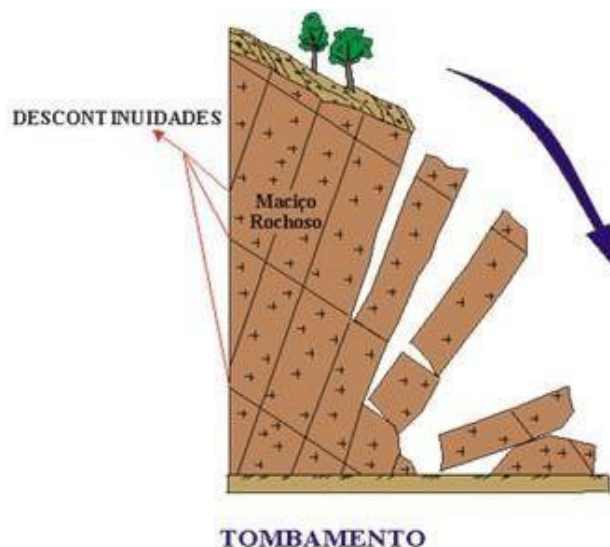
e. Quedas por tombamentos

Os tombamentos consistem em movimentos de massa nos quais ocorre a rotação de blocos de solo ou rocha em torno de um ponto situado abaixo ou próximo ao centro de gravidade da massa instável. Trata-se de um processo cuja dinâmica está diretamente relacionada à presença de planos de fraqueza no maciço rochoso, frequentemente condicionados pela ação da água ou do gelo, que atuam como agentes desestabilizadores ao reduzir a coesão entre os materiais. (Augusto Filho, 1992)

A velocidade dos tombamentos pode variar amplamente, desde deslocamentos extremamente lentos até movimentos muito rápidos, dependendo das condições geotécnicas e climáticas locais. Esses eventos ocorrem, geralmente, em taludes íngremes e onde há blocos com pouca contenção lateral, sendo fundamentais de serem considerados na análise de estabilidade de encostas rochosas e no planejamento de intervenções corretivas ou preventivas (Augusto Filho, 1992).

A Figura 6 ilustra o tombamento de blocos rochosos, processo que se caracteriza pelo desprendimento de um maciço rochoso de um talude.

Figura 6 - Ocorrência de tombamentos de blocos



Fonte: Modificada de Infanti Jr. & Fornasari Filho, 1998.

A identificação e classificação dos movimentos de massa são fundamentais para o diagnóstico preliminar da instabilidade de taludes. No entanto, compreender os mecanismos que levam à ruptura exige uma análise mais aprofundada das características do terreno e das forças atuantes no maciço. Nesse sentido, a análise de estabilidade surge como ferramenta essencial, permitindo avaliar o comportamento do solo frente aos esforços aplicados, por meio de métodos quantitativos e normativos.

3.2. Análise da estabilidade dos taludes

A estabilidade dos taludes são feitos baseados nos critérios estabelecidos pela NBR 11682:2009. Essa estabilidade exige, inicialmente, um reconhecimento detalhado do tipo de solo, dos parâmetros geotécnicos e do contexto geológico e ambiental da área, além do histórico de instabilidades. A investigação geotécnica é essencial para identificar deslizamentos ativos ou potenciais e compreender seus mecanismos, possibilitando a proposição de soluções adequadas (ABNT, 2009).¹

Uma caracterização geológico-geotécnica bem feita fundamenta tecnicamente os projetos de estabilização. Essa etapa inclui o levantamento de dados sobre fatores predisponentes, como condições geomorfológicas e topográficas, mapas e relatórios

¹ A NBR 11682:2009 é a norma atualmente vigente, embora esteja em processo de revisão e se encontre, no momento, em estágio de consulta pública.

técnicos, além de registros históricos. Índices pluviométricos e sua relação com eventos de instabilidade também são relevantes, conforme Augusto Filho & Virgili (1998).

A investigação superficial envolve levantamentos de campo, com mapeamento geológico e identificação de feições de instabilidade (trincas, degraus, surgências, zonas saturadas, vegetação e interferências antrópicas), além de levantamentos topográficos que consideram bacias de contribuição, continuidade da encosta e presença de depósitos inconsolidados.

Os levantamentos fotogramétricos, por sua vez, permitem uma análise tridimensional do terreno e a visualização da interação entre topografia, drenagem e ocupações humanas, possibilitando o monitoramento da evolução das instabilidades. (Augusto Filho e Virgili, 1998).

A documentação fotográfica realizada em solo complementa as atividades decampo, contribuindo para a identificação de feições e a reconstrução de cicatrizes de instabilidade.

Ensaio *in situ*, como SPT, CPT e vane test, juntamente com ensaios laboratoriais, como análises granulométricas, limites de Atterberg e testes de cisalhamento, são essenciais para a caracterização dos parâmetros físicos e mecânicos do solo. Além disso, o monitoramento por meio de instrumentos como inclinômetros, piezômetros e extensômetros fornece informações cruciais sobre a geometria da ruptura e o comportamento do maciço ao longo do tempo. (Augusto Filho e Virgili, 1998).

a. Aspectos a serem considerados na análise de estabilidade

A análise de estabilidade de taludes envolve um conjunto de procedimentos que consideram diversos condicionantes atuantes, tais como poropressão, sobrecarga, geometria, natureza do terreno, entre outros fatores. O objetivo principal é determinar um índice ou grandeza que quantifique o quão próximo da ruptura se encontra o talude ou encosta em estudo.

Nesse contexto, a Norma Brasileira de Estabilidade de Taludes (NBR 11682:2009) destaca a importância do Fator de Segurança (FS), uma medida adimensional que expressa a relação entre as forças resistentes (que atuam para evitar a ruptura) e as forças solicitantes (que contribuem para a instabilidade). O FS pode ser interpretado como a margem de segurança existente antes da ocorrência de

ruptura. Um valor de FS igual a 1,0 indica uma condição de equilíbrio instável, ou seja, no limiar da ruptura. Valores superiores a 1,0 indicam estabilidade crescente, sendo que, quanto maior o FS, maior a segurança da estrutura.

A definição de um valor mínimo aceitável para o FS depende de diversos fatores, como o uso e ocupação do solo, a presença de infraestrutura crítica, o tipo de tráfego e as condições ambientais. Para isso, é fundamental enquadrar o projeto conforme as classificações estabelecidas na NBR 11682:2009, no Quadro 1 de “Nível de segurança desejado contra a perda de vidas humanas” e no Quadro 2 de “Nível de segurança desejado contra danos materiais e ambientais”, as quais estabelecem critérios mínimos para o dimensionamento e a análise de estabilidade dos taludes.

Quadro 1 - Nível de segurança desejado contra perda de vidas humanas

Nível de Segurança	Critérios
Alto	Áreas com intensa movimentação e permanência de pessoas, como edificações públicas, residenciais ou industriais, estádios, praças e demais locais, urbanos ou não, com possibilidade de elevada concentração de pessoas. Ferrovias e rodovias de tráfego intenso.
Médio	Áreas e edificações com movimentação e permanência restrita de pessoas Ferrovias e rodovias de tráfego reduzido
Baixo	Áreas e edificações com movimentação e permanência eventual de pessoas Ferrovias e rodovias de tráfego reduzido

Fonte: NBR 11682:2009.

Quadro 2 - Nível de segurança desejado contra danos materiais e ambientais

Nível de Segurança	Critérios
Alto	Danos materiais: Locais próximos a propriedades de alto valor histórico, social ou patrimonial, obras de grande porte e áreas que afetem serviços essenciais Danos ambientais: Locais sujeitos a acidentes ambientais graves, tais como nas proximidades de oelodutos, barragens de rejeito e fábricas de produtos tóxicos
Médio	Danos materiais: Locais próximos a propriedades de moderado Danos ambientais: Locais sujeitos a acidentes ambientais moderados

Baixo	Danos materiais: Locais próximos a propriedades de alto valor reduzido Damos ambientais: Locais sujeitos a acidentes ambientais reduzidos
-------	--

Fonte: NBR 11682:2009.

Após a definição dos níveis de segurança desejados em relação à vida humana e aos possíveis danos materiais e ambientais, deve-se estabelecer o fator de segurança mínimo a ser adotado, conforme os critérios apresentados na Tabela 1 - “Fatores de segurança mínimos para deslizamentos”, da NBR 11682:2009.

