



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

DIANARA DUARTE PASSOS

**ALTERNATIVAS DE BAIXO CUSTO PARA ESTABILIZAÇÃO DE TALUDES EM
ÁREAS DE RISCO E ESTUDO DE CASO NA COMUNIDADE DO ROGER, EM
JOÃO PESSOA-PB**

JOÃO PESSOA

2018

DIANARA DUARTE PASSOS

**ALTERNATIVAS DE BAIXO CUSTO PARA ESTABILIZAÇÃO DE TALUDES EM
ÁREAS DE RISCO E ESTUDO DE CASO NA COMUNIDADE DO ROGER, EM
JOÃO PESSOA-PB**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Coordenação do Curso de Graduação em Engenharia
Civil da Universidade Federal da Paraíba, como
requisito para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil, orientado pelo Professor Dr. Fábio
Lopes Soares

JOÃO PESSOA

2018

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

P289a Passos, Dianara Duarte.

Alternativas de baixo custo para estabilização de taludes em áreas de risco e estudo de caso na Comunidade do Roger, em João Pessoa - PB / Dianara Duarte Passos. - João Pessoa, 2018.

72 f.

Orientação: Prof Dr Fábio Lopes Soares Soares.
Monografia (Graduação) - UFPB/CT.

1. Movimentos de massa; estabilização; baixo custo. I. Soares, Prof Dr Fábio Lopes Soares. II. Título.

UFPB/BC

FOLHA DE APROVAÇÃO

DIANARA DUARTE PASSOS

ALTERNATIVAS DE BAIXO CUSTO PARA ESTABILIZAÇÃO DE TALUDES EM ÁREAS DE RISCO E ESTUDO DE CASO NA COMUNIDADE DO ROGER, EM JOÃO PESSOA-PB

Trabalho de Conclusão de Curso em 05/11/2018 perante a seguinte Comissão Julgadora:

Fábio Lopes Soares

Prof. Dr. Fábio Lopes Soares

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADA

Aline Flávia Nunes Remígio Antunes

Profª. Dra. Aline Flávia Nunes Remígio Antunes

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO

Clovis Dias

Prof. Dr. Clovis Dias

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO

Ana Cláudia Fernandes Medeiros Braga

Profª. Ana Cláudia Fernandes Medeiros Braga

Matrícula Siape: 1668619

Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que me guiou até aqui e me permitiu alcançar mais essa conquista, que me deu forças para superar todos os obstáculos nessa jornada e foi o meu porto seguro em todos os momentos.

À minha mãe, Lizete, por ser minha maior referência de coragem, determinação e persistência, e ao meu pai, João, por sempre acreditar em mim e ser tão presente em minha vida. A eles, que sempre me apoiaram e nunca mediram esforços para a realização desse sonho: essa conquista também é de vocês!

Às minhas irmãs e melhores amigas Dayane, Thaís e Jordanne pelo companheirismo, incentivo, exemplo e ajuda sempre que precisei.

Aos meus avós (*in memorian*) pelo exemplo e valores a mim transmitidos.

Aos meus cunhados, Iógenes e Ayran, por sempre torcerem e acreditarem em mim.

Aos meus familiares: primos, tios, madrinha, por fazerem parte da minha história e vibrarem com as minhas conquistas.

Aos meus amigos de turma, em especial a todos que compõem o Grupo dos Excluídos, com quem dividi conhecimentos, aprendizados, mas também dificuldades, dúvidas e angústias, tornando a graduação mais leve e prazerosa.

Aos meus amigos que fiz ao longo do curso e que com certeza levarei para a vida.

A todos os professores que fizeram parte da minha caminhada, pela contribuição e ensinamentos, que muitas vezes foram além das obrigações em sala de aula.

Ao professor Fábio Lopes Soares, pela sua dedicação enquanto orientador e persistência para a obtenção dos resultados deste trabalho, bem como pelo exemplo de professor e profissional.

Aos professores Aline Flávia Nunes Remígio Antunes e Clovis Dias, por terem aceitado compor a banca desde trabalho e suas importantes contribuições ao longo do curso.

Aos técnicos do laboratório de Mecânica dos Solos, João e Sérgio, que me auxiliaram na realização dos ensaios.

A Miguel, Marcos David e Welliton, que contribuíram para elaboração deste trabalho.

A todos que contribuíram - direta ou indiretamente, torceram e acompanharam a minha trajetória: muito obrigada!

