



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

GABRIEL FELIPE ALBINO DE ASSIS FREIRE

**PROTEÇÃO SUPERFICIAL DE BAIXO CUSTO COM MATERIAIS ARTIFICIAIS
PARA CONTROLE DE EROSÃO EM TALUDES**

João Pessoa
2023

Gabriel Felipe Albino de Assis Freire

**PROTEÇÃO SUPERFICIAL DE BAIXO CUSTO COM MATERIAIS ARTIFICIAIS
PARA CONTROLE DE EROSÃO EM TALUDES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso Engenharia Civil do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, Campus João Pessoa, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Professor Dr. Fábio Lopes Soares, Dse.

João Pessoa

2023

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

F866p Freire, Gabriel Felipe Albino de Assis.
PROTEÇÃO SUPERFICIAL DE BAIXO CUSTO COM MATERIAIS
ARTIFICIAIS PARA CONTROLE DE EROSÃO EM TALUDES /
Gabriel Felipe Albino de Assis Freire. - João Pessoa,
2023.
55 f.

Orientação: Fábio Lopes Soares.
TCC (Graduação) - UFPB/CT.

1. talude. 2. erosão hídrica. 3. proteção
superficial. 4. baixo custo. I. Soares, Fábio Lopes.
II. Título.

UFPB/CT/BSCT

CDU 624(043.2)

FOLHA DE APROVAÇÃO

GABRIEL FELIPE ALBINO DE ASSIS FREIRE

PROTEÇÃO SUPERFICIAL DE BAIXO CUSTO COM MATERIAIS ARTIFICIAIS PARA CONTROLDE DE EROSÃO EM TALUDES

Trabalho de Conclusão de Curso em 09/11/2023 perante a seguinte Comissão Julgadora:

Fábio Lopes Soares APROVADO
Fábio Lopes Soares
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

Aline Flávia Nunes Remígio Antunes APROVADO
Aline Flávia Nunes Remígio Antunes
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

Clóvis Dias APROVADO
Clóvis Dias
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

Dedico este trabalho ao Engenheiro Civil Fernando César de Sousa Freire (*in memorian*), meu pai, por ter me mostrado todos os dias a beleza desta profissão, por me incentivar nos meus objetivos e por se doar pela sua família.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me conceder sabedoria, saúde e fé e, à Virgem Maria pela intercessão diária; fatores que foram de suma importância para que eu enfrentasse todos os obstáculos.

Aos meus pais e irmão, Fernando César de Sousa Freire, Geovana Karla Albino de Assis Freire e Fernando César de Sousa Freire Filho, pelo amor, incentivo e apoio incondicional ao decorrer do curso.

A minha namorada, Amanda Olímpio de Pontes, que esteve ao meu lado durante todo o processo de graduação, me apoiando e dando força nos momentos mais difíceis.

Aos meus amigos, Me. Matheus Lima de Paiva, Eduarda Ataíde Aquino, Genilson Gomes, Jânio Emerson, Matheus Marinho por trilharem junto a mim e me assistirem durante a graduação, especialmente, no processo de desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus avós, Abelci Daniel de Assis e Conceição de Maria Albino de Assis, Germano José Freire de Araújo e Iêda de Sousa Freire, por serem os pilares da minha família e por me dar suporte sempre que necessário.

Ainda, ao meu orientador, Profº Dr. Fábio Lopes Soares, por toda atenção prestada durante a graduação e todo o processo do Trabalho de Conclusão de Curso.

RESUMO

Taludes são definidos como inclinações e declives íngremes em um terreno ou superfície, e representam contextos geológicos de elevada suscetibilidade a processos erosivos. O estudo em torno de processos erosivos se fundamenta na necessidade de garantia de segurança em áreas de risco e preservação ambiental, e o elevado custo para medidas de combate a estes processos implica na importância de estudos que se proponham a investigar possibilidades de baixo custo, sobretudo em contextos de combate à erosão hídrica. Com base nisto, o presente estudo tem como objetivo investigar proteções superficiais de baixo custo para aplicação em taludes expostos. Para isto, materiais artificiais foram testados em termos de infiltrabilidade e resistência ao impacto da água, analisados por testes de infiltração e de escoamento superficial, respectivamente. A mistura cimento:água apresentou bons resultados em termos de tempo de infiltração, assim como boa espessura e resistência da camada de proteção superficial após os três testes. A mistura revelou, também, boa resistência ao processo de erosão hídrica. A mistura tinta:água apresentou, por outro lado, bons resultados em termos de tempo de infiltração, bem como espessura da camada de proteção superficial maior em comparação à mistura cimento:água, embora tenha apresentado custo mais elevado. A mistura revelou, também, boa resistência ao processo de erosão hídrica. Estes resultados contribuem para entendimento acerca do controle dos processos erosivos, bem como servem de incentivo para futuras pesquisas que tenham como objetivo encontrar possibilidades de baixo custo para combate a contextos de elevada suscetibilidade ao processo de erosão.

Palavras-chave: talude, erosão hídrica, proteção superficial, baixo custo

ABSTRACT

Slopes are defined as steep inclines and declivities on a terrain or surface, representing geological contexts highly susceptible to erosive processes. The study of erosive processes is grounded in the need to ensure safety in high-risk areas and environmental preservation. The high cost associated with measures to combat these processes underscores the importance of studies aimed at investigating low-cost possibilities, especially in the context of combating water erosion. Based on this, the present study aims to investigate low-cost surface protections for application on slopes located in high-risk areas. To achieve this, artificial materials were tested in terms of infiltrability and resistance to water impact, assessed through infiltration tests and surface runoff tests, respectively. The cement-water mixture yielded promising results in terms of infiltration time, as well as a good thickness and resistance of the surface protection layer after the three tests. The mixture also demonstrated strong resistance to water erosion. On the other hand, the paint-water mixture showed favorable results in terms of infiltration time, along with a greater thickness of the surface protection layer compared to the cement-water mixture, albeit at a higher cost. This mixture also exhibited strong resistance to the water erosion process. These findings contribute to an understanding of erosive processes and serve as an encouragement for future research aimed at identifying low-cost solutions to combat highly susceptible erosion scenarios.

Keywords: slope, water erosion, surface protection, low-cost

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Tipos de talude.....	14
Figura 2: Processos e formas erosivas.....	15
Figura 3: Efeito <i>splash</i> provocando o início do processo erosivo nas encostas.....	16
Figura 4: Fatores Condicionantes da Erosão.....	17
Figura 5: Tipos básicos de taludes.....	19
Figura 6: Revestimento cimentado em talude.....	22
Figura 7: Revestimento em tela argamassada.....	23
Figura 8: Revestimento com pano de pedras.....	24
Figura 9: Lona de contenção na Avenida Leste Oeste.....	25
Figura 10: Garrafa cortada utilizada para preenchimento com o solo.....	28
Figura 11: Tampa furada utilizada para permitir a passagem de água.....	29
Figura 12: Suporte fabricado para garrafa pet.....	29
Figura 13: Aplicação da proteção superficial.....	30
Figura 14: Adição de água sobre o solo.....	31
Figura 15: Copo com 100 ml de água.....	31
Figura 16: Mistura cimento e água para aplicação com pulverizador.....	32
Figura 17: Mistura cal e água para aplicação com pulverizador.....	33
Figura 18: Mistura cimento, cal e água para aplicação com pulverizador.....	34
Figura 19: Mistura tinta e água para aplicação com pulverizador.....	35
Figura 20: Materiais utilizados para realização do teste de escoamento superficial.....	36
Figura 21: Corpo de prova para teste de escoamento superficial com solo natural.....	37
Figura 22: Corpo de prova para teste de escoamento superficial com proteção superficial composta pela mistura cimento:água.....	38

Figura 23: Corpo de prova para teste de escoamento superficial com proteção superficial composta pela mistura tinta:água.....	39
Figura 24: Camada de proteção superficial da mistura cimento e água.....	42
Figura 25: Camada de proteção da mistura cal e água no 2º teste.....	43
Figura 26: Camada de proteção da mistura cimento, cal e água no 2º teste.....	44
Figura 27: Camada de proteção da mistura tinta e água.....	45
Figura 28: Resultado após simulação de chuva. À esquerda, corpo de prova sem proteção superficial. À direita, partículas de solo carregadas pela água.....	46
Figura 29: Resultado após simulação de chuva. À esquerda, corpo de prova com proteção superficial cimento:água. À direita, partículas de solo carregadas pela água.....	47
Figura 30: Resultado após simulação de chuva. À esquerda, corpo de prova com proteção superficial tinta:água. À direita, partículas de solo carregadas pela água.....	47
Figura 31: Gráfico da curva granulométrica do solo em estudo.....	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Coeficientes de escoamento superficial.....	21
Tabela 2. Composição de custos.....	39
Tabela 3. Tempo de infiltração na solo natural.....	41
Tabela 4. Tempo de infiltração na mistura cimento e água.....	41
Tabela 5: Tempo de infiltração na mistura cal e água.....	42
Tabela 6: Tempo de infiltração na mistura cimento, cal e água.....	43
Tabela 7: Tempo de infiltração na mistura tinta e água.....	45
Tabela 8: Resultado do peneiramento grosso.....	48
Tabela 9: Resultado do peneiramento fino.....	49
Tabela 10: Resumo da granulometria.....	50