Tabela 1 - Fatores de segurança mínimos para deslizamentos

Nível de segurança contra danos a vidas humanas \ Nível de segurança contra danos materiais e ambientais	Alto	Médio	Baixo
Alto	1,5	1,5	1,4
Médio	1,5	1,4	1,3
Baixo	1,4	1,3	1,2

Fonte: NBR 11682:2009.

Além dos aspectos mencionados anteriormente, uma análise de estabilidade adequada requer a consideração de diversos fatores adicionais, tais como: condições de resistência ao cisalhamento dos materiais, definição do tempo crítico para a avaliação do fator de segurança, escolha entre análise em termos de tensões totais ou efetivas, geometria do talude (incluindo inclinação, altura e forma), caracterização do perfil geotécnico, parâmetros geotécnicos dos solos e rochas presentes, hidrologia superficial e subterrânea, pressão neutra (poropressão), além de dados sobre a pluviometria e o sistema de drenagem do talude (ABNT, 2009).

A correta avaliação da estabilidade de taludes possibilita não apenas identificar áreas de risco, mas também subsidiar a escolha da solução de contenção mais adequada para cada situação. Dentre as diversas técnicas existentes, destaca-se o solo grampeado, amplamente utilizado em contextos urbanos por sua flexibilidade, eficiência e viabilidade técnica em diferentes tipos de solos. Na sequência, será abordado o conceito, funcionamento e aplicabilidade do solo grampeado, com ênfase

em suas potencialidades e limitações frente às condições geotécnicas observadas no talude urbano em processo de revitalização na cidade de João Pessoa - PB.

3.3. Solo grampeado

a. Descrição do solo grampeado

O solo grampeado é uma técnica moderna e eficaz utilizada para a estabilização de taludes naturais, escavações e cortes artificiais. Baseia-se na introdução de elementos alongados e resistentes, conhecidos como grampos, diretamente no maciço de solo, com o objetivo de reforçá-lo in situ. Esses grampos atuam restringindo os deslocamentos do solo, promovendo a coesão entre as zonas instáveis e as regiões mais resistentes. A estabilidade do sistema é assegurada principalmente pelas forças de atrito geradas entre o solo e os grampos. O revestimento superficial, que pode variar desde concreto projetado até soluções mais simples como cobertura vegetal, tem função secundária, sendo voltado à proteção e não à estabilidade estrutural do maciço. (French National Research Project Clouterre, 1991).

A técnica do solo grampeado apresenta diversas vantagens que a tornam uma solução destacada em relação a outras alternativas de estabilização. De modo geral, seu crescente uso pode ser atribuído principalmente a dois fatores: o baixo custo e a rapidez na execução, conforme apontado por Clouterre (1991).

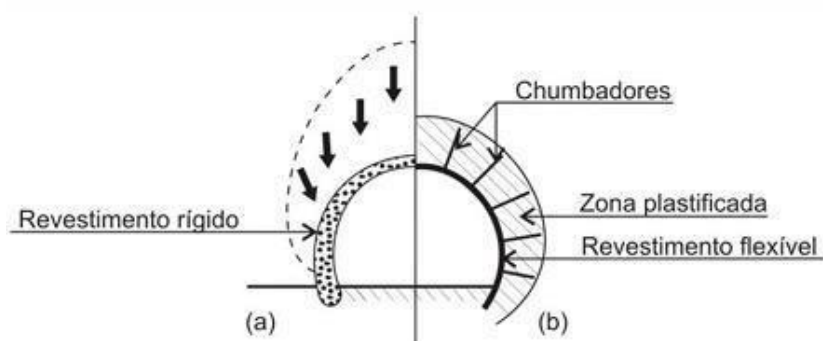
b. Origem e desenvolvimento do solo grampeado

De acordo com Mitchell e Villet (1987), a técnica do solo grampeado tem suas origens na engenharia de minas europeia, com os primeiros desenvolvimentos atribuídos a Landislau Von Rabcewicz, em 1964. Esse engenheiro foi responsável pela criação do método conhecido como NATM (*New Austrian Tunneling Method*), voltado ao avanço das escavações em maciços rochosos por meio do controle das deformações da cavidade. Segundo Zirlis e Pitta (1992), a estabilização era alcançada pela aplicação imediata de um revestimento flexível composto por concreto projetado, tela metálica e chumbadores curtos dispostos radialmente na zona plástica do maciço.

A Figura 7 ilustra as principais diferenças entre os métodos convencionais de

escavação e o NATM.

Figura 7 - Técnicas de execução de túneis com revestimento rígido (a) e flexível (b)



Fonte: Ortigão e Sayão, 2000.

A técnica do solo grampeado pode ser entendida como uma evolução do NATM (*New Austrian Tunneling Method*), método originalmente desenvolvido para escavações em maciços rochosos que combina a utilização de elementos passivos de reforço com um sistema flexível de suporte, como o concreto projetado, para estabilizar as paredes das escavações (Mitchell; Villet, 1987).

Esse método permite a mobilização gradual das tensões nos elementos de reforço, ao mesmo tempo que controla deformações relativamente pequenas nas proximidades do maciço de solo ou rocha, promovendo assim a estabilidade da estrutura.

Quando aplicado em solos, associando-se o reforço ao revestimento da superfície, a técnica é denominada solo grampeado (*Federal Highway Administration* (FHWA), 2015). No Brasil, o uso do solo grampeado ganhou relevância a partir da década de 1980, conforme relatado por (Zirlis; Pitta, 1992), e desde então vem se consolidando como uma solução eficiente e econômica para estabilização de taludes e contenções em obras de infraestrutura.

c. Definição da técnica

Segundo o FHWA (*Federal Highway Administration*, 2015), a técnica de solo grampeado consiste na estabilização de taludes ou escavações por meio da introdução de elementos resistentes à tração (grampos), instalados geralmente em

perfurações inclinadas no terreno, e posteriormente injetados com calda de cimento. Esses grampos atuam como reforço passivo, ou seja, são ativados à medida que ocorrem deslocamentos no solo, contribuindo para a estabilidade do maciço ao restringir deformações por meio da interação solo-reforço.

d. Aplicação do solo grampeado

Embora a maioria dos estudos e pesquisas de solo grampeado desenvolvidos seja limitada a solos homogêneos, a técnica também se adapta muito bem aos solos heterogêneos. A densidade e geometria (comprimento e inclinação) dos grampos podem ser ajustadas ao tipo e à resistência dos solos encontrados. Em perfis de solo variados, os grampos podem atravessar facilmente camadas de pedregulhos ocasionais. (French National Research Project Clouterre, 1991).

Segundo a *Federal Highway Administration* (FHWA, 2015), muros de solo grampeado requerem faixas de domínio mais estreitas do que sistemas concorrentes, como muros com tirantes, e causam menor impacto ambiental e menos interferência no tráfego durante a execução, devido à utilização de equipamentos mais compactos e versáteis. A instalação é relativamente rápida e flexível, permitindo adaptações frente a obstáculos subterrâneos sem a necessidade de grandes alterações no projeto. Outro fator favorável é a disponibilidade de empreiteiras especializadas e a ampla familiaridade da técnica entre engenheiros. No aspecto de desempenho, esses muros apresentam boa flexibilidade, acomodando deslocamentos totais e diferenciais com segurança. Do ponto de vista econômico, tendem a ser mais vantajosos do que muros de gravidade em concreto convencional para alturas superiores a 3,6 a 4,5 metros, sendo também mais baratos em relação a muros com tirantes, quando adotados procedimentos convencionais de execução.

No entanto, a técnica de solo grampeado apresenta limitações importantes que devem ser consideradas em sua aplicação. Ela não é indicada para escavações em argilas moles, pois exige elevada densidade e comprimento dos grampos, sendo ainda suscetível aos efeitos da fluência e ao aumento do teor de umidade, que podem comprometer o desempenho estrutural ao longo do tempo (Zirlis; Pitta, 1992). Em areias puras e não coesivas, a escavação torna-se instável, especialmente na presença de água, que agrava os riscos ao alterar as condições hidrostáticas, reduzir as tensões efetivas e favorecer a instabilização dos taludes. De acordo com a *Federal Highway Administration* (FHWA, 2015), também são restrições comuns a

necessidade de controle rigoroso de deslocamentos, o que pode deixar o projeto mais oneroso, a interferência com utilidades subterrâneas, a exigência de servidões permanentes para muros definitivos e a possível incompatibilidade com redes de comunicação, como cabos de fibra óptica. Essas limitações exigem uma avaliação geotécnica e de viabilidade antes da adoção da técnica.