RESUMO

Os movimentos de massa, cada vez mais recorrentes em muitas cidades brasileiras, representam um problema de grande preocupação para sociedade em geral, tendo em vista os riscos, prejuízos e consequências envolvidas. Sua ocorrência, na maioria das vezes, é um reflexo do modo como o espaço é ocupado pela população, com a ocupação de áreas nem sempre adequadas e sem a infraestrutura necessária para atendê-la, agravados por fatores naturais. O resultado é o surgimento de áreas de risco em diversos pontos das cidades, principalmente nas regiões de morros e proximidades de cursos d'água e a ocorrência de inúmeros desastres. A cidade de João Pessoa vive o problema de uma ocupação desordenada de suas áreas de relevo acidentado que, em regimes de chuva, apresentam a incidência de movimentos de massa. Nesse contexto, surge a necessidade de soluções para estes problemas, sobretudo devido ao caráter de urgência. Diante da escassez de recursos, sobretudo financeiros, disponíveis para a construção de estruturas de reforço e estabilização de encostas, a adoção de medidas de intervenção por parte dos gestores públicos se torna um desafio. Este trabalho trata, além do movimento de massa como fenômeno e aspectos relacionados, da abordagem de soluções de baixo custo para estabilização de taludes em áreas de risco (como muro de solo-cimento ensacado, muro de pneus, muro de gabiões, entre outros), com o estudo de caso de um talude localizado na comunidade do Roger, em João Pessoa-PB. A partir da análise geológico-geotécnica, verificou-se que a situação atual do talude, agravada pelas características do material, tornam o talude bastante vulnerável à ocorrência de movimento de massa. O valor do Fator de Segurança associado à estabilidade do talude objeto do estudo é muito próximo do limite para ocorrência de movimento de massa. O valor de $F.S=1,063$ mostra que o talude está na iminência de um colapso. Nesse sentido, sugeriu-se a adoção das alternativas de muro de solo-cimento ensacado e muro de gabião para o local, duas alternativas que apresentam, além do baixo custo, outras vantagens que podem garantir a estabilidade do talude e evitar a ocorrência de desastres futuros.

Palavras-Chave: Movimentos de massa; estabilização; alternativas de baixo custo.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diferença entre encosta, talude natural, de corte e artificial..	15
Figura 2. Mortes por deslizamentos no Brasil entre os anos de 1988 e 2017. .	17
Figura 3. Perfil esquemático de encosta submetida a processo de rastejo.	21
Figura 4. Escorregamentos translacionais ou planares.	23
Figura 5. Escorregamento em cunha..	23
Figura 6. Escorregamento Rotacional ou circular..	24
Figura 7. Exemplos de ruptura por queda. (A) Por tombamento, devido à presença de descontinuidades no maciço rochoso. (B) Por rolamento, devido à presença de blocos instáveis na encosta e ação da chuva..	25
Figura 8. Esquema de uma corrida.	26
Figura 9. Erosão na Barreira de Cabo Branco. (A) Agosto de 2017 e (B) Setembro de 2017.	27
Figura 10. Exemplo de erosão agravada pela ação antrópica no distrito de Mata Redonda, Alhandra-PB.	33
Figura 11. Muro de solo-cimento ensacado no município do Cabo de Santo Agostinho-PE..	35
Figura 12. Exemplo e detalhe de sistema construtivo de solo-pneu.....	37
Figura 13. Gráfico comparativo das soluções de muro. Fonte: Souza (2002).....	38
Figura 14. Geotêxtil aplicada em reforço de solo.....	40
Figura 15. Geogrelha aplicado em reforço de solo Fonte: Geossintec.....	40
Figura 16. Seção transversal de muro em solo reforçado.....	41
Figura 17. Retaludamento.	42
Figura 18. Aplicação a geomanta reforçada com malha de dupla torção.....	43
Figura 19. Situação atual do talude.	44
Figura 20. Contenção com muro de gabiões	45
Figura 21. Contenções: Custo por metro linear (R\$) x Altura	45
Figura 22. Localização do município de João Pessoa.	46
Figura 23. Gráfico de ocorrências de deslizamentos por mês no período de 2014 a 2017, na cidade de João Pessoa.....	48
Figura 24. Mapa Pedológico de João Pessoa e adjacências..	49
Figura 25. Demarcação do local de estudo.....	50
Figura 26. Ocorrências de deslizamentos por bairro, em João Pessoa, no período de 2014 a 2018..	51
Figura 27. Localização dos movimentos de massa possivelmente ocasionados pela chuva no Bairro do Roger, no período de 2014 a 2018.	51
Figura 28. Talude objeto do estudo.	52
Figura 29. Talude objeto do estudo.	53
Figura 30. Imóvel de finalidades residencial e comercial.	53
Figura 31. Curva Granulométrica.	54
Figura 32. Ensaio de sedimentação.	55
Figura 33. Utilização do aparelho Casagrande no ensaio para de terminação do Limite Liquidez.....	57
Figura 34. Ensaio de determinação do Limite de Plasticidade.....	57
Figura 35. Relação entre LL, IP e características dos solos.	58