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
1.1 Justificativa.....	12
1.2 Objetivo.....	13
1.2.1 Objetivo geral.....	13
1.2.2 Objetivos específicos.....	13
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
2.1 Talude.....	14
2.2 Erosão.....	15
2.3 Fatores condicionantes da erosão.....	17
2.3.1 Clima.....	18
2.3.2 Geologia.....	18
2.3.3 Relevo.....	19
2.3.4 Solo.....	20
2.3.5 Vegetação.....	20
2.4 Proteção superficial de taludes.....	21
2.4.1 Revestimento cimentado.....	22
2.4.2 Revestimento com tela argamassada.....	23
2.4.3 Revestimento com face de pedra ou lajota.....	24
2.4.4 Revestimento com lonas sintéticas.....	25
2.5 O cimento.....	26
2.6 A cal.....	27
2.7 A tinta.....	27
3. METODOLOGIA.....	28
3.1 Procedimentos.....	28
3.1.1 Teste de Infiltração.....	29
3.1.1.1 Solo Natural.....	33
3.1.1.2 Cimento e água.....	33
3.1.1.3 Cal e água.....	34
3.1.1.4 Cimento, cal e água.....	35
3.1.1.5 Tinta e água.....	35
3.1.2 Teste de Escoamento Superficial.....	36
3.1.2.1. Solo Natural.....	38
3.1.2.2. Cimento e Água.....	38
3.1.2.3. Tinta e Água.....	39
3.2. Composição de custo.....	40
3.3. Análise dos Resultados.....	41
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	42
4.1. Testes de Infiltração.....	42
4.1.1. Solo Natural.....	42

4.1.2. Cimento e Água.....	42
4.1.3. Cal e Água.....	43
4.1.4. Cimento, Cal e Água.....	44
4.1.5. Tinta e Água.....	46
4.2. Testes de Escoamento Superficial.....	47
4.2.1. Solo Natural.....	47
4.2.2. Cimento e Água.....	47
4.2.3. Tinta e Água.....	48
4.3 Caracterização do solo.....	49
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	52
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	53

1. INTRODUÇÃO

O processo erosivo é a resultante do desgaste do solo e do deslocamento de suas partículas, ocorrendo devido à ação de agentes naturais, tais como chuva, vento, gelo ou mar, e também por intervenções humanas, como a ocupação desordenada de áreas propícias à erosão.

Nos últimos anos, as consequências dos processos erosivos têm desencadeado uma extensa pesquisa e discussão, tanto em ambientes rurais como urbanos. Isso se concentra na análise dos parâmetros e mecanismos que desempenham um papel na erosão, bem como nas medidas potenciais a serem implementadas para prevenir e controlar as áreas afetadas.

A importância do estudo em torno dos processos erosivos se sustenta na necessidade da garantia de segurança em áreas de risco, preservação ambiental, proteção contra desastres naturais etc. O combate a processos erosivos é, portanto, fundamental.

Um contexto geológico em que o combate a processos erosivos se faz necessário é o talude, definido como uma inclinação ou declive íngreme em um terreno ou superfície. As características de um talude o tornam mais suscetível a processos erosivos, e esta suscetibilidade é diretamente influenciada pelo ângulo formado em relação ao plano horizontal e pelo fator climático, especialmente as chuvas.

Embora possa parecer simples à primeira vista, a erosão hídrica é notável pela complexidade dos mecanismos envolvidos. É fundamental compreender, acima de tudo, a multiplicidade e a interdependência dos fatores condicionantes, tais como o clima, a topografia, o tipo de solo e a vegetação.

1.1 Justificativa

O presente estudo se justifica pela escassez de pesquisas que se proponham a investigar a utilização de materiais de baixo custo para o combate de processos erosivos.

1.2 Objetivo

1.2.1 Objetivo geral

Investigar proteções superficiais de baixo custo para aplicação em taludes expostos.

1.2.2 Objetivos específicos

- Comparar a infiltrabilidade do solo natural com a do solo protegido superficialmente
- Analisar a eficácia da mistura ao escoamento superficial das águas
- Comparar o custo-benefício das misturas testadas

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Talude

Pode ser definido como talude uma superfície inclinada de um maciço de solo ou rocha com a presença de uma angulação referente ao plano horizontal. Os taludes têm sua formação por meio de processos naturais, formando morros e encostas, ou por meio artificial, provenientes da ação humana, após a execução de cortes e aterros (Caputo, 1988; Neis e Silva, 2018), como mostra a Figura 1.

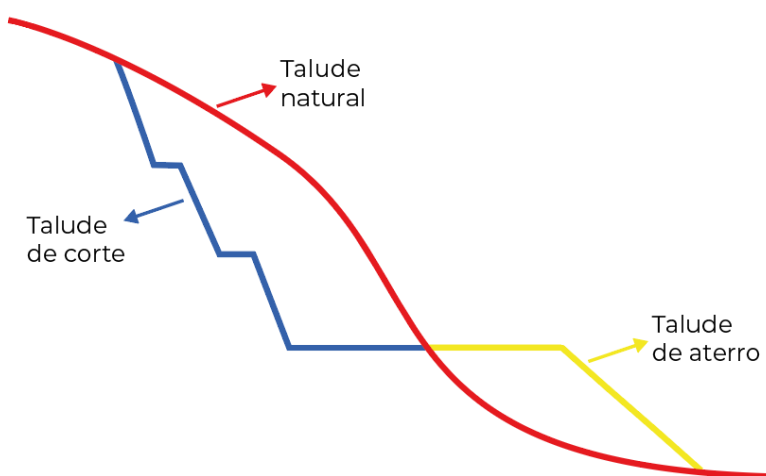


Figura 1: Tipos de talude. Fonte: Autor.

Os taludes naturais são originados como o resultado das ações naturais ao longo do tempo, sendo constituído por solos residuais, solos coluvionares (resultante do transporte de partículas) e rochas, estando sempre sujeitos aos problemas de instabilidade, pois naturalmente as forças gravitacionais contribuem para a deflagração do movimento, Gerscovich (2012).

Por outro lado, os artificiais são resultantes dos processos construtivos, como o corte e o aterro. Estes, são muito comuns na construção de rodovias e barragens, onde é necessário o conhecimento do solo natural para que tenham tanto a angulação do corte, como a compactação do aterro executados de maneira com que se mantenham estáveis.

2.2 Erosão

A erosão é o principal fator responsável pela degradação dos solos. Esse processo envolve a remoção e o transporte de partículas do solo, e pode ser resultado de fenômenos naturais que contribuem para a formação do solo ao longo do tempo. Conforme mencionado por Mortari (1994), a erosão pode se manifestar de forma acelerada ou natural. A erosão acelerada ocorre quando há um desequilíbrio entre os processos de formação do solo, ou seja, a erosão ocorre mais rapidamente do que a formação do solo. Por outro lado, a erosão natural, também chamada de erosão geológica, acontece quando há um equilíbrio entre a taxa de formação do solo e o processo erosivo, resultando em uma compensação do solo que é removido durante o processo de formação.

Como citado por Jesus (2013), entre os tipos de erosão existem a eólica, hídrica e glacial. A erosão eólica ocasionada pela ação dos ventos; a hídrica causada pela ação das águas, sendo subdividida em fluvial, quando a água é proveniente de rios, pluvial, quando o agente erosivo se dá por águas provenientes das chuvas; e glacial, onde o agente é o gelo, como mostra a Figura 2.