4. METODOLOGIA

A presente pesquisa consiste em uma revisão bibliográfica, com abordagem qualitativa e descritiva, baseada no levantamento bibliográfico da literatura técnica e da análise documental de estudos de caso. A metodologia adotada envolve a comparação entre os seguintes aspectos: resistência a intempéries, drenagem, complexidade construtiva, impacto ambiental, equipamentos, custo de execução, manutenção. A análise é direcionada a obras que utilizaram solo grampeado com face verde e solo grampeado com face em concreto projetado.

4.1. Apresentação e análise de dados

Inicialmente, foi conduzida uma revisão teórica sistemática sobre a técnica de solo grampeado, abrangendo sua concepção, execução e desempenho, com foco nos dois tipos de revestimento analisados. As fontes consultadas incluíram bases científicas e técnicas, como *Google Scholar*, *Scielo*, Periódicos CAPES e *ResearchGate*. Além de normas e recomendações técnicas, como a NBR 11682:2009, o manual FHWA (2015) e o projeto Clouterre (1991). E trabalhos acadêmicos, artigos de periódicos, manuais de engenharia e publicações de órgãos de infraestrutura.

Alguns critérios fundamentou-se na análise documental de obras de contenção executadas com a técnica de solo grampeado, contemplando intervenções com revestimento em concreto projetado e com revestimento vegetal. Os dados foram obtidos a partir de registros técnicos fornecidos por duas empresas de engenharia civil atuantes no Brasil, cuja identidade foi preservada, e complementados por informações de domínio público, como imagens de satélite e fotografias registradas durante o processo construtivo. . Entre os documentos analisados, destacam-se tipo de construção, custo de execução, além de registros fotográficos detalhados do antes e depois da obra.

A análise comparativa foi realizada a partir da sistematização dos dados em tabelas, considerando critérios técnicos (resistência a intempéries), critérios ambientais (impacto ambiental), critérios econômicos (custos de execução e manutenção) e critérios operacionais (complexidade construtiva). Para cada parâmetro, elaborou-se uma análise descritiva, identificando nos resultados vantagens e desvantagens de cada tipo de revestimento.

4.2. Critérios Comparativos

A seguir serão apresentados os critérios selecionados para análise neste trabalho, bem como a metodologia aplicada em cada um deles para a realização da comparação.

- Drenagem do solo: Análise das abordagens de Clouterre e o Manual da FHWA sobre drenagem, complementada pelo artigo de Portocarrero *et al.* (2006) que discutem a influência da vegetação na melhoria da drenagem.
- Resistência à intempéries: Análise comparativa fundamentada no Manual da FHWA (2015), em Clouterre (1991), nos trabalhos de Gray e Leiser (1982) e no estudo de Portocarrero *et al.* (2006), com ênfase na resistência às intempéries.
- Complexidade construtiva: Avaliação das técnicas de solo grampeado conforme descritas pelo Manual da FHWA, Gray e Leiser e Schiechtl e Stern, considerando a aplicação nos dois tipos de face.
- Impacto Ambiental: Análise comparativa fundamentada no Manual da FHWA (2015), Clouterre (1991) e nos trabalhos de Gray e Leiser (1982) e Schiechtl e Stern (1997), com foco nos impactos associados ao uso do concreto projetado e às vantagens ambientais da face vegetal.
- Equipamentos: Comparação de equipamentos e mão de obra utilizados em cada tipo de obra de contenção, utilizando informações fornecidas por uma empresa e dados de um estudo de caso publicado em artigo.
- Custo de execução: Levantamento de dados sobre o custo de execução foram fornecidas por duas empresas que executam solo grampeado com os dois tipos de face e forneceram uma estimativa considerando o solo com boa coesão e sem presença de material rochoso.
- Manutenção: Avaliação fundamentada no Manual da FHWA (2015) e Clouterre (1991), complementada pelas contribuições de Gray e Leiser (1982), Schiechtl e Stern (1997) e Galvão *et al.* (2010), destacando as diferenças entre as exigências de conservação do revestimento em concreto e do revestimento

vegetal ao longo da vida útil da estrutura.

4.3. Limitações da Metodologia

A análise desenvolvida neste estudo baseia-se exclusivamente em informações provenientes de pesquisa bibliográfica, de dados de domínio público ou fornecidos diretamente pelas empresas responsáveis pelos serviços. Entre as principais limitações, destacam-se: a impossibilidade de divulgar integralmente documentos sigilosos, a ausência de medições de desempenho em longo prazo e as particularidades de cada obra, que impedem uma estimativa precisa dos valores. Dessa forma, é possível que ocorram variações nos resultados quando aplicados em diferentes contextos.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos dados obtidos nas referências bibliográficas e das informações fornecidas pelas empresas, realizou-se uma análise criteriosa de cada parâmetro (Drenagem, Resistência às intempéries, Complexidade construtiva, Impacto ambiental, Equipamentos, Custo de execução, Manutenção), identificando os pontos positivos e negativos de cada uma das faces do solo grampeado. O Quadro 4 mostra os resultados encontrados, e uma análise profunda de cada um dos critérios foi realizada analisando-os e comparando-os entre si.

Quadro 3 - Quadro comparativo dos critérios adotados

Critérios	Concreto Projetado	Vegetal
Drenagem	Precisa haver obrigatoriamente um sistema de drenagem do solo, tanto por barbacãs como por drenos na crista e na base do talude, sub drenos horizontais e as vezes sistemas de escalonamento para retardar a energia da água.	Existe uma drenagem natural, pois a própria vegetação auxilia na infiltração da água e no menor escoamento superficial. No entanto, para o funcionamento adequado precisa-se instalar barbacãs e sub drenos horizontais.
Resistência às intempéries	Elevada resistência mecânica imediata; atua como barreira rígida contra chuva e ventos.	Efetividade progressiva; necessita de tempo para adaptação e estabelecimento da vegetação.
Complexidade construtiva	Seis (6) etapas de construção consistindo em escavação, perfuração de furos, instalação das barras e da argamassa, construção de revestimento inicial, construção de níveis subsequentes e construção do revestimento final com concreto projetado.	Sete (7) etapas de construção, abrangendo, escavação, perfuração dos furos, instalação dos grampos construção do revestimento inicial, instalação das malhas e aplicação do substrato vegetal, construção do acamamento final e manutenção final.
Impacto ambiental	Apresenta maior impacto ambiental, os principais impactos destacados são: - Baixa permeabilidade, gerando maior escoamento	Apresenta menor impacto ambiental, os principais impactos destacados são: - Maior permeabilidade, favorecendo a infiltração

	superficial e risco de erosão adjacente; - Elevada emissão de CO₂ durante a execução, devido à produção do cimento; - Alterações microclimáticas locais, associadas ao acúmulo de calor; - Ausência de integração paisagística, resultando em aspecto artificial; - Não contribui para a biodiversidade.	da água e reduzindo o escoamento superficial; - Integração paisagística, proporcionando melhor harmonia visual e ambiental; - Contribui para a biodiversidade, criando habitats e conectividade entre áreas verdes; - Regulação microclimática (sequestro de carbono e retenção de partículas).
Equipamentos	Se utiliza de mais equipamentos e mais mão de obra	Se utiliza de menos equipamentos e menos mão de obra
Custo de execução	O preço do metro quadrado em um solo com boa coesão e pouco material rochoso varia entre R\$ 950,00 – 1200,00	O preço do metro quadrado em um solo com boa coesão e pouco material rochoso varia entre R\$ 750,00 – 900,00
Manutenção	Intervenções pontuais ao longo da vida útil (reparos em fissuras, recuperação superficial).	Necessidade de manutenção contínua nos estágios iniciais (rega, replantio, adubação); depois tende a se estabilizar.

Fonte: Autora (2025).