Figura 36. Moldagem do corpo de prova.	59
Figura 37. Corpo de prova cisalhado.....	59
Figura 38. Gráfico tensão cisalhante x tensão normal.....	60
Figura 39. Determinação do F.S. e superfície de ruptura na condição de solo natural	60
Figura 40. Proposta 1: Muro de solo-cimento ensacado.	62
Figura 41. Proposta 2: Muro de Gabiões.....	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Classificação dos Movimentos de encosta segundo Varnes (1978)	19
Tabela 2. Características dos principais grandes grupos de movimento de massa	20
Tabela 3. Classificação dos fatores deflagradores dos movimentos de massa	28
Tabela 4. Agentes/Causas dos escorregamentos e processos correlatos segundo Guidicini e Nieble (1983).....	29
Tabela 5. Comparação de custos entre diferentes propostas de estabilização.....	36
Tabela 6. Comparação dos custos (em m ³) de diferentes métodos para contenção e proteção de taludes.....	36
Tabela 7. Comparação entre as técnicas construtivas de muros de solo reforçado com geossintéticos.....	42
Tabela 8. Comunidades em Área de Risco na cidade de João Pessoa.....	47
Tabela 9. Resumo da Granulometria	55
Tabela 10. Resultados do ensaio de sedimentação	56

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1. OBJETIVOS.....	13
1.1.1. Objetivo Geral	13
1.1.2. Objetivos específicos.....	13
2. REVISÃO BIBLIGRÁFICA.....	14
2.1. TALUDES.....	14
2.2. MOVIMENTOS DE MASSA E RISCO.....	15
2.2.1. Classificação dos Movimentos de Massa	18
2.2.2. Processos de transporte de massa: Erosão.....	26
2.3. MECANISMOS DEFLAGRADORES, CAUSAS E AGENTES DOS MOVIMENTOS DE MASSA.....	27
2.3.1. Precipitações.....	30
2.3.2. Vegetação	31
2.3.3. Ação Antrópica.....	31
2.4. SOLUÇÕES DE BAIXO CUSTO PARA ESTABILIZAÇÃO DE TALUDES.....	33
2.4.1. Solo-cimento ensacado	34
2.4.2. Muro de Pneus	37
2.4.3. Geossintéticos.....	39
2.4.4. Retaludamento	42
2.4.5. Grampeamento com face vegetada.....	42
2.4.6. Muro de gabiões	44
3. METODOLOGIA	46
3.1. JOÃO PESSOA E ÁREAS DE RISCO	46
3.2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	50
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	54
4.1. ENSAIO DE GRANULOMETRIA	54
4.2. ENSAIO DE SEDIMENTAÇÃO.....	55
4.3. LIMITES DE CONSISTÊNCIA	56
4.4. ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO.....	58
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	62
REFERÊNCIAS	65

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, áreas urbanas instaladas em regiões de relevo acidentado têm sido cada vez mais afetadas por movimentos de massa ao longo das encostas. Estes movimentos, apesar de representarem um fenômeno natural, podem sofrer a influência de diversos fatores, inclusive a ação humana, acelerando a sua ocorrência.

No Brasil, a ocupação de morros com habitações, seja de maneira formal ou informal, tem-se dado de maneira inadequada e, muitas vezes, perigosa. Esse fenômeno faz parte da formação das cidades brasileiras que, acompanhada da especulação imobiliária, acaba oferecendo para a população mais pobre apenas os terrenos mais problemáticos, incluindo os situados em encostas. Essas construções irregulares, também provenientes da falta de recursos financeiros das famílias, são muitas vezes construídas sem preparação do solo e sem a correta execução das técnicas de engenharia, agravando mais ainda a situação.