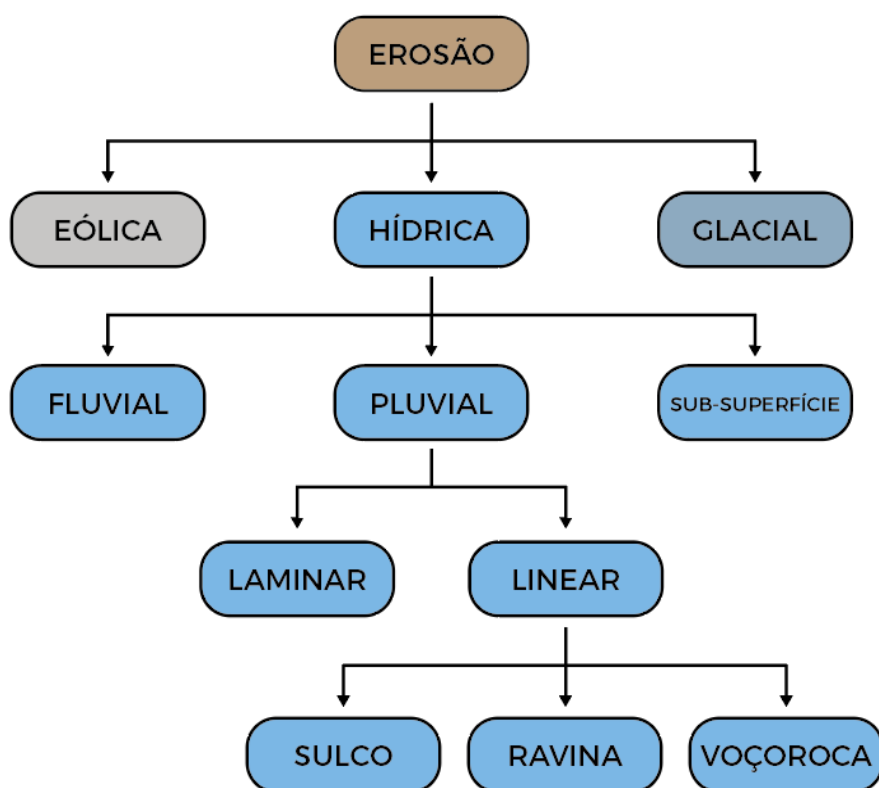


Figura 2: Processos e formas erosivas. Fonte: JESUS, 2013 (modificado pelo Autor)

Com base no estudo realizado será considerada apenas a erosão hídrica pluvial, que tem como agente atuante as águas em forma de chuva, tendo a erosão por meio do impacto das gotas de chuva no solo resultando no efeito *splash*, principalmente onde não há cobertura vegetal, ocasionando a desagregação entre as partículas do solo (Figura 3). Conforme Camapum de Carvalho (2006), quando a intensidade da chuva excede a capacidade de infiltração do solo ocorre o escoamento superficial, transportando as partículas soltas (Figura 3). Pode ser classificada em laminar ou linear, como mostrado na Figura 1.



Figura 3: Efeito *splash* provocando o início do processo erosivo nas encostas. Fonte: BRIZZI, 2018. (modificado pelo Autor).

De acordo com Salomão (2010), a maneira como ocorre o escoamento superficial ao longo do solo é o que irá caracterizar a erosão. Podendo ocorrer uma remoção gradual e relativamente uniforme das camadas superficiais do solo devido ao escoamento das águas da chuva como uma lâmina sobre o solo, caracterizando a erosão laminar. Ou o escoamento superficial pode resultar na formação de pequenas incisões na superfície do terreno devido à concentração das linhas de fluxo das águas da chuva, o que configura o estágio inicial da erosão linear, manifestado na forma de sulcos.

Foster (1981), classifica as erosões lineares como sendo sulcos até 300 milímetros de profundidade e seu aprofundamento se torna uma ravina, concomitantemente, Salomão (2010) menciona que se ocorrer a influência das águas superficiais juntamente com as águas subsuperficiais se caracteriza uma voçoroca.

2.3 Fatores condicionantes da erosão

O início do processo erosivo tem como características os elementos climáticos, geológicos, geomorfológicos, pedológicos e da cobertura vegetal (Jesus, 2013; Silva et al., 2003; Almeida Filho & Ridente Júnior, 2001; Infanti Junior & Fornasari Filho, 1998; Iwasa & Fendrich, 1998; Salomão & Iwasa, 1995; IPT, 1991; DAEE & IPT, 1990). Após o início do processo erosivo, a configuração e intensidade do desenvolvimento da erosão serão influenciados pelos elementos do ambiente físico. A Figura 4 ilustra os fatores condicionantes da erosão associados a cada um desses elementos no âmbito de conjunto.

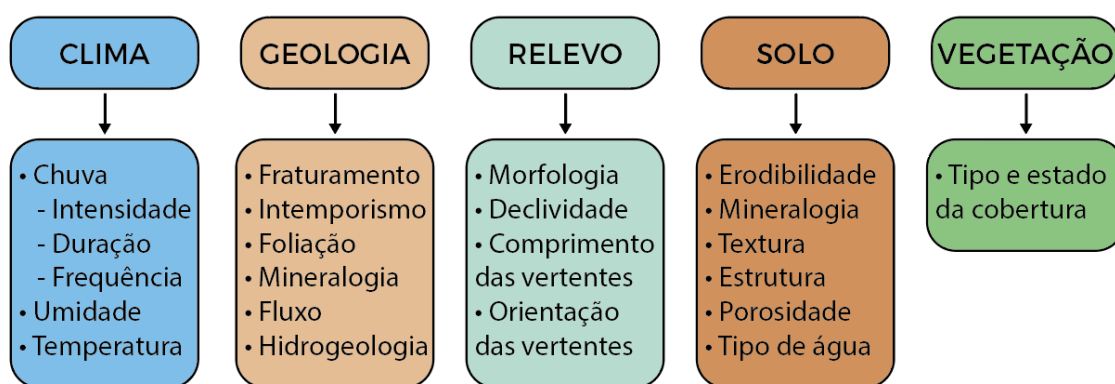


Figura 4: Fatores Condicionantes da Erosão. Fonte: JESUS, 2013 (modificado pelo Autor)

2.3.1 Clima

Segundo Jesus (2013), a chuva é o principal contribuinte do clima para o processo erosivo, onde ocorre o efeito *splash* (Figura 3), que desagrega as partículas do solo, que com a ação dos ventos pode intensificar ou moderar tal efeito e consequentemente a duração e a frequência das chuvas também influenciará na lâmina d'água acima do solo e, logo, no escoamento superficial.

De acordo com as afirmações de Almeida Filho & Ridente Júnior (2001), a erosão causada pela chuva está intrinsecamente ligada à sua distribuição e intensidade ao longo do tempo e no espaço. Bertoni e Lombardi (1985), destaca a influência da duração, intensidade e frequência da chuva como sendo os fatores mais significativos no processo erosivo. Chuvas mais intensas, prolongadas e

frequentes resultam em enxurradas de maior volume, o que, por sua vez, leva a uma maior perda de solo. Moreira & Pires Neto (1998), afirma que chuvas de maior duração e menor intensidade causam danos menos significativos em comparação com chuvas de curta duração e alta intensidade.

2.3.2 Geologia

A formação do solo interfere diretamente na erosividade, pois as características da rocha parental irão determinar suas propriedades. Entre as mais importantes para o processo erosivo destacam-se o grau de fraturamento, a intensidade do intemperismo e a natureza do material (Jesus, 2013).

2.3.3 Relevo

O impacto do relevo está vinculado diretamente ao formato, a declividade e comprimento dos taludes, tendo como principal agravante as chuvas, pois quanto maior o declive, maior será a velocidade do escoamento e conseqüentemente, mais partículas de solo são transportadas, podendo ser potencializado pelo comprimento do talude. O formato influencia de formas distintas, podendo apresentar superfícies convexas, retilíneas e côncavas, como mostra a Figura 5. Os taludes com curvas de nível côncava e perfil côncavo e, com curvas de nível côncava e perfil convexo, são concentradoras do fluxo superficial. Por outro lado, os taludes com as curvas de nível convexas e perfil convexo e, com curvas de nível convexas e perfil côncavo, fazem as linhas de fluxo d'água serem mais dispersas. Logo, os taludes com curvas de nível côncava e perfil côncavo e, com curvas de nível côncava e perfil convexo, são mais suscetíveis a ocorrência de incisões erosivas (Jesus, 2013).

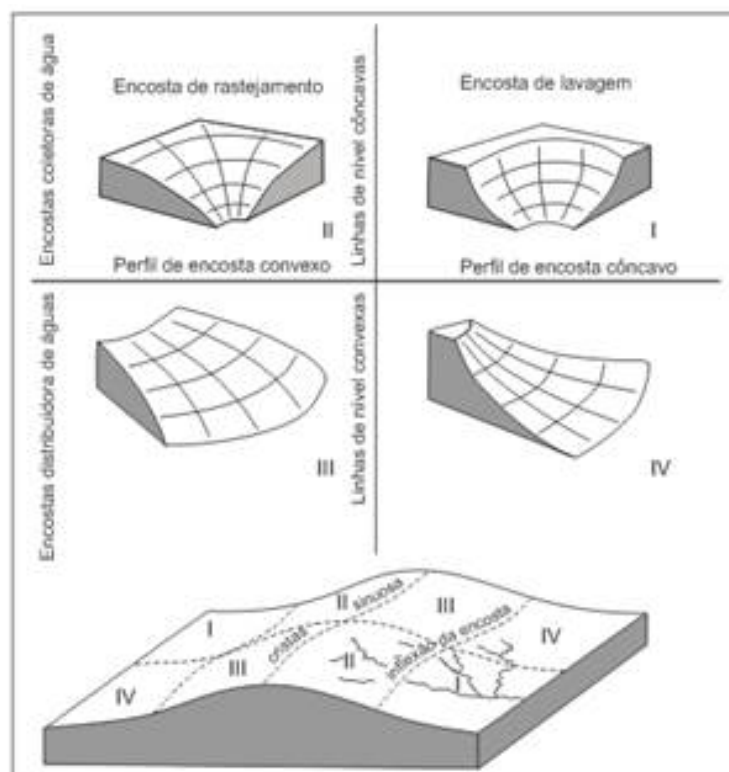


Figura 5: Tipos básicos de taludes. Fonte: Troeh, (1965 apud Casseti, 2005).