A seguir será discutido cada um deles.

a. Drenagem

Para o funcionamento adequado da drenagem na face de concreto projetado, é imprescindível a instalação de sistemas artificiais de drenagem, como barbacãs, drenos horizontais e canaletas, pois a baixa permeabilidade do revestimento impede o escoamento natural da água.

Já o revestimento vegetal possui uma drenagem natural, em que as raízes e a cobertura superficial auxiliam na infiltração e reduzem o escoamento superficial. Contudo, para garantir sua eficiência, também se faz necessária a presença de

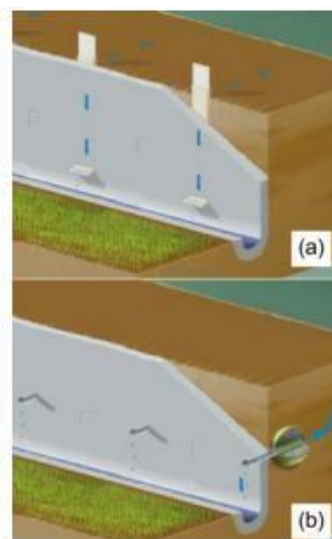
drenos artificiais, especialmente barbacãs e drenos horizontais, de forma a complementar o processo natural e evitar a saturação do maciço.

Assim, enquanto o concreto depende totalmente de dispositivos artificiais, a vegetação apresenta desempenho mais sustentável, ainda que condicionado a uma boa execução e manutenção inicial.

A presença de água no maciço de solo representa um dos fatores mais críticos para a estabilidade de estruturas em solo grampeado, interferindo tanto durante a execução quanto na vida útil da obra. A elevação das pressões neutras, a redução das tensões efetivas e o consequente decréscimo da resistência ao cisalhamento do solo podem gerar instabilidades severas, além de favorecer fenômenos como erosão interna e *piping*. Por isso, os dispositivos de drenagem são considerados elementos estruturais integrantes do sistema, sendo imprescindível seu correto dimensionamento e implantação (French National Research Project Clouterre, 1991).

Em situações com fluxo mais significativo, empregam-se geodrenos verticais, compostos por núcleo drenante (normalmente de PVC) com geotêxtil filtrante (Figura 8-a) garantindo maior eficiência na drenagem superficial. No revestimento da estrutura, é comum a utilização de barbacãs, que funcionam como drenos pontuais e têm a função de permitir o alívio da água infiltrada no contato solo-revestimento (Figura 8-b), evitando a sobpressão do concreto projetado (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009).

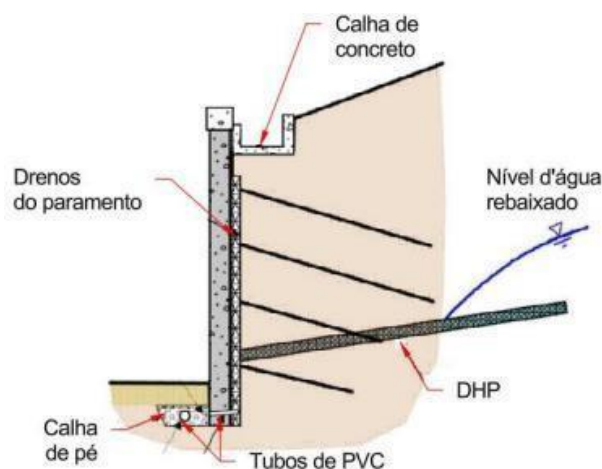
Figura 8 - Drenos do parâmetro do tipo linear (a) e barbacã (b)



Fonte: Solotrat, 2018.

Quando há presença de fluxos subterrâneos internos, como em zonas com lençol freático elevado, são indicados os drenos horizontais profundos (DHPs), instalados de forma inclinada no interior do maciço. Além disso, a drenagem superficial também é parte indispensável do sistema. Elementos como canaletas de crista, descidas d'água e dissipadores de energia são projetados para captar, conduzir e dissipar o escoamento superficial, evitando a saturação das camadas mais externas do solo e a erosão do talude. A integração entre os sistemas de drenagem superficial e interna, conforme abordado pela NBR 11682:2009, é essencial para garantir o desempenho e a durabilidade das estruturas de contenção em solo grampeado. Na Figura 9 apresenta a representação dos dispositivos de drenagem no solo grampeado.

Figura 9 - Dispositivos de drenagem em solo grampeado



Fonte: Lazarte, 2015.

b. Resistência à intempéries

Observa-se que o concreto projetado apresenta desempenho mais imediato contra intempéries, com proteção uniforme e de fácil padronização, enquanto o revestimento vegetal oferece um desempenho cujo sucesso depende do estabelecimento da cobertura e de sua adaptação às condições do meio.

A escolha entre as duas soluções deve considerar não apenas a exposição climática da região, mas também aspectos como o prazo de implantação, a viabilidade de manutenção e os objetivos de sustentabilidade e integração ambiental da obra.

A resistência às intempéries é um aspecto fundamental para avaliar a durabilidade e o desempenho de contenções em solo grampeado, uma vez que tais estruturas permanecem expostas diretamente à ação de agentes climáticos, como chuvas intensas, insolação, ventos e variações térmicas. O comportamento da face de contenção diante desses fatores influencia não apenas a proteção superficial do maciço, mas também a necessidade de manutenção ao longo da vida útil da obra.

O desempenho do revestimento de concreto projetado, é caracterizado pela elevada resistência mecânica imediata, uma vez que o concreto forma uma barreira rígida contra a ação direta da chuva e dos ventos. Essa camada superficial reduz a desagregação do solo exposto e protege o maciço contra erosões superficiais, desprendimentos localizados e variações volumétricas decorrentes de ciclos de

molhagem e secagem. Quando corretamente especificado e executado, o concreto projetado apresenta durabilidade satisfatória, especialmente quando associado a sistemas adequados de drenagem, como barbacãs, drenos horizontais profundos e canaletas de crista, conforme recomendado pela NBR 11682:2009 e pelo projeto Clouterre (1991).

Entretanto, a exposição prolongada a ambientes agressivos pode favorecer processos de fissuração, retração e carbonatação, abrindo caminho para a infiltração de água e o consequente comprometimento da durabilidade. Além disso, em regiões sujeitas a ciclos intensos de chuva e insolação, o revestimento pode sofrer degradação superficial, o que demanda inspeções periódicas e eventuais intervenções de reparo para manter sua eficiência. O manual da Federal Highway Administration (FHWA, 2015) destaca que o sucesso do concreto projetado em resistir às intempéries depende fortemente da qualidade do material utilizado, da espessura da camada aplicada e da eficiência dos dispositivos de drenagem implantados.

Por outro lado, o revestimento vegetal apresenta um comportamento diferenciado em relação às intempéries, por depender da interação entre o solo, o sistema radicular e a parte aérea da vegetação. A aplicação com face vegetal, segundo Portocarrero et al., apresenta diversos efeitos hidrológicos relevantes para a estabilidade e proteção superficial do talude.

A vegetação atua inicialmente na interceptação da água das chuvas, em que a parte arbustiva e a serrapilheira absorvem parte da energia cinética das gotas, prevenindo a impermeabilização que normalmente ocorre na superfície do solo. As raízes exercem um papel de retenção das partículas, enquanto os resíduos orgânicos em superfície funcionam como filtro, reduzindo a remoção de sedimentos pelo escoamento superficial. Outro mecanismo importante é o retardamento do escoamento, uma vez que a serrapilheira aumenta a rugosidade do terreno, diminuindo a velocidade da água. Além disso, a vegetação contribui para a infiltração, já que raízes e serrapilheira auxiliam na manutenção da porosidade e permeabilidade do solo. O processo de transpiração também é fundamental, pois promove a depleção da umidade do solo por meio da evapotranspiração, atrasando sua saturação e, consequentemente, retardando a geração do escoamento superficial. Por fim, destaca-se o reforço mecânico das raízes, que aumenta a resistência do solo tanto para pequenas como para grandes deformações (Portocarrero et al., 2006).