Com a atuação de eventos climáticos, como chuvas, por exemplo, associados às características de ocupação do espaço pela população, a ocorrência de desastres tem originado um número expressivo de áreas de risco e provocado inúmeras perdas de vidas humanas. Tais desastres afetam também, pesadamente, os cofres públicos, desde os gastos com resgates de sobreviventes, até os investimentos, na maioria das vezes elevados, na posterior recuperação e estabilização do terreno e nas melhorias urbanas necessárias na área atingida.

Na tentativa de solucionar ou ao menos amenizar tais problemas, tem sido desenvolvido um número cada vez maior de estudos de susceptibilidade a movimentos de massa em áreas urbanas e adoção de novas alternativas para estabilização de taludes, aliando bom desempenho e economia. Com a escassez de recursos e a situação agravante em muitas comunidades, as autoridades públicas necessitam buscar soluções de baixo custo para os problemas decorrentes relacionados a movimentos de massa em morros e encostas.

Essas alternativas devem unir técnicas existentes aos materiais naturais disponíveis no município, assim, minimizando a utilização dos equipamentos e recursos humanos disponíveis e possibilitando intervenções em mais áreas e economia aos cofres públicos. Estima-se que, entre os anos de 2007 e 2015 foram gastos aproximadamente 340 milhões em obras de contenção de encostas no Brasil, através do Programa de Aceleração do Crescimento – PAC, ainda restando diversas áreas necessitadas de intervenção. Este valor poderia ser significativamente reduzido através da adoção de novas metodologias de reforço de solo.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo Geral

Este trabalho tem por objetivo geral estudar metodologias de baixo custo para a estabilização de taludes e verificar a sua aplicabilidade em um talude situado no bairro do Roger, em João Pessoa- PB.

1.1.2. Objetivos específicos

- Estudar os movimentos de massa enquanto fenômeno, classificação, impactos, causas e agentes;
- Estudar alternativas de baixo custo para estabilização de taludes, ressaltando suas características e vantagens;
- Avaliar a utilização de alternativas de baixo custo para a estabilização de um talude localizado no bairro do Roger, em João Pessoa-PB.

2. REVISÃO BIBLIGRÁFICA

2.1. TALUDES

Em linhas gerais, taludes podem ser compreendidos como todas e quaisquer superfícies de um maciço de solo ou rocha que apresentam uma determinada angulação feita com o plano horizontal. Segundo Caputo (1988), estes podem ser encontrados nas configurações natural (encostas) ou artificial – resultado de corte e/ou aterros (Figura 1).

Os taludes naturais são aqueles formados ao longo do tempo como resultado das ações das intempéries, movimento das marés e outros fatores. Gerscovich (2012), afirma que os taludes naturais podem ser constituídos por solo residual, coluvionar e rocha, ou uma combinação destes, e ainda, quanto à forma, podem apresentar face plana ou curvilínea. O solo residual permanece no local onde foi gerado, como resultado do intemperismo sofrido pela rocha original, já o solo coluvionar se caracteriza por sua elevada heterogeneidade, uma vez que é formado a partir do transporte de fragmentos que, principalmente pela ação da gravidade, formam um depósito de materiais.

A instabilidade de taludes naturais relaciona-se diretamente com a evolução contínua das encostas. Enquanto o intemperismo age sobre a rocha, o material perde resistência e as forças gravitacionais, juntamente com a influência da topografia, geram condições favoráveis para que se ocorra o movimento. Essa ideia é reforçada por Pellegrina (2011), que sustenta que a dinâmica do ambiente pode transformar uma situação de equilíbrio, de forma abrupta ou gradual, em uma situação de não equilíbrio, podendo vir a colaborar ou provocar um fenômeno catastrófico para o homem.

Em contrapartida, os taludes construídos são resultados de execução de aterros ou cortes em terrenos naturais. Este tipo de talude encontra-se, sobretudo, em obras de barragens e vias de comunicação terrestre, como é o caso das rodovias e ferrovias. Sua concepção está condicionada ao conhecimento do material com o qual está se trabalhando e de suas condições de fluxo garantindo-se, assim, um maior controle da estabilidade do maciço analisado.