Bertoni & Lombardi Neto (1999) compararam a relação entre o comprimento e a declividade de encostas, concluindo que um terreno com 20 metros de comprimento com 20% de declividade apresenta a mesma perda de solo que um terreno com 180 metros de comprimento com 1% de declividade, nas mesmas condições de chuva, tipo de solo e tipo de cobertura e manejo.

2.3.4 Solo

O solo é o principal ponto da erosão, pois além de influenciar também é afetado pelo processo. Dentre as características que afetam sua erodibilidade (capacidade do solo de resistir à erosividade das chuvas), Jesus (2013) destaca a composição químico mineralógica, presença de matéria orgânica, textura, estrutura e umidade. Onde estes fatores interferem na estabilidade estrutural do solo e na sua permeabilidade, que são determinantes para sua resistência no processo de erosão.

Segundo Jesus (2013), a composição mineralógica concede ao solo sua coesão real e é definidora da sua capacidade de expansão e contração, a textura determina o grau de dificuldade para o transporte dessas partículas, as mais finas

quando vencida a força de coesão, são deslocadas com facilidade e as maiores são mais resistentes a erosão, a estrutura determina a organização das partículas de argila, silte e areia separadamente, variando sua resistência frente ao processo erosivo e a umidade em que o solo se encontra afeta a resistência com a capilaridade que confere a coesão aparente e na infiltrabilidade de água no solo causando o escoamento superficial.

Guerra & Botelho (1996), afirmam que os solos que apresentam maior potencial erosivo são os que possuem menor coesão e menor peso para combater a força do escoamento superficial das águas, como a areia fina e o silte. Com isso, as partículas com coesão demonstram maior resistência aos processos erosivos, como as argilas, especialmente quando se aglomeram com matéria orgânica para formar agregados estáveis. Além disso, há frações granulométricas que possuem diâmetros maiores sendo mais pesadas, o que dificulta a influência da água e contribui para uma resistência significativa à erosão, um exemplo são as areias grossas.

2.3.5 Vegetação

A cobertura vegetal do solo dificulta o processo erosivo causado pela água, sendo responsável pela proteção do solo contra os impactos das gotas de chuva, pela dispersão da energia do escoamento superficial, pelo aumento da infiltração da água nos poros produzidos, pelo sistema radicular e pelo aumento da capacidade de retenção da água (Jesus, 2013; Salomão & Iwasa, 1995). Silva (2003), destaca a importância da serapilheira agindo como barreira para impedir a formação de linhas de escoamento.

A importância da cobertura vegetal contra a ação erosiva é observada quando compara-se o coeficiente de escoamento entre diferentes tipos de cobertura do solo, como mostra a Tabela 1. Onde o valor do coeficiente de escoamento no solo com cobertura vegetal tem valores menores do que os demais obtidos.

Tabela 1: Coeficientes de escoamento superficial.

Natureza da Superfície	Valores de C
Telhados perfeitos, sem fuga	0,70 a 0,95
Superfícies asfaltadas e em bom estado	0,85 a 0,90
Pavimentações de paralelepípedos, ladrilhos ou blocos de madeira com juntas bem tomadas	0,75 a 0,85
Para superfícies anteriores sem juntas tomadas	0,50 a 0,70
Pavimentações de blocos inferiores sem juntas tomadas	0,40 a 0,50
Estradas macadamizadas	0,52 a 0,60
Estradas e passeios de pedregulho	0,15 a 0,30
Superfícies não revestidas, pátios de estrada de ferro e terrenos descampados	0,10 a 0,30
Parques, jardins, gramados e campinas, dependendo da declividade do solo e natureza do subsolo	0,01 a 0,20

Fonte: Villela & Mattos, 1975.

2.4 Proteção superficial de taludes

A proteção superficial em taludes é uma das soluções de prevenção à ação erosiva a fim de reduzir a incidência de infiltração no talude. As proteções superficiais podem ser categorizadas com base nos materiais utilizados, que podem ser naturais ou artificiais. A seleção do material apropriado está condicionada às características do solo e à topografia da região, visando simplificar a implementação da proteção e garantir sua manutenção futura (Alheiros, 2003).

No trabalho em questão foram estudados métodos de proteção superficial artificial. Onde normalmente mostram melhores rendimentos e vida útil, principalmente quando executados juntamente com o retaludamento e ajuste da microdrenagem. Diminuindo a infiltração de água no maciço e promovendo o escoamento superficial sem o transporte de partículas do solo.

2.4.1 Revestimento cimentado

O revestimento cimentado em taludes é composto por uma mistura de cimento Portland, areia e água, na proporção 1:3, sendo possível empregar o solo natural do próprio maciço, desde que esteja livre de matéria orgânica e de partículas retidas na

peneira de 4,8 mm. Quando se utiliza o solo do talude nessa condição, ele é também conhecido como solo-cimento (Cunha, 1991). Os materiais devem ser misturados até que uma uniformidade na cor seja obtida. É crucial aplicar e compactar imediatamente o solo-cimento, assegurando que não ultrapasse mais do que 3 horas entre o momento em que o cimento é incorporado e a conclusão do revestimento. A aplicação da mistura deve iniciar na base do talude e progredir em direção à sua crista, seguindo a forma da seção projetada. Se o revestimento estiver sendo executado em degraus ou bermas, é imperativo empregar fôrmas de madeira nos quais a mistura será despejada.



Figura 6: Revestimento cimentado em talude. Fonte: INTEC.

2.4.2 Revestimento com tela argamassada

O revestimento da tela argamassada em taludes consiste em preencher e revestir uma malha de tela galvanizada com uma argamassa feita de cimento Portland e areia, na proporção de 1:3. A tela é fixada ao talude por meio de ganchos

e, em seguida, começa-se a aplicação de uma camada de chapisco com argamassa de cimento e areia, também na proporção de 1:3. Essa etapa deve continuar até que a malha de tela galvanizada seja completamente coberta, assegurando que fique completamente envolvida pela argamassa. A argamassa deve ser aplicada sobre o talude com uma espessura de 4 cm, começando na base e seguindo em direção à crista do talude, seguindo o perfil projetado (Figura 7).



Figura 7: Revestimento em tela argamassada. Fonte: Arthur Mota (Folha de Pernambuco).

2.4.3 Revestimento com face de pedra ou lajota

O revestimento com pano de pedra ou lajota envolve o uso de blocos de rocha que foram cuidadosamente talhados para apresentar uma forma regular e um tamanho adequado, geralmente variando entre 20 e 40 centímetros. Esses blocos são aplicados sobre um talude que foi previamente limpo e nivelado. Eles são dispostos de forma ordenada sobre o talude e unidos através do uso de argamassa, que é preparada com uma proporção de cimento e areia de 1:3. Essa técnica cria uma superfície estável e impermeável que protege o talude contra a erosão. Para

garantir a máxima aderência entre as pedras e o solo natural, é recomendado que a face mais afiada dos blocos seja cravada na superfície a ser protegida. Em situações em que o talude apresenta uma inclinação acentuada ou a área de aplicação é muito extensa, pode ser necessário estabelecer uma base contínua antes de iniciar o revestimento, a fim de garantir a estabilidade adequada (Figura 8) (Cunha, 1991).



Figura 8: Revestimento com pano de pedras. Fonte: FIDEM-PE (2003).

2.4.4 Revestimento com lonas sintéticas

O revestimento com lonas sintéticas é amplamente utilizado durante os períodos de inverno, principalmente em situações de emergência, nos morros da Região Metropolitana do Recife, embora sempre suscite debates quanto à sua eficácia e utilização. A sua vida útil é relativamente curta, variando de semanas a alguns meses, e proporciona resultados mais satisfatórios quando aplicado corretamente. A aplicação dessas lonas deve ocorrer antes que a encosta esteja saturada de água, pois desempenha um papel significativo na redução do volume de

água infiltrada, minimizando assim o risco de deslizamentos e acidentes. No entanto, essas lonas devem ser retiradas assim que as condições de segurança permitirem (Figura 9).



Figura 9: Lona de contenção na Avenida Leste Oeste. Fonte: Isabela Keyla Silva (Defesa Civil de Maceió), 2021.