O desempenho da face vegetal, entretanto, está condicionado a fatores

externos, como o tipo de espécies utilizadas, as condições climáticas regionais e a manutenção durante os primeiros estágios de implantação. Em períodos de estiagem prolongada, a perda da cobertura pode expor trechos do solo, reduzindo a proteção contra erosão. Já em períodos de chuvas intensas, a vegetação bem estabelecida se torna essencial para conter o escoamento superficial e aumentar a infiltração de forma controlada. Além disso, a disponibilidade hídrica nas fases iniciais e a execução adequada das práticas de manutenção são de suma importância para o desempenho da face vegetal (Schiechtl; Stern, 1997). A escolha das espécies deve considerar fatores como adaptabilidade climática, desenvolvimento radicular e capacidade de cobertura, a fim de assegurar a estabilidade superficial do talude e o controle da erosão (Gray; Leiser, 1982)

Diferentemente do revestimento em concreto projetado, que apresenta desempenho estrutural imediato e independente de condições ambientais, a efetividade da face vegetal é progressiva e requer um período de adaptação até que a vegetação atinja sua plena função técnica e ecológica (Schiechtl & Stern, 1997).

c. Complexidade construtiva

O concreto projetado apresenta um processo executivo consolidado e padronizado, composto por seis etapas principais, desde a escavação até a aplicação do revestimento final. Apesar de exigir menos etapas em comparação à face vegetal, sua execução requer maior quantidade de equipamentos especializados e mão de obra qualificada, o que impacta diretamente nos custos e na logística da obra.

Por sua vez, o revestimento vegetal demanda sete etapas, incluindo atividades adicionais, como a instalação de malhas, aplicação de substrato e hidrossemeadura que necessita de um estudo do local para saber quais espécies se adaptam a região. Apesar de parecer mais complexo em termos de número de fases, utiliza menos equipamentos e recursos pesados, sendo geralmente mais flexível e adaptável às condições do terreno.

Portanto, enquanto o concreto projetado oferece maior padronização e previsibilidade, a face vegetal exige maior cuidado na execução e manutenção inicial, mas com menor demanda tecnológica e mecânica.

c.1) Execução do processo construtivo de solo grampeado com revestimento de concreto projetado

Segundo o manual da FHWA, o processo construtivo do solo grampeado é

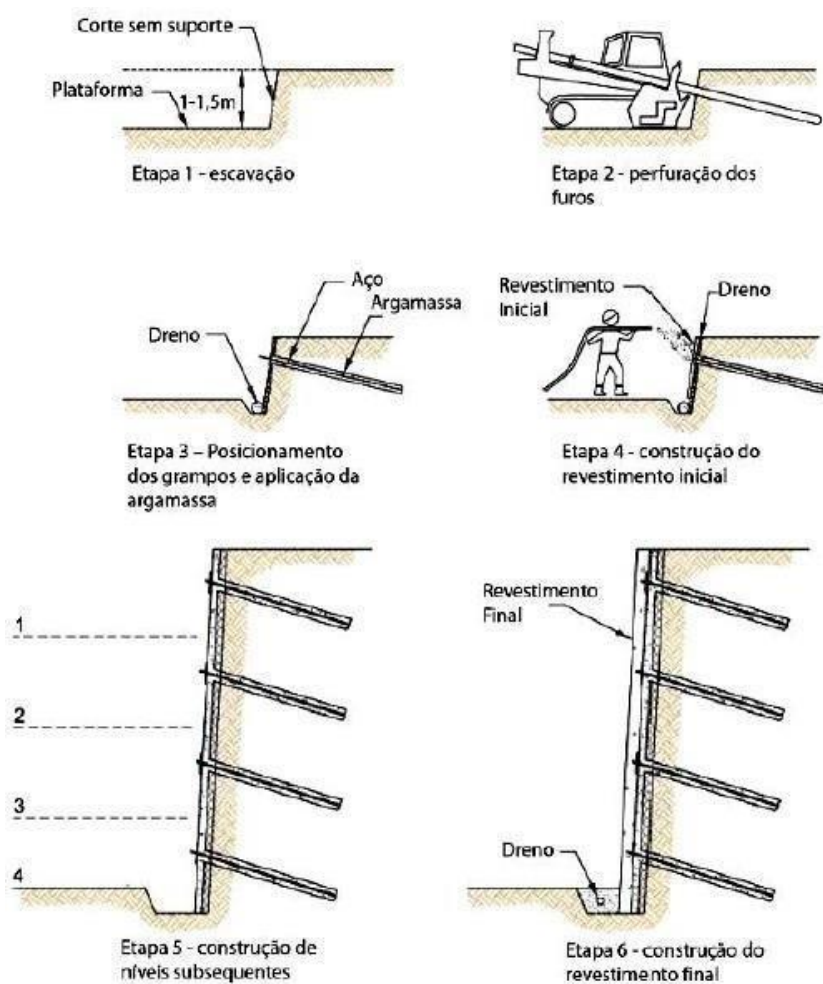
composto por 6 etapas, escavação, perfuração de furos, instalação das barras e da argamassa, construção de revestimento inicial, construção de níveis subsequentes e construção do revestimento final. Conforme é demonstrado na Quadro 5 e na Figura 10.

Quadro 4 - Etapas do processo construtivo do solo grampeado com revestimento de face de concreto projetado

Sequência	Descrição da atividade
Etapa 1 – Escavação	O corte inicial não suportado geralmente varia de 1 m a 1.5 m, onde a primeira linha de grampos será colocada. Este passo é crítico uma vez que não há suporte para a massa do solo e a profundidade máxima a ser escavada pode variar de acordo com o tipo de solo.
Etapa 2 – Perfuração dos furos	Requer equipamento especializado e geralmente os furos permanecem sem suporte.
Etapa 3 – Posicionamento dos grampos e aplicação da argamassa	As barras de aço são colocadas nos orifícios perfurados e, em seguida, a argamassa é inserida com baixa pressão (menos de 5 ou 10 libras/pé quadrado). Os drenos de tiragem são colocados entre grampos adjacentes.
Etapa 4 – Construção do revestimento inicial	O revestimento inicial deve ser colocado sobre a superfície do solo antes do próximo nível ser escavado. O reforço especial é colocado em torno das cabeças dos grampos para resistir à flexão. O próximo nível pode ser feito 3 dias após o primeiro, uma vez que tem que atingir um certo valor de força antes de construir o próximo.
Etapa 5 – Construção de níveis subsequentes	Repita os passos 1 a 4 para o próximo nível.
Etapa 6 – Construção do revestimento final	Depois que todos os níveis forem feitos e a escavação chega ao fundo, o revestimento final pode ser construído.

Fonte: Adaptado de FHWA, 2015.

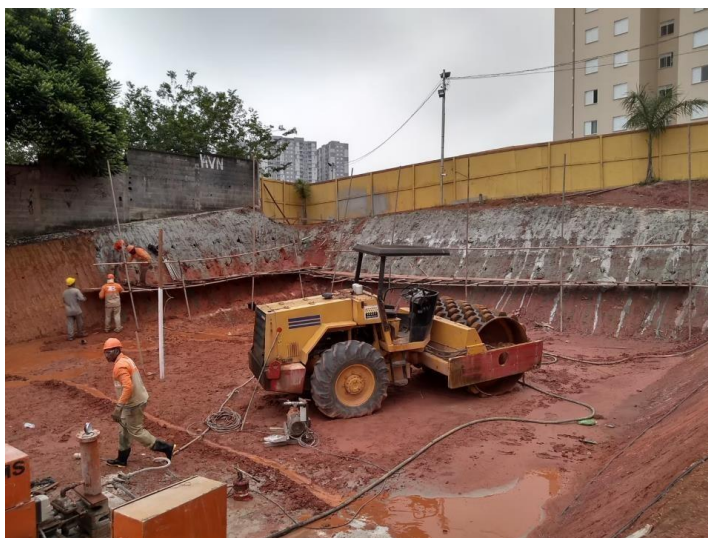
Figura 10 - Etapas da construção do solo grampeado



Fonte: Adaptado de FHWA, 2015.

As Figuras 11 e 12 demonstram a execução e a finalização do solo grampeado com face de concreto projetado.

Figura 11 - Execução do solo grampeado com face de concreto projetado



Fonte: ZR solo grampeado.