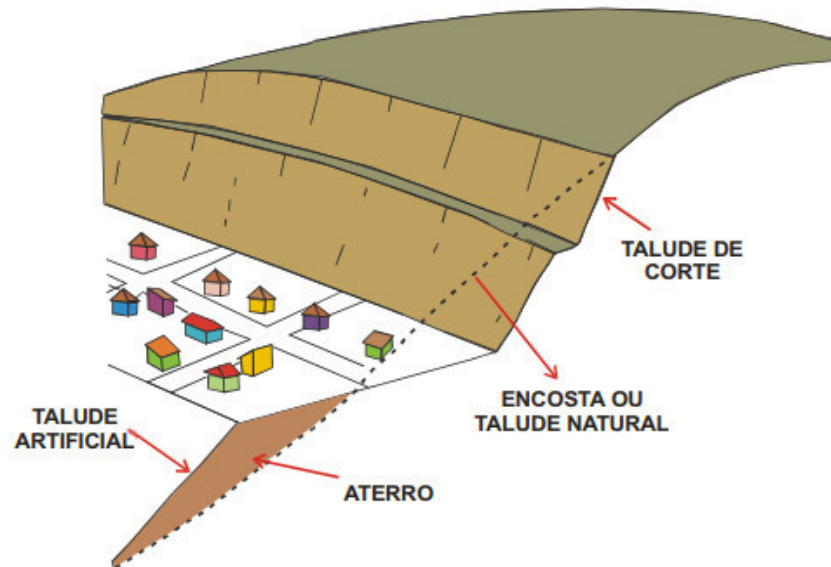


Figura 1. Diferença entre encosta, talude natural, de corte e artificial. Fonte: UNESP/IGLA apud Lima (2002).

2.2. MOVIMENTOS DE MASSA E RISCO

Compreende-se como movimento de massa qualquer desprendimento de um determinado volume de solo. A literatura existente vai além desse conceito, associando os movimentos de massa a problemas de instabilidade de encostas. Segundo Hutchinson (1968), e citado por Camargo (2015), os movimentos de massa são fenômenos induzidos pela ação da gravidade, como por exemplo, os escorregamentos de encostas e as quedas e tombamentos de blocos rochosos. No caso dos movimentos regidos por um agente de transporte como água, gelo, neve ou ar, esses movimentos são denominados processos de transporte de massa.

O movimento de massa pode ser caracterizado como um processo bastante complexo, uma vez que envolve os diferentes materiais que compõem o solo e a rocha e seus mecanismos de instabilidade. Estes processos podem englobar desde deslocamentos lentos de materiais de encostas pouco inclinadas, até a queda livre de blocos rochosos em vertentes íngremes.

O colapso do sistema ocorre quando as tensões cisalhantes de atuação sobre a superfície são maiores que as tensões de resistência. Cruz (1974) reitera que os movimentos de massa estão ligados à alteração do equilíbrio entre as tensões no interior da massa. O equilíbrio é controlado principalmente pelo teor de água e pela estrutura interna das argilas, ou seja, pela interação e coesão entre os grãos que formam o solo em estudo.

Quando se fala em movimento de massa, não há como deixar de citar o fator risco associado a ele. O termo risco, apesar de poder ser inserido em diferentes contextos, sempre carrega consigo a questão da probabilidade. Na área da Geotecnia, riscos podem englobar tanto condições latentes que, na sua maioria, representam indícios de problemas que possam vir a ocorrer no futuro - condições estas de origem geológica ou climática, por exemplo, como também condições sujeitas às ações humanas, a citar a retirada de cobertura vegetal para a ocupação de encostas, fato muito comum nas áreas periféricas de centros urbanos no Brasil.

É fato que não se pode afirmar com total convicção se uma determinada situação é isenta ou não de risco, uma vez que, por exemplo, no caso de ocorrência de desastres naturais, na maioria dos casos, o poder de impedimento do ser humano foge do seu alcance. Entretanto, quando se considera o fator vulnerabilidade relacionado ao risco, é possível analisar a situação com maior precisão. Conforme Camargo (2015), a relação entre um risco e vulnerabilidade é o que gera a condição do risco. Quando esta relação é administrada de forma errônea ou deficiente, as catástrofes naturais ocorrem. Melhor dizendo, sempre haverá desastres naturais, porém, estes serão mais trágicos ou não, dependendo da gestão de riscos.