2.5 O cimento

O cimento é um material em pó, geralmente cinza, que serve como aglutinante hidráulico em misturas de concreto e argamassa. É um dos principais ingredientes na construção civil e é usado para unir materiais de construção, como areia, pedras e outros agregados, formando estruturas sólidas e resistentes. Sendo composto principalmente de três elementos, o calcário que fornece o carbonato de cálcio, a argila que contém sílica, alumina e óxido de ferro e minério de ferro que é adicionado para fornecer óxido de ferro.

O processo de fabricação do cimento pode ser resumido em algumas etapas principais sendo: a extração de matérias-primas, como o calcário, a argila e o

minério de ferro que são extraídos de minas e pedreiras; a moagem e mistura, onde as matérias-primas são moídas em partículas finas e misturadas para criar uma farinha crua; o cozimento, onde a farinha crua é aquecida em fornos rotativos a altas temperaturas, transformando-a em clínquer; a moagem do clínquer, onde o clínquer é moído até se transformar em um pó fino, que é o cimento; e quando necessário a adição de gesso para controlar o tempo de endurecimento.

2.6 A cal

A cal é um material amplamente utilizado na construção civil e em várias outras aplicações devido às suas propriedades químicas e físicas úteis. Ela tem sido usada há milhares de anos e desempenha um papel importante na história da construção. Existem dois tipos principais de cal, a cal virgem (cal viva ou cal não extinta) que é produzida aquecendo calcário a altas temperaturas em um processo chamado de calcinação. Isso resulta na liberação de dióxido de carbono e na produção de óxido de cálcio (CaO), que é conhecido como cal virgem sendo altamente reativa com água e é usada principalmente para a fabricação de cal extinta o que causa uma reação química exotérmica, transformando-a em hidróxido de cálcio [Ca(OH)_2]. A cal extinta é menos reativa que a cal virgem e é usada em várias aplicações na construção e em outros setores.

A cal tem uma ampla gama de aplicações. Na argamassa a cal é frequentemente usada fazendo uma mistura de cal, cimento, areia e água que é usada para unir tijolos ou pedras em alvenaria ajudando a melhorar a trabalhabilidade da argamassa e promove a aderência. No estuque, a cal é usada na preparação, sendo um revestimento aplicado em superfícies de parede para proporcionar uma aparência lisa e durável. Em pintura, é usada para fazer tintas à base de cal, que são aplicadas em paredes para proporcionar uma aparência decorativa e tradicional. Na agricultura, a cal é usada para corrigir a acidez do solo, melhorar a qualidade do solo e fornecer cálcio às plantas. Em tratamento de água e efluentes para neutralizar a acidez, remover impurezas e melhorar a qualidade da água.

2.7 A tinta

Tinta é uma substância líquida ou em pó que é aplicada em superfícies para dar cor, proteção e acabamento. Ela é amplamente utilizada na indústria, na construção civil, na arte, na decoração e em muitos outros campos. Sendo compostas por três partes principais: pigmentos, veículo e solvente. Os pigmentos são sólidos em pó que fornecem a cor à tinta. O veículo é o líquido que mantém os pigmentos em suspensão e adere à superfície quando seca. O solvente é usado para diluir a tinta e facilitar a aplicação, mas ele evapora quando a tinta seca.

Existem muitos tipos diferentes de tintas, cada uma projetada para fins específicos. Alguns exemplos incluem tintas à base de água, tintas a óleo, tintas acrílicas, tintas epóxi, tintas látex, entre outras. Cada tipo de tinta tem suas próprias características e aplicações ideais.

A tinta utilizada para esse estudo foi a Suvinil Rende & Cobre Muito, tendo a sua composição água, resina à base de dispersão aquosa de copolímero estireno-acrílico, pigmentos isentos de metais pesados, cargas minerais inertes, glicóis, espessantes, tensoativos, fungicida, bactericida à base de isotiazolonas, mistura de: 5-cloro-2-metil-2H-isotiazol-3-ona e 2-metil-2H-isotiazol-3-ona (3:1), usualmente utilizada para tinta de acabamento interno e/ou externo.

3. METODOLOGIA

3.1 Procedimentos

São apresentados, nesta seção, todos os testes realizados na presente pesquisa.

3.1.1 Teste de Infiltração

Nesta etapa, o objetivo foi testar e comparar o tempo de infiltração da água no solo natural e os solos com as proteções superficiais: a) cimento + água; b) cal + água; c) cimento + cal + água; d) água + tinta. O qual foi realizado com o auxílio de uma garrafa pet onde o fundo foi cortado (Figura 10). Foram feitos 5 (cinco) furos padronizados na tampa com intuito de permitir a passagem da água (Figura 11) e um suporte feito com cano de PVC de 100 milímetros (Figura 12).



Figura 10: Garrafa cortada utilizada para preenchimento com o solo. Fonte: Autor.



Figura 11: Tampa furada utilizada para permitir a passagem de água. Fonte: Autor.



Figura 12: Suporte fabricado para garrafa pet. Fonte: Autor.

Para a realização do teste, foi utilizada a amostra de solo do mesmo local. Foi adicionado aproximadamente 1.500 g (mil e quinhentas gramas) de solo na garrafa pet, e então adicionadas as proteções superficiais destinadas a cada garrafa utilizando um borrifador de mão (Figura 13). Adotou-se como tempo de secagem total do material 48 horas, tempo necessário de endurecimento para a realização dos testes.



Figura 13: Aplicação da proteção superficial. Fonte: Autor.

Após o período de secagem do material, foi possível o início do teste de infiltração. Foi colocado sobre o solo 600 ml (seiscentos mililitros) de água (Figura 14). O teste adota como resultado o tempo em que a primeira gota de água cai no recipiente, que se localiza abaixo da garrafa, e o tempo em que o recipiente chega aos 100 ml (cem mililitros) (Figura 15). A testagem foi repetida para o mesmo corpo de prova com o solo seco, com o solo após 4 (quatro) dias do primeiro teste, e 7 (sete) dias após o segundo teste.



Figura 14: Adição de água sobre o solo. Fonte: Autor.

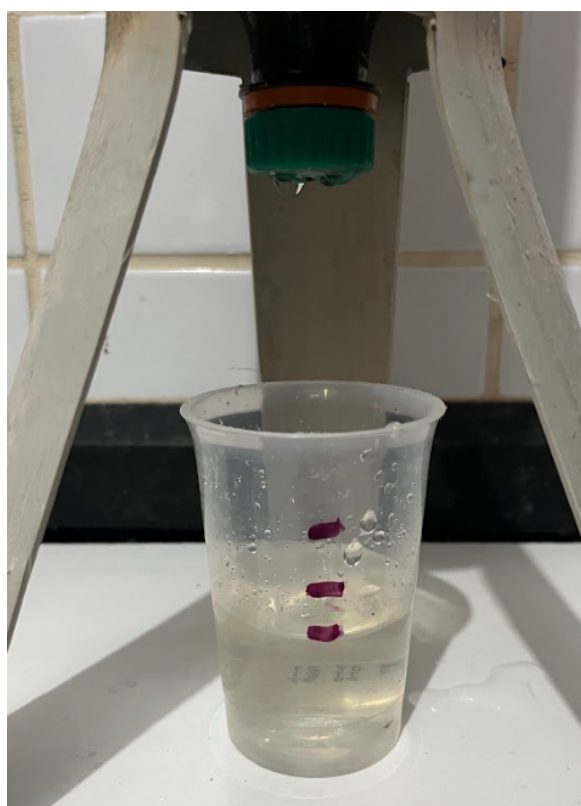


Figura 15: Copo com 100 ml de água. Fonte: Autor.

3.1.1.1 Solo Natural

Como parâmetro de eficácia de cada mistura em termos de infiltrabilidade, foi tomado como base o teste de infiltração com solo natural, i.e., corpo de prova sem proteção superficial.

3.1.1.2 Cimento e água

Para a calda de cimento, foi utilizado e comparado 3 (três) diferentes diluições de cimento:água (1:20, 1:30 e 1:40). Todas as diluições tiveram como composição a mistura do cimento portland tipo II com adição de Fíler com classe de resistência à compressão de 32 MPa (CP II F 32) e água da rede de abastecimento residencial, onde foi obtido uma mistura homogênea líquida (Figura 16) para a aplicação com o auxílio de pulverizador, rendendo aproximadamente 4L/m² (quatro litros por metro quadrado).



Figura 16: Mistura cimento e água para aplicação com pulverizador. Fonte: Autor.

Após feita a mistura, seguiu-se os passos descritos no item 3.1.1, com objetivo de identificar os tempos em minutos necessários para o 1º pingo e para os 100 ml (cem mililitros). Ao término de todos os testes foi retirada a amostra do corpo de prova, com objetivo de observar a camada de proteção feita pela mistura.