Figura 12 - Finalização da face de concreto projetado



Fonte: ZR solo grampeado.

c.2) Execução do processo construtivo de solo grampeado com revestimento vegetal

Para análise da execução da técnica com a face vegetal segundo Grey e Leiser e Schiechtl e Stern o processo construtivo é composto por 7 etapas, escavação, perfuração de furos, instalação dos grampos, construção de revestimento inicial, instalação das malhas e aplicação do substrato vegetal, construção do acamento final e manutenção final. Conforme é demonstrado na Quadro 6.

Quadro 5 - Etapas do processo construtivo do solo grampeado com revestimento de face vegetal

Sequência	Descrição da atividade
Etapa 1 – Escavação	Escavação por etapas (em taludes de 1,5 a 2,0 metros de altura), respeitando o projeto de contenção e as condições geotécnicas do
Etapa 2 – Perfuração dos furos	Perfuração dos furos para instalação dos grampos, em geral inclinação de 10° a 20° para a horizontal, utilizando perfuratriz leve.
Etapa 3 – Instalação dos grampos	Introdução das barras de aço, com bainha plástica quando necessário, seguida da injeção de calda de cimento sob pressão controlada.
Etapa 4 – Construção do revestimento inicial	Sobre a superfície do talude, prende-se a biomanta de fibra vegetal ou geotêxtil com função de reforço e suporte à vegetação.
Etapa 5 – Instalação das malhas e aplicação do substrato vegetal	Instalação de placas de ancoragem e porcas nas extremidades dos grampos para fixar a malha. Posteriormente, aplica-se uma camada de substrato vegetal sobre a malha.
Etapa 6 – Construção do acabamento final	Hidrossemeadura (mistura de sementes, fertilizantes e polímeros) ou plantio manual de espécies vegetais adaptadas à região
Etapa 7 – Manutenção final	Manutenção inicial com irrigação, controle de erosão e reposição de falhas na cobertura vegetal.

Fonte: Adaptado de Gray e Leiser (1982) e Schiechl e Stern (1997).

d. Impacto ambiental

A solução em concreto projetado está associada a maiores impactos ambientais, devido ao caráter impermeável do revestimento, ao elevado consumo energético e às emissões de CO₂ ligadas à produção do cimento. Além disso, sua aplicação altera o microclima local, aumenta a absorção térmica e não contribui para a biodiversidade, resultando em uma obra com menor integração paisagística.

Em contraste, o revestimento vegetal se mostra ambientalmente mais vantajoso, proporcionando maior permeabilidade, favorecendo a infiltração da água e contribuindo para a redução do escoamento superficial. Além disso, promove integração com a paisagem, melhora o microclima local e amplia a biodiversidade.

Dessa forma, o concreto projetado se mostra funcional, porém com alto impacto ambiental. Já a vegetação promove maiores ganhos ecológicos e estéticos.

O solo grampeado com revestimento vegetal, uma abordagem que integra princípios de engenharia geotécnica com a bioengenharia de solos, representa uma

solução que busca aliar a estabilidade estrutural com significativos benefícios ambientais e paisagísticos(Gray; Leiser, 1982; Schiechl; Stern, 1997). Conforme demonstrado nas Figuras 13 e 14 da aplicação da técnica em Niterói, Rio de Janeiro.

Figura 13 - Antes da Obra



Fonte: Maccaferri, 2017.

Figura 14 - Depois da Obra



Fonte: Maccaferri, 2017.

A construção civil é reconhecida como uma das atividades que mais geram impactos ambientais, seja pelo elevado consumo de recursos naturais, pela emissão de poluentes atmosféricos ou pela modificação do meio físico em decorrência das obras (Habert *et al.*, 2012; Mehta; Monteiro, 2014). No campo da estabilização de taludes, diversas técnicas de contenção apresentam diferentes níveis de agressividade ao ambiente. Nesse contexto, o solo grampeado se destaca por ser considerado uma das soluções de menor impacto relativo, uma vez que requer menor volume de escavações, demanda áreas de implantação mais estreitas em comparação com outras alternativas, como muros de gravidade ou cortinas

atirantadas, e utiliza equipamentos de menor porte, reduzindo a interferência no entorno e no tráfego urbano (FHWA, 2015; French National Research Project Clouterre, 1991). Ainda assim, mesmo sendo uma técnica menos invasiva, o solo grampeado gera impactos ambientais, que variam de acordo com o tipo de revestimento de face adotado.

No caso do solo grampeado com face em concreto projetado, os principais impactos ambientais estão relacionados à impermeabilização da superfície, que dificulta a infiltração da água e aumenta o escoamento superficial, podendo intensificar processos erosivos em áreas adjacentes (FHWA, 2015). Além disso, observa-se a ocorrência de alterações microclimáticas, já que o concreto possui elevada capacidade de absorção e retenção térmica, contribuindo para o aumento da temperatura local, especialmente em centros urbanos — fenômeno associado ao efeito de ilha de calor (Habert *et al.*, 2012). Outro aspecto negativo é a alta emissão de CO₂ durante a fase de execução, resultado do processo de produção do cimento Portland, que representa uma das indústrias mais poluentes em termos de gases de efeito estufa (Habert *et al.*, 2012; Mehta; Monteiro, 2014). Também se destaca a baixa integração paisagística, uma vez que a face em concreto apresenta caráter artificial e pouco harmônico com o meio natural (Schiechtl; Stern, 1997).

Por outro lado, o solo grampeado com face vegetal apresenta impactos ambientais positivos associados ao uso da bioengenharia. Alia estabilidade geotécnica a benefícios ambientais e paisagísticos (Gray; Leiser, 1982; Schiechtl; Stern, 1997). A revegetação pode ser realizada por diferentes técnicas, como hidrossemeadura, uso de biomantas ou plantio de espécies de rápido crescimento, preferencialmente nativas, capazes de formar um sistema radicular denso que protege o solo e auxilia na drenagem (Gray; Leiser, 1982).

Os principais benefícios da face vegetal são a integração paisagística, contribuindo para a valorização estética, sobretudo em áreas urbanas, e o incremento da biodiversidade, criando *habitats* e conectando áreas verdes (Galvão *et al.*, 2010). Do ponto de vista hidrológico, a vegetação favorece a infiltração da água, reduzindo o escoamento superficial e o risco de erosão (FHWA, 2015; Gray; Leiser, 1982). Também promove regulação microclimática, auxiliando na redução da temperatura do ar, no aumento da umidade relativa e na melhoria da qualidade do ar por meio do sequestro de carbono e da retenção de partículas (Schiechtl; Stern, 1997).

e. Equipamentos

Em relação aos equipamentos, o revestimento em concreto projetado possui mais maquinário e necessita de mais mão de obra, o que tende a ser mais oneroso, principalmente em função da necessidade de equipamentos especializados (como bombas de projeção e compressores de ar) e de mão de obra mais numerosa e qualificada. Além disso, os custos com o próprio concreto e atividades associadas aumentam o investimento inicial.

O revestimento vegetal, por sua vez, requer menos equipamentos e menor número de profissionais, o que reduz significativamente os custos de implantação.

O uso do sistema de contenção de taludes por meio do grampeamento oferece diversas vantagens, que podem ser associadas a aspectos como custo, equipamentos, velocidade de execução, adaptação ao ambiente, flexibilidade e possibilidade de integração com outros sistemas. No que se refere ao custo, segundo Mitchell e Villet (1987), o grampeamento de solos apresenta uma vantagem significativa em relação a outras técnicas de contenção, uma vez que demanda menor quantidade de materiais. Entretanto, a comparação direta de custos baseada em preços não se mostrou viável neste estudo. Por isso, optou-se por analisar os equipamentos e a mão de obra envolvidos em cada solução, uma vez que esses fatores têm impacto direto nos custos de execução observados pelas empresas. Essa economia decorre, principalmente, da eliminação do uso de shotcrete e da simplificação das atividades de acabamento.

Para este estudo, levantou-se dados, retirados de Clouterre (1991), sobre os equipamentos e a mão de obra normalmente utilizados no grampeamento de solos para ambas as faces do talude. Os dados fornecidos estão apresentados na Quadro 7.