Castro (1998) define o risco, no Glossário de Defesa Civil, como a probabilidade de ocorrência de um acidente, catástrofe ou evento adverso, relacionado com a intensidade dos danos ou perda, resultantes dos mesmos. De acordo com Cunha (1991, apud RECKZIEGEL, 2005), "entende-se por risco a possibilidade de perigo, perda ou dano, do ponto de vista social e econômico, a que a população esteja submetida caso ocorram escorregamentos e processos correlatos". Nesse sentido, pode ser considerado uma medida de dano potencial ou agravo econômico, a partir da probabilidade estatística da eventualidade do fenômeno e intensidade de suas previstas consequências.

A ocorrência de um escorregamento de terra, como são conhecidos genericamente os movimentos de massa, principalmente em áreas urbanas, tem levado, ao longo dos anos, a inúmeras fatalidades. No Brasil, existem diferentes iniciativas de registros sobre desastres, a citar: Atlas Brasileira de Desastres Naturais 1991 a 2010, organizado pelo Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres (CEPED), da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC e Diagnóstico do Plano Nacional de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres (PNGRD), organizado pela Fundação Getúlio Vargas (FGV), que têm oferecido subsídios para se traçar o perfil e panorama geral acerca dos desastres recorrentes no país.

A Figura 2 apresenta os levantamentos do número de mortes por deslizamentos no país, de 1988 até o ano de 2017, realizados pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), totalizando 3458 vítimas.

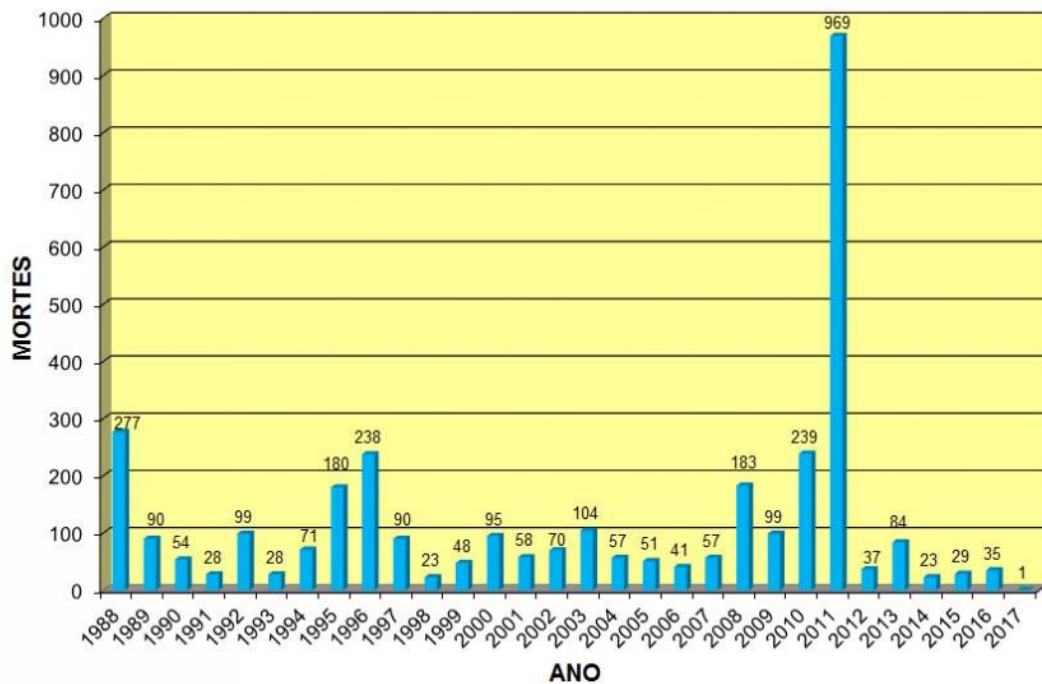


Figura 2. Mortes por deslizamentos no Brasil entre os anos de 1988 e 2017. Fonte: IPT, 2017.

Como pode ser observado no gráfico acima, o ano de 2011 se destaca pelo seu salto em número de óbitos quando comparado aos demais anos quantificados. Esse número expressivo decorre do desastre na Região Serrana do Rio de Janeiro, um megadesastre que, segundo o Manual Brasileiro de Desastres Naturais (2012), provocou 912 mortes e deixou mais de 45.000 desabrigados e desalojados.