3.1.1.3 Cal e água

Visando uma melhor comparação com as demais misturas em termos de custo e eficiência, adotou-se, para a mistura de cal e água, a diluição de 1:20, composta de cal hidratada e água da rede de abastecimento residencial, obtendo-se uma mistura homogênea líquida (Figura 17) para a aplicação com o auxílio de pulverizador.



Figura 17: Mistura cal e água para aplicação com pulverizador. Fonte: Autor.

Após feita a mistura foi realizado o 1º (primeiro) teste, com objetivo de identificar os tempos em minutos necessários para o 1º pingo e para os 100 ml (cem mililitros).

3.1.1.4 Cimento, cal e água

Para a mistura cimento, cal e água, foram utilizadas 2 (duas) diferentes diluições: 1:2:30 e 1:2:40. Tais diluições tiveram como composição a mistura do cimento portland tipo II com adição de Fíler com classe de resistência à compressão de 32 MPa (CP II F 32), cal hidratada e água da rede de abastecimento residencial, onde foi obtido uma mistura homogênea líquida (Figura 18) para a aplicação com o auxílio de pulverizador.



Figura 18: Mistura cimento, cal e água para aplicação com pulverizador. Fonte: Autor.

3.1.1.5 Tinta e água

Para a mistura de tinta e água, foi empregada a diluição de 1:20, para uma melhor comparação com as demais misturas em termos de custo e eficiência, sendo composta por tinta SUVINIL e água da rede de abastecimento residencial. Obteve-se uma mistura homogênea líquida (Figura 19) para a aplicação com o

auxílio de pulverizador, rendendo aproximadamente 4L/m² (quatro litros por metro quadrado).



Figura 19: Mistura tinta e água para aplicação com pulverizador. Fonte: Autor.

Após feita a mistura, seguiu-se os passos descritos no item 3.1.1, com objetivo de identificar os tempos em minutos necessários para o 1º pingo e para os 100 ml (cem mililitros). Ao término de todos os testes foi retirado a amostra do corpo de prova, onde foi possível observar a camada de proteção feita pela mistura.

3.1.2 Teste de Escoamento Superficial

Nesta etapa, o objetivo foi analisar a quantidade de partículas de solo que a água carrega em diferentes misturas (cimento + água; tinta + água), realizada com auxílio de um recipiente retangular, medindo 19,5 centímetros de largura, 29 centímetros de comprimento e 5 centímetros de altura, um regador adaptado com

auxílio de uma garrafa pet de 2 litros e um recipiente para coleta do solo carregado (Figura 20).



Figura 20: Materiais utilizados para realização do teste de escoamento superficial. Fonte: Autor.

Em primeiro lugar, o recipiente retangular foi preenchido com o solo. Em seguida, aplicou-se a proteção superficial, e então foi determinado o tempo de 48 horas para secagem do material. Finalmente, com auxílio de um regador adaptado com auxílio de uma garrafa pet de 2 litros, foi simulada uma chuva sobre o solo para observação do escoamento superficial causado pela água.

Optou-se, também, pela exclusão das misturas que apresentam cal em sua composição, em virtude da baixa eficácia observada nos testes de infiltração.

3.1.2.1. Solo Natural

Como parâmetro de eficácia de cada mistura em termos de resistência ao escoamento superficial em contexto de erosão hídrica, foi tomado como base o teste de escoamento superficial com solo natural, i.e., corpo de prova sem proteção superficial (Figura 21).



Figura 21: Corpo de prova para teste de escoamento superficial com solo natural. Fonte: Autor.

3.1.2.2. Cimento e Água

O procedimento de fabricação da mistura foi o mesmo utilizado no item 3.1.1.2. A escolha da diluição 1:20 para análise no presente teste foi realizada em função do melhor custo-benefício e aplicado com o auxílio de um pulverizador de mão (Figura 22).



Figura 22: Corpo de prova para teste de escoamento superficial com proteção superficial composta pela mistura cimento:água. Fonte: Autor.

3.1.2.3. Tinta e Água

O procedimento de fabricação da mistura foi o mesmo utilizado no item 3.1.1.5. com diluição tinta:água 1:20 e aplicado com o auxílio de um pulverizador de mão (Figura 23).



Figura 23: Corpo de prova para teste de escoamento superficial com proteção superficial composta pela mistura tinta:água. Fonte: Autor.

3.2. Composição de custo

Para a composição dos valores de cada mistura foi consultado os valores de cada material necessário em lojas de materiais de construção e foi utilizado um valor médio sendo comparado com a quantidade de água que a mistura necessita para cada diluição e com isso obtém-se o valor de reais por litro (R\$/L). Como mostra a Tabela 2.

Tabela 2: Composição de custos.

MATERIAL	DILUIÇÃO	MATERIAL	VALOR	ÁGUA (L)	R\$ / L
SOLO NATURAL	-	-	-	-	-
TINTA : ÁGUA	01:20	18 L	R\$ 150,00	360	R\$ 0,42
CIMENTO : ÁGUA	01:20	50 kg	R\$ 38,00	1000	R\$ 0,04
	01:30	50 kg	R\$ 38,00	1500	R\$ 0,03
	01:40	50 kg	R\$ 38,00	2000	R\$ 0,02
CAL : ÁGUA	01:20	20 kg	R\$ 18,79	400	R\$ 0,05
CIMENTO : CAL : ÁGUA	01:02:30	1 + 2	R\$ 75,58	2100	R\$ 0,04
	01:02:40	1 + 2	R\$ 75,58	2800	R\$ 0,03

Fonte: Autor.

3.3. Análise dos Resultados

Para análise dos parâmetros de infiltração, foram comparados os tempos da primeira gota e dos 100ml (cem mililitros) identificados com o auxílio de um cronômetro em cada mistura dos testes de infiltração.

Para observação da suscetibilidade a processos erosivos, foi verificado, em cada mistura testada, se houve carregamento de partículas do solo pelo escoamento superficial da água, observando o reservatório colocado para reter a água escoada e visualmente pela formação de sulcos.

Para cada teste realizado, foi realizada uma composição de preço com objetivo de comparar os custos para aplicação de cada mistura.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Testes de Infiltração

4.1.1. Solo Natural

Os resultados referentes ao teste de infiltração com a mistura cimento:água são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Tempo de infiltração no solo natural.

MATERIAL	DILUIÇÃO	1º TESTE	
		1º PINGO (min:seg)	100ML (min:seg)
SOLO NATURAL	-	00:52	03:38
SOLO SECO NATURAL			

Fonte: Autor.

Com o solo natural o teste mostrou o tempo de infiltração da água no solo sem nenhuma proteção superficial e consequentemente sem apresentar retardo na saturação do solo.

4.1.2. Cimento e Água

Os resultados referentes ao teste de infiltração com a mistura cimento:água são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4: Tempo de infiltração na mistura cimento e água.

MATERIAL	DILUIÇÃO	1º TESTE		2º TESTE		3º TESTE		CUSTO
		1º PINGO (min:seg)	100ML (min:seg)	1º PINGO (min:seg)	100ML (min:seg)	1º PINGO (min:seg)	100ML (min:seg)	R\$/L
CIMENTO : ÁGUA	01:20	06:00	13:28	01:00	09:52	01:04	15:12	R\$ 0,04
	01:30	03:55	10:09	01:03	06:50	01:32	07:22	R\$ 0,03
	01:40	02:27	05:47	00:32	05:05	00:52	06:27	R\$ 0,02
		SOLO SECO NATURAL		4 DIAS DO 1º TESTE		7 DIAS DO 2º TESTE		

Fonte: Autor.

Uma primeira observação importante é a de que a mistura de cimento:água na diluição 1:20 apresentou bons resultados em termos de tempo de infiltração. Revelou-se, também, que a diminuição do custo por litro nas diluições 1:40 e 1:30

(em comparação com a diluição 1:20) não compensa a perda de eficiência contra a infiltração do solo.

Após os três testes, foi retirada, do corpo de prova, a camada de proteção superficial. A análise desta camada, na mistura cimento:água, revelou aproximadamente 41 mm (quarenta e um milímetros) de espessura, bem como uma notável resistência (Figura 24), entretanto, não sendo rígida o suficiente para suportar impactos sem danificar a proteção superficial.