Quadro 6 - Levantamento de equipamentos e mão de obra utilizados em ambas as faces segundo Clouterre

Solo Grampeado com Concreto Projetado	Solo Grampeado Verde
Equipamentos: - Uma perfuratriz; - Equipamento de injeção de calda de cimento; - Martelo mecânico; - Bomba de projeção de	Equipamentos: - Uma perfuratriz; - Equipamento de injeção de calda de cimento; - Malha geossintética; - Equipamento para instalação metálica;

concreto; - Equipamento para instalação de tela metálica; - Compressor de ar;	- Ferramentas de compatação.
Mão de Obra: - Encarregado Geral; - Operador de perfuratriz; - Injetador; - Mangoteiro; - Operador de bomba de projeção; - Auxiliar geral; - Armador.	Mão de Obra: - Encarregado geral; - Operador de perfuratriz; - Injetador; - Auxiliar geral; - Armador.
Total: 8 equipamentos 7 Cargos	Total: 5 Equipamentos 5 Cargos

Fonte: Dados adaptados de Clouterre (1991).

Além disso, foi levantado também os dados coletados por Fideles *et al.* no estudo de caso realizado em Belo Horizonte – MG, os detalhes dessa comparação estão apresentados na Quadro 8 – Equipamento e mão de obra utilizados em cada uma das faces no estudo de caso.

Quadro 7 - Equipamento e mão de obra utilizados em ambas as faces segundo o estudo de caso

Solo Grampeado com Concreto Projetado	Solo Grampeado Verde
Equipamentos: - 01 Perfuratriz rotopercussiva e compressor a ar comprimido; - 01 conjunto de injeção com misturador de calda de alta turbulência e bomba de injeção; - 01 bomba de projetado, compressor ar comprimido	Equipamentos: - 01 Perfuratriz rotopercussiva e compressor a ar comprimido; - 01 conjunto de injeção com misturador de calda de alta turbulência e bomba de injeção.
Mão de Obra: - 01 operador de perfuratriz e 02 auxiliares para perfuração; - 01 operador de bomba de injeção e 02 auxiliares; - 01 operador de bomba	Mão de Obra: - 01 operador de perfuratriz e 02 auxiliares para perfuração; - 01 operador de bomba de injeção e 02 auxiliares; - 02 auxiliares para disposição das placas de grama.

de projetado, 01 mangoteiro e 03 auxiliares.	
Total: 3 Equipamentos principais 11 Funcionários	Total: 2 Equipamentos principais 8 Funcionários

Fonte: Autor adaptado do artigo Estabilização e contenção de encosta pelo método construtivo de cortina atirantada e solo grampeado verde: estudo de caso em obra de contenção em talude entre e Av. Raja Gabaglia e a Rua Flavita Bretas, em Belo Horizonte / MG.

f. Custo de execução

A análise comparativa de custos entre as faces de concreto projetado e vegetal foi realizada com base em orçamentos fornecidos por duas empresas, cujo os nomes serão preservados, porém ambas são amplamente especializadas no setor, os dados fornecidos estão descrito na Tabela 2.

Tabela 2 - Comparação do custo de execução por metro quadrado

Empresas	Solo Grampeado com Concreto Projetado	Solo Grampeado Verde
Empresa 1	R\$ 1.000,00	R\$ 700,00 – 850,00
Empresa 2	R\$ 950,00 – 1.200,00	R\$ 850,00 – 900,00

Fonte: Dados adaptados pela estimativa das empresas.

Os dados obtidos indicam, como previsto inicialmente pela quantidade de equipamentos e mão de obra, que a face vegetal apresenta um custo inferior ao da face de concreto projetado. Na Empresa 1, o valor da face vegetal varia entre R\$ 750/m² e R\$ 800/m², enquanto a de concreto projetado custa R\$ 1.000/m². Na Empresa 2, a diferença de preço é similar, com a face vegetal oscilando entre R\$ 850/m² e R\$ 900/m², e a de concreto projetado variando entre R\$ 950/m² e R\$ 1.200/m².

É importante notar que a variação de preço da Empresa 2 para a face de concreto projetado (R\$ 950 a R\$ 1.200/m²) foi justificada pela empresa por fatores como a coesão do solo e a presença de material rochoso, que podem demandar mais esforço e recursos. Isso reforça a ideia de que o custo final da solução de concreto projetado é altamente dependente das condições específicas do local.

A análise orçamentária demonstra que, em termos de custo de execução, a

face vegetal é uma alternativa mais econômica em comparação com a face de concreto projetado. No entanto, é fundamental considerar que os valores apresentados são estimativas e podem variar conforme as características do projeto e as condições geotécnicas do terreno.

g. Manutenção

O concreto projetado apresenta baixa necessidade de manutenção ao longo da vida útil da estrutura, limitando-se a intervenções pontuais, como reparo de fissuras ou recuperação superficial em casos de degradação. Entretanto, quando ocorrem, essas intervenções podem ser de maior custo e complexidade técnica.

Já a vegetação exige maior atenção nos estágios iniciais, com irrigação, replantio e adubação para garantir o pleno estabelecimento da cobertura. Após esse período, a necessidade de manutenção tende a se reduzir, limitando-se a podas e manejos periódicos. As Figuras 15, 16 e 17 ilustram a evolução da vegetação ao longo de sua manutenção.

Figura 15 - Início da face vegetal



Fonte: Maccaferri, 2017.

Figura 16 - Evolução da vegetação



Fonte: Maccaferri, 2017.

Figura 17 - Estágio final da vegetação



Fonte: Maccaferri, 2017.

Assim, enquanto o concreto oferece praticidade com poucas intervenções ao longo do tempo, a solução vegetal demanda maior esforço inicial, mas tende a se tornar mais autossustentável posteriormente.

A manutenção das obras de contenção em solo grampeado é um fator determinante para a sua durabilidade e desempenho ao longo do tempo. Embora os grampos atuem como reforço estrutural interno, a eficiência global do sistema depende diretamente da conservação do revestimento de face, que possui funções de proteção superficial, controle de erosão e integração ao meio ambiente (Federal

Highway Administration (FHWA), 2015; French National Research Project Clouterre, 1991). Nesse sentido, as necessidades de manutenção diferem significativamente entre o revestimento em concreto projetado e o revestimento vegetal.

No caso do solo grampeado com face em concreto projetado, a demanda de manutenção é geralmente baixa, uma vez que o concreto apresenta elevada resistência mecânica e durabilidade, exigindo apenas inspeções periódicas para identificar fissuras, destacamentos ou possíveis processos de corrosão em armaduras expostas (FHWA, 2015). Quando esses danos ocorrem, são necessárias intervenções pontuais, como reparações com argamassa ou aplicação de camadas adicionais de concreto. Além disso, é fundamental a manutenção do sistema de drenagem, visto que dispositivos como barbacãs e canaletas precisam ser periodicamente desobstruídos, já que o acúmulo de sedimentos pode comprometer sua eficiência. Assim, embora as intervenções sejam menos frequentes, tendem a ser mais onerosas e tecnicamente complexas (FHWA, 2015; French National Research Project Clouterre, 1991).

Já o solo grampeado com face vegetal exige manutenção mais intensa nos primeiros anos após a implantação, pois o sucesso da revegetação depende de cuidados como irrigação suplementar, controle de plantas invasoras e replantio em áreas onde a cobertura não se estabeleceu adequadamente (Gray; Leiser, 1982; Schiechtl; Stern, 1997). Após esse período inicial, a manutenção tende a ser reduzida, concentrando-se em podas, manejo da biomassa e eventual substituição de espécies. Além da drenagem natural proporcionada pela vegetação, é necessário monitorar periodicamente os dispositivos artificiais de drenagem, como barbacãs e drenos, para garantir o pleno funcionamento do sistema. Dessa forma, embora a manutenção inicial seja mais exigente, os custos diminuem à medida que a vegetação se consolida, tornando a solução progressivamente mais autossustentável. (Galvão *et al.*, 2010; Gray; Leiser, 1982; Schiechtl; Stern, 1997).

6. CONCLUSÕES

O presente trabalho abordou a análise comparativa sobre os critérios de resistências à intempéries, complexidade construtiva, impacto ambiental, equipamentos, custo de execução e manutenção. Através da revisão bibliográfica, foi possível identificar as vantagens e as limitações apresentadas por cada um dos dois tipos de revestimentos no solo grampeado, bem como sua aplicabilidade em diferentes cenários geotécnicos e estruturais.