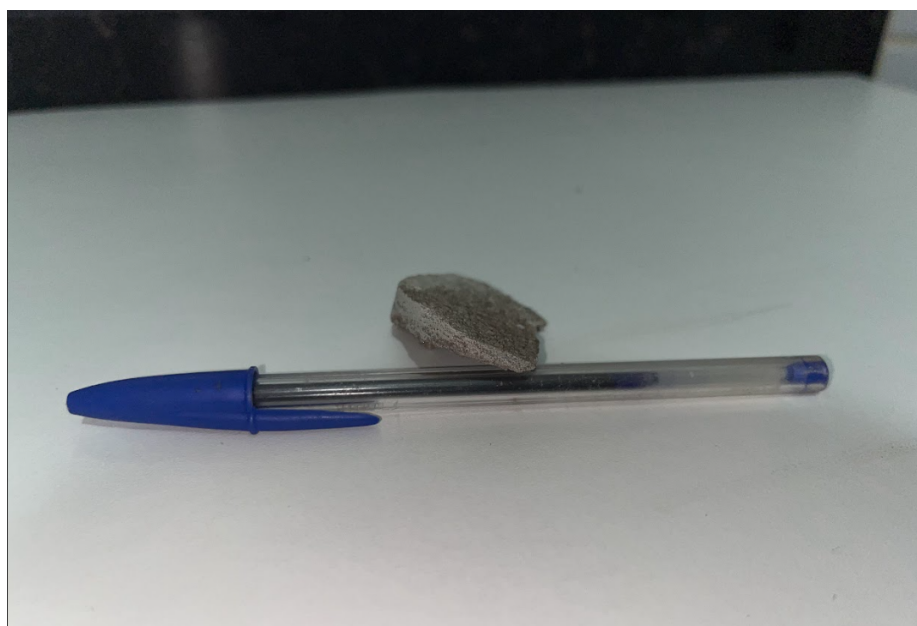


Figura 24: Camada de proteção superficial da mistura cimento e água. Fonte: Autor.

4.1.3. Cal e Água

Os resultados referentes ao teste de infiltração com a mistura cal:água são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5: Tempo de infiltração na mistura cal e água.

MATERIAL	DILUIÇÃO	1º TESTE		2º TESTE		3º TESTE		CUSTO
		1º PINGO (min:seg)	100ML (min:seg)	1º PINGO (min:seg)	100ML (min:seg)	1º PINGO (min:seg)	100ML (min:seg)	
CAL : ÁGUA	01:20	03:52	11:22	X	X	X	X	R\$ 0,05
		SOLO SECO NATURAL		4 DIAS DO 1º TESTE		7 DIAS DO 2º TESTE		

Fonte: Autor.

A principal observação obtida a partir da análise desta mistura foi a de que muito embora o primeiro teste tenha sido bem sucedido (confirmação da retardação da infiltração do solo), após quatro dias a mistura se encontrava pastosa e sem resistência tátil, de modo que não foi possível a execução dos testes subsequentes(Figura 25).



Figura 25: Camada de proteção da mistura cal e água no 2º teste. Fonte: Autor.

4.1.4. Cimento, Cal e Água

Os resultados referentes ao teste de infiltração com a mistura cimento:cal:água são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6: Tempo de infiltração na mistura cimento, cal e água.

MATERIAL	DILUIÇÃO	1º TESTE		2º TESTE		3º TESTE		CUSTO
		1º PINGO (min)	100ML (min)	1º PINGO (min)	100ML (min)	1º PINGO (min)	100ML (min)	
CIMENTO : CAL : ÁGUA	01:02:30	05:41	12:53	X	X	X	X	R\$ 0,04
	01:02:40	03:02	09:17	X	X	X	X	R\$ 0,03
		SOLO SECO		4 DIAS DO 1º TESTE		7 DIAS DO 2º TESTE		

Fonte: Autor.

A principal observação obtida a partir da análise desta mistura foi a de que muito embora o primeiro teste tenha sido bem sucedido (confirmação da retardação da infiltração do solo), após quatro dias a mistura se encontrava pastosa e sem resistência tátil, de modo que não foi possível a execução dos testes subsequentes(Figura 26).

Uma hipótese levantada a partir dos dados obtidos nesta e na mistura apresentada no item 4.1.2 é a de que, possivelmente, o material responsável pela ausência de resistência após 4 dias do primeiro teste foi a cal. Todavia, visto que o presente estudo não buscou analisar o papel específico da cal em processos de resistência à infiltração, é fundamental que pesquisas futuras se proponham a investigar como a presença deste material pode contribuir ou comprometer a eficácia da mistura nestes processos.



Figura 26: Camada de proteção da mistura cimento, cal e água no 2º teste. Fonte: Autor.

4.1.5. Tinta e Água

Os resultados referentes ao teste de infiltração com a mistura tinta:água são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7: Tempo de infiltração na mistura tinta e água.

MATERIAL	DILUIÇÃO	1º TESTE		2º TESTE		3º TESTE		CUSTO
		1º PINGO (min:seg)	100ML (min:seg)	1º PINGO (min:seg)	100ML (min:seg)	1º PINGO (min:seg)	100ML (min:seg)	
TINTA : ÁGUA	01:20	03:08	11:37	01:06	13:02	01:05	27:35	R\$ 0,42
		SOLO SECO NATURAL		4 DIAS DO 1º TESTE		7 DIAS DO 2º TESTE		

Fonte: Autor.

Ao analisar a mistura de tinta e água, duas importantes observações foram realizadas a partir das comparações com as demais misturas. A primeira é que a proteção superficial com tinta:água apresentou uma maior facilidade em realizar a mistura por não apresentar partículas sólidas em sua composição, deixando a mistura mais homogênea e, conseqüentemente, uma melhor aplicação com pulverizador. A segunda observação é que, após os testes, a retirada da camada de proteção superficial do corpo de prova revelou aproximadamente 231 mm (duzentos e trinta e um milímetros) de espessura (Figura 27), sendo 190 mm (cento e noventa milímetros) maior do que a de mistura cimento:água (41 mm), agregando na resistência da mistura, contudo, também não apresenta rigidez o suficiente para suportar impactos sem danificar a proteção superficial. E vale ressaltar, seu custo foi R\$0,38/L maior do que o de cimento e água.



Figura 27: Camada de proteção da mistura tinta e água. Fonte: Autor

4.2. Testes de Escoamento Superficial

Os resultados obtidos a partir destes testes são analisados em termos de impacto causado pela simulação de chuva no corpo de prova (erosão hídrica).

4.2.1. Solo Natural

A análise do impacto da simulação de chuva no corpo de prova sem proteção superficial, conduzida com objetivo de servir como parâmetro para análises subsequentes das proteções superficiais testadas no estudo, é apresentada na Figura 28.



Figura 28: Resultado após simulação de chuva. À esquerda, corpo de prova sem proteção superficial. À direita, partículas de solo carregadas pela água. Fonte: Autor

4.2.2. Cimento e Água

A análise do impacto da simulação de chuva no corpo de prova com proteção superficial composta da mistura cimento:água revelou uma boa resistência ao processo de erosão hídrica, o que pode ser notado pelo baixo carregamento de partículas de solo. Os resultados do teste podem ser observados na Figura 29.



Figura 29: Resultado após simulação de chuva. À esquerda, corpo de prova com proteção superficial cimento:água. À direita, partículas de solo carregadas pela água. Fonte: Autor

4.2.3. Tinta e Água

A análise do impacto da simulação de chuva no corpo de prova com proteção superficial composta da mistura tinta:água revelou uma boa resistência ao processo de erosão hídrica, o que pode ser notado pela coloração da água no reservatório, sendo cristalina, e com isso mostra baixo carregamento de partículas de solo. Os resultados do teste podem ser observados na Figura 30.



Figura 30: Resultado após simulação de chuva. À esquerda, corpo de prova com proteção superficial tinta:água. À direita, partículas de solo carregadas pela água. Fonte: Autor

4.3 Caracterização do solo

Para a caracterização do solo foi necessário o auxílio do Laboratório de Geotecnia e Pavimentação (LAPAV) da Universidade Federal da Paraíba. Onde foram realizados os testes para a caracterização do solo. Só foi possível a realização do teste de granulometria, pois a amostra não apresentou consistência para realização dos Índices de Atterberg, Liquidez e Plasticidade.

O ensaio de granulometria foi conduzido utilizando uma quantidade de 2.000g (duas mil gramas) de solo, os quais foram primeiramente levados à estufa antes de seguir os procedimentos subsequentes. A amostra de solo foi então submetida à peneira #10, na qual o material retido foi lavado e, em seguida, passou por um processo de peneiramento grosseiro. Os resultados desse processo estão registrados na Tabela 8.

Tabela 8: Resultado do peneiramento grosso.

PENEIRAMENTO DA AMOSTRA TOTAL					
Peneira	Material Retido			% passa Amostra Total	Peneira (mm)
	Massa g	% Am. Total	% Am. Acum.		
1 1/2 pol	0,00	0,00	0,00	100,00	38,1
1 pol	0,00	0,00	0,00	100,00	25,4
3/4 pol	18,58	0,93	0,93	99,07	19,1
3/8 pol	49,66	2,48	3,41	96,59	9,5
Nº 4	27,17	1,36	4,77	95,23	4,8
Nº 10	38,41	1,92	6,70	93,30	2,0

Fonte: Autor.

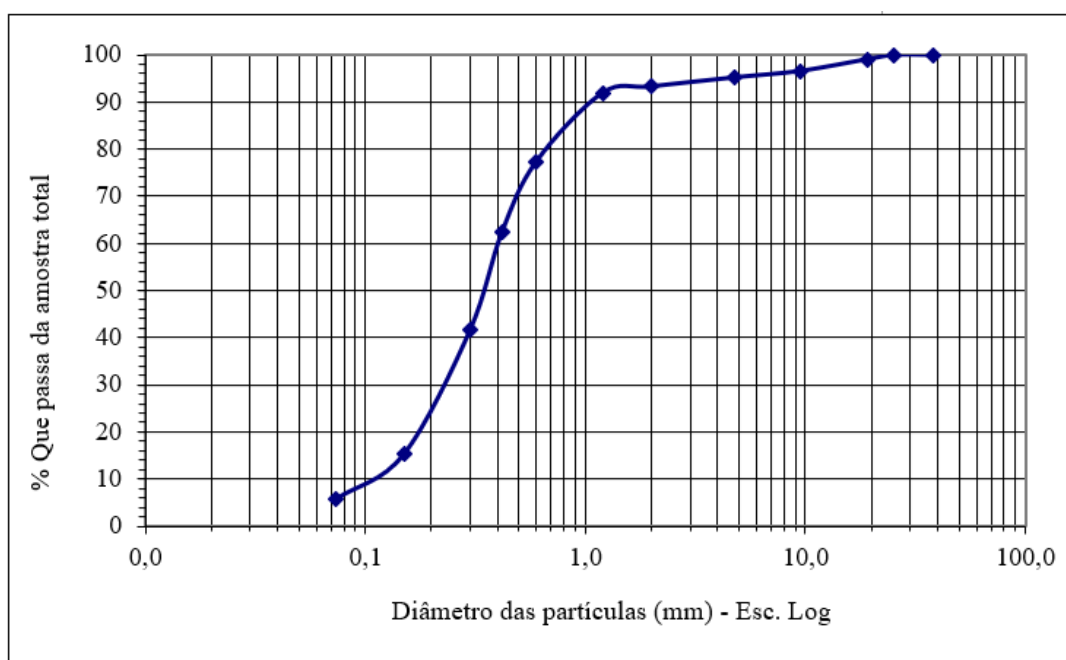
Foi realizado um peneiramento fino no material passante na peneira #10. Resultados na Tabela 9.

Tabela 9: Resultado do peneiramento fino.

PENEIRAMENTO DA AMOSTRA PARCIAL						
Peneira Nº	Material Retido			% passa Amostra Parcial	% passa Amostra Total	Peneiras (mm)
	Massa g	% Am. Parcial	% Am. Acum.			
16	1,470	1,471	1,471	98,529	91,93	1,20
30	15,620	15,632	17,104	82,896	77,35	0,60
40	15,960	15,973	33,076	66,924	62,44	0,42
50	22,380	22,398	55,474	44,526	41,54	0,30
100	28,120	28,142	83,616	16,384	15,29	0,15
200	10,060	10,068	93,684	6,316	5,89	0,074

Fonte: Autor.

A partir da determinação das dimensões das partículas do agregado e respectivas porcentagens de ocorrência, tem-se o produto dos dados, a distribuição granulométrica representada pelo Figura 31.

**Figura 31:** Gráfico da curva granulométrica do solo em estudo. Fonte: Autor.

Segundo a NBR 6502 (ABNT, 1995), os grãos podem ser determinados por faixas granulométricas, são elas:

- Pedregulho- Grãos acima de 2,0 mm;

- Areia grossa- Grãos compreendidos entre 2,0 e 0,42 mm
- Areia Fina- Grãos compreendidos entre 0,42 e 0,075 mm
- Silte- Grãos compreendidos entre 0,075 e 0,005 mm
- Argila- Grãos abaixo de 0,005mm

Com todos os dados foi possível gerar o resumo da classificação da amostra nas faixas granulométricas, onde foi possível designar a configuração do solo em estudo (solo arenoso), possibilitando a determinação geral de suas características físicas. Resultados na Tabela 10.

Tabela 10: Resumo da Granulometria.

Resumo da Granulometria - DNER	
PEDREGULHO	7
AREIA GROSSA	31
AREA FINA	57
SILTE + ARGILA	6

Fonte: Autor.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho contribui em diversos sentidos para compreensão em torno de processos erosivos, sobretudo no que se refere a medidas preventivas em contextos específicos. Como tal, em áreas de risco, onde a população corre ameaça de vida por residir próximo a taludes instáveis, o que efetiva a utilização destas medidas.

Entre as misturas testadas neste estudo, as que foram compostas por cal, obtiveram destaque negativo, apesar de apresentar um retardamento significativo no tempo de infiltração, sua textura após a adição de água não se comportou como deveria, não sendo adequadas para utilização em contexto de combate a processos erosivos.

Foi possível também mostrar a capacidade das proteções superficiais em relação ao retardo da saturação do solo pelos testes de infiltração e consequentemente no retardo da perda de coesão (capacidade de partículas aderirem umas às outras), deixando o solo menos suscetível a instabilidades, como o deslizamento.

Ao levar em consideração o custo-benefício, proteções superficiais compostas por misturas de cimento:água e de tinta:água podem ser consideradas possíveis soluções para redução da suscetibilidade ao processo erosivo, tendo seus custo de material de aproximadamente R\$0,16/m² (dezesesseis centavos por metro quadrado) e R\$1,68/m² (um real e sessenta e oito centavos por metro quadrado), respectivamente.

Por fim, é importante ressaltar que pesquisas futuras são necessárias para que o entendimento das possibilidades apresentadas seja aperfeiçoado. Tais estudos podem testar as proteções superficiais em taludes com declividades, tipo de solo e regiões diversas para coleta de dados. De modo que essas opções possam ser aplicadas em realidades onde necessite uma intervenção rápida, eficaz e com custos reduzidos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA FILHO, G.S. & RIDENTE JÚNIOR, J.L. (2001). **Erosão: diagnóstico, prognóstico e formas de controle**. Simpósio Nacional de Controle de Erosão, ABGE, Goiânia, GO.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 6453/2003. **Cal virgem para construção civil - Requisitos**, [S. l.], 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 16697/2018. **Cimento Portland - Requisitos**, [S. l.], 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 11578/1991. **Cimento Portland composto (CP II)**, [S. l.], 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 15079-2/2021. **Tintas para construção civil — Requisitos mínimos de desempenho**, [S. l.], 2021.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. Ed. Ícone, São Paulo: Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, 6ª Edição, v, 1, 1998.

CAMAPUM DE CARVALHO, J. (Org.); SALES, M. M. (Org.) SOUZA, N. M. (Org.); MELO, M. T. S. (Org.). (2006). **Processos erosivos no centro-oeste brasileiro**. Brasília: Universidade de Brasília. FINATEC.

CUNHA, m. a. **Ocupação de encostas**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas -IPT, Publicação nº 1831. São Paulo, 1991.

FOSTER, G. R.; MC COOL, D. K.; RENARD, K. G.; MOLDENHAUER, W. C.; **Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units**. Journal Soil Water Conservation, v. 1981.

FUNDAÇÃO DE DESENVOLVIMENTO MUNICIPAL (Recife - PE). **Manual de Ocupação de Morros na Região Metropolitana de Recife**. Recife - PE: [s. n.], 2023. Disponível em: <<https://antigo.mdr.gov.br/institucional/136-secretaria-nacional-de-programas-urbanos/prevencao-e-erradicacao-de-riscos/1854-manual-de-ocupacao-de-morros-na-regiao-metropolitana-de-recife>>.

GERSCOVICH, D. **Estabilidade de Taludes**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

JESUS, A. S. **Investigação Multidisciplinar de Processos Erosivos Lineares: Estudo de caso da cidade de Anápolis- GO**. 2013. 340 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2013.

MOREIRA, C. V. R. PIRES NETO A. G. **Clima e Relevo**. OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. (Org). Geologia de Engenharia. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia- ABGE, São Paulo-SP, 1998.

RELAÇÃO ENTRE A INFILTRAÇÃO DA ÁGUA NOS SOLOS EA ESTABILIDADE DOS AGREGADOS EM SISTEMAS DE MANEJOS DIFERENTES NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO ROMÃO – NOVA FRIBURGO / R. [S. l.], 20 set. 2023. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/328436756_RELACAO_ENTRE_A_INFILT

RACAO_DA_AGUA_NOS_SOLOS_E_A_ESTABILIDADE_DOS_AGREGADOS_EM
_SISTEMAS_DE_MANEJOS_DIFERENTES_NA_BACIA_HIDROGRAFICA_DO_RI
O_SAO_ROMAO_-_NOVA_FRIBURGO_RJ. Acesso em: 20 set. 2023.

SALOMÃO, F. X. de T. **Controle e prevenção dos processos erosivos**. In:
GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. da; BOTELHO, R. G. M. Erosão e conservação dos
solos: conceitos, temas e aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010.