A análise bibliográfica, associada ao estudo de casos fornecidos pelas empresas, demonstrou que ambos os tipos de revestimento são adequados para aplicação em contenções com solo grampeado, apresentando desempenhos distintos em cada critério analisado. No que se refere à drenagem, o revestimento com face vegetal se revelou mais eficiente, uma vez que a própria vegetação favorece a infiltração da água e reduz o escoamento superficial, contribuindo para o bom funcionamento do sistema. Quanto à resistência às intempéries, os dois sistemas se mostraram satisfatórios, ainda que por mecanismos diferentes.

Em relação à complexidade construtiva, o concreto projetado apresenta vantagens, pois demanda menos etapas de execução e não necessita de monitoramento após a conclusão do processo executivo. No aspecto ambiental, a face vegetal apresenta melhor desempenho, visto que promove o reflorestamento da área, possibilitando o desenvolvimento de novas espécies e contribuindo para a melhoria da qualidade do ar e para a integração paisagística da obra.

Quanto ao custo de execução, o metro quadrado da face vegetal é mais barato quando comparado ao da face de concreto projetado. Já o revestimento vegetal demanda acompanhamento técnico no período de implantação, a fim de garantir o estabelecimento das espécies, evitar a competição com plantas invasoras e assegurar a efetividade do reflorestamento. Por fim, em termos de custo de execução, o revestimento vegetal se apresenta mais econômico, pois requer menor quantidade de equipamentos e mão de obra em comparação ao concreto projetado.

Desse modo, conclui-se que o revestimento vegetal é uma opção mais econômica, com menor impacto ambiental e um sistema de drenagem mais eficiente. Ele também promove o reflorestamento, especialmente em áreas urbanas. No entanto, é fundamental entender que a escolha entre o revestimento vegetal e o de concreto projetado depende de fatores específicos de cada projeto, como o clima da

região, o tipo de solo, a acessibilidade do local e os recursos técnicos disponíveis.

Apesar das contribuições de cada referencial e dos casos para este estudo, a principal limitação encontrada foi os estudos de casos terem sido aplicados em diferentes contextos geológicos e climáticos, além disso, o levantamento dos orçamentos é limitado, pois as empresas contadas fazem o orçamento com base no projeto apresentado, então o valor varia bastante a depender da área e tipo de material utilizado na execução, o que impediu a realização de uma validação prática mais detalhada. Contudo, o trabalho alcançou os seus objetivos, oferecendo uma base para a realização de futuras investigações referentes a utilização de revestimento de concreto projetado ou vegetal na face do solo grampeado.

Por fim, os resultados evidenciam a viabilidade e a eficiência do revestimento vegetal, ao mesmo tempo que reforçam a necessidade de considerar as especificações únicas de cada projeto. . Esse trabalho tem como objetivo ajudar a entender melhor o comportamento dos dois tipos de faces, e também pretende abrir caminho para novos estudos na área de fundações profundas no futuro.

6.1. Sugestões para trabalhos futuros

Considerando as limitações metodológicas deste estudo, especialmente no que se refere à ausência dos custos das obras, diferenças geológicas e dependência de informações documentadas em referências bibliográficas, recomenda-se que pesquisas futuras busquem ampliar e aprofundar o conhecimento sobre o tema por meio de diferentes abordagens.

Nos aspectos técnicos e de desempenho, é importante avaliar o comportamento a longo prazo e a vida útil de cada tipo de face (vegetal e concreto projetado) em diferentes contextos geotécnicos e climáticos.

Em relação aos aspectos econômicos, sugere-se a realização de análises comparativas de viabilidade econômica entre face vegetal e concreto projetado, considerando custos diretos e indiretos, como materiais, mão de obra, tempo de execução, impacto no cronograma da obra e custos de manutenção ao longo da vida útil. Já nos aspectos ambientais e de sustentabilidade, recomenda-se o monitoramento e a avaliação dos impactos positivos e negativos ocasionados pelos dois tipos de faces.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, José; BEZERRA, Torres. Análise de estruturas de contenção de encostas com auxílio do programa computacional GeoFine. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11682: Estabilidade de taludes. **Rio de Janeiro: ABNT, 2009.**, 2009.

AUGUSTO FILHO E VIRGILI. Estabilidade de Taludes. **Geologia de Engenharia. ABGE, São Paulo, 1998.**

AUGUSTO FILHO, Oswaldo. Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica. **Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas-COBRAE. Anais.**, 1992.

BRITTO, Carolina Bitencourt de; FIORI, Alberto Pio. Estabilidade de taludes rochosos em rodovias: análise da compartimentação estrutural de maciços. **2021. 72 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021.**

BUDHU, Muni. Soil Mechanics and Foundations. 2011.

COLÂNGELO, Antonio Carlos. Os parâmetros de resistência ao cisalhamento e a estabilidade das encostas no Planalto de Paraibuna e Serra de Caraguatatuba. **2015. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.**, 2012.

DAS, Braja M.; SOBHAN, Khaled. Principles of geotechnical engineering. **Cengage Learning**, v. 5, n. 1, 2012.

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION (FHWA). Soil nail walls reference manual: developed following AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, 7th edition. 2015.

FRENCH NATIONAL RESEARCH PROJECT CLOUTERRE. Clouterre 1991: recommendations for the design, construction and control of soil nailing. **Paris: Presses de l'École Nationale des Ponts et Chaussées, 1991.**, 1991.

GALVÃO, Terezinha Cássia de Brito *et al.* Bioengineering Techniques Associated with Soil Nailing Applied to Slope Stabilization and Erosion Control. **Natural Hazards Review**, v. 11, n. 2, 2010.

GRAY, Donald H.; LEISER, Andrew T. Grey e Leiser 1982. **Biotechnical slope protection and erosion control.**, 1982.

GUIDICINI E NIEBLE. Estabilidade de taludes naturais e de escavação. **Editora Blucher, 1984.**

HABERT, Guillaume *et al.* Reducing environmental impact by increasing the strength of concrete: Quantification of the improvement to concrete bridges. **Journal of Cleaner Production**, v. 35, 2012.

INFANTI JUNIOR, N. & FORNASARI FILHO, N. **Processos de Dinâmica Superficial**. In: OLIVEIRA, A.M.S. & BRITO, S.N.A. (Eds.). Geologia de Engenharia. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE), 1998. cap. 9, p.131-152.

MEHTA, Povindar Kumar; MONTEIRO, Paulo Jose Melaragno. Concreto: Propriedades e materiais. **IBRACON**, 2014.

MITCHELL, James K.; VILLET, Willem C. B. Reinforcement of earth slopes and embankments. **Washington, D.C.: U.S. Army Corps of Engineers**, 1987.

PORTOCARRERO, Hugo *et al.* Documentos 88 Aspectos Hidrológicos e Mecânicos da Vegetação na Estabilidade de Taludes e Encostas Naturais Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Embrapa Solos Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2006.

SCHIECHTL, H. M.; STERN, R. Water bioengineering techniques for watercourse bank and shoreline protection. **Blackwell Science**, 1997.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO CANADÁ; GFDRR. Manual de deslizamento: um guia para a compreensão de deslizamentos. 2004.

SILVA, A. D. Estudo Geotécnico e Análise da Estabilidade Não Saturada de Uma Encosta Pertencente à Formação Barreiras Localizada no Município de Jaboatão dos Guararapes - PE. 2024.

SOUZA. ANNA PAULA LEOPOLDO DE SOUZA ESTUDOS GEOTÉCNICOS E DE ESTABILIDADE DE TALUDES DA ENCOSTA DO ALTO DO PADRE CÍCERO NO MUNICÍPIO DE CAMARAGIBE-PE Recife. 2014.

VARNES, D. J. Slope movement types and processes. In: **SCHUSTER, R. L.; KRIZEK, R. J. (Ed.). Landslides: analysis and control. Washington, D.C.: Transportation Research Board, National Research Council, 1978**, v. 176, 1978.

WOLLE, C. M. Taludes Naturais - Mecanismos de Instabilização e Critérios de Segurança. **(Dissertação de Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.**, 1980.

ZIRLIS, A.; PITTA, G. Soil nailing (chumbamento de solos): experiência de uma equipe na aplicação. 1992.