Os inúmeros episódios de desastres observados no Brasil a cada ano mostram, em sua magnitude, perdas e consequências, que o modo como o espaço é ocupado pela população, pode potencializar de inúmeras formas os seus impactos. CARMO (2014) ressalta que, ao longo século XX, sobretudo em sua segunda metade, o Brasil passou por importantes transformações, inclusive no que diz respeito à redistribuição espacial da população, com a concentração da população nos centros urbanos. De acordo com o IBGE, a taxa de urbanização do país que, em seu primeiro censo (1940), correspondia a 31,24%, em 2000 já era estimada em 81,23%.

Essa mudança acelerada, combinada com o aumento vertiginoso da população e especulação imobiliária, não foi acompanhada por investimentos necessários em termos de infraestrutura e de serviços públicos nas cidades, se tornando um reflexo da desigualdade social existente no país. O resultado foi a concentração da população de baixa renda em áreas nem sempre adequadas à ocupação humana, aí incluídas as situadas em encostas.

Do ponto de vista sócio-espacial, a maioria das grandes cidades brasileiras experimentou, em algum momento, uma cisão, dando origem a “duas cidades”: uma estruturada, que segue os padrões urbanísticos e utilizada a tecnologia como ferramenta para o desenvolvimento urbano, e outra destinada às classes mais pobres, compreendendo desde ocupações com diversos níveis de formalidade até a mais precária das ocupações informais – a favela, onde a improvisação das técnicas construtivas é o que impera e episódios de desastres (como inundações, escorregamentos em encostas etc.) revelam uma paisagem urbana comprometida e deteriorada (FARAH, 2003).

Nesse contexto, a compreensão da forma como a cidade se configura se torna fundamental para interpretar os desastres e suas consequências e também para gerar políticas que sejam capazes de evitar novos desastres. Costa (2010) entende o planejamento urbano e a gestão ambiental dos riscos como sendo complementares e não excludentes, ou capazes de se operacionalizarem separados um do outro. Enquanto o planejamento urbano se reporta a entender um fenômeno para prever sua evolução e possíveis consequências, precavendo-se para o futuro, a gestão ambiental busca a administração de determinadas situações (de risco ou não) dentro de uma dada conjuntura da relação homem x meio, com os recursos disponíveis no presente, tendo em vista as necessidades imediatas.

2.2.1. Classificação dos Movimentos de Massa

Diante da grande variedade de climas e condições geológicas existentes no planeta, na tentativa de entender melhor a complexidade dos fenômenos envolvidos, uma série de classificações e nomenclaturas surgiu a partir de pesquisas sobre os movimentos de massa. Uma metodologia bastante utilizada para a classificação dos movimentos é a determinação das seguintes características que influenciam no processo: tipo de material, velocidade e mecanismo do movimento, modo de deformação, geometria da massa movimentada e conteúdo de água (BANDEIRA, 2003).

Apesar de não haver uma terminologia padronizada, a tentativa de classificação mais aceita e utilizada internacionalmente no meio técnico-científico é a proposta por Varnes (1978), baseada no material transportado e no tipo de movimento. Varnes subdivide os movimentos em: queda, tombamento, escorregamento, expansão lateral, escoamento e complexo, e é aplicável a solos e rochas, conforme Tabela 1.

Tabela 1. Classificação dos Movimentos de encosta segundo Varnes (1978)

TIPO DE MOVIMENTO		TIPO DE MATERIAL			
		Rocha	Solo (engenharia)		
			Grosseiro	Fino	
Quedas		De rocha	De detritos	De terra	
Tombamentos		De rocha	De detritos	De terra	
Escorregamento	Rotacional	Poucas unidades	Abatimento de rocha De blocos rochosos De rocha	Abatimento de detritos De blocos de detritos De detritos	Abatimento de terra De blocos de terra De terra
	Translacional	Muitas unidades			
Expansões laterais		De rocha	De detritos	De terra	
Corridas/Escoamentos		De rocha	De detritos	De terra	
Complexos: combinação de dois ou mais dos principais tipos de movimentos					

Fonte: Gerscovich (2012)

Embora bastante aceita e utilizada, a proposta de Varnes possui suas limitações, não se aplicando a qualquer tipo de movimento de massa. Em sua classificação, por exemplo, não são mencionados os processos de rolamento e tombamento de matacões, atividades frequentes nas encostas brasileiras, comuns, sobretudo, na região sudeste (BANDEIRA, 2003). Esse fato trouxe a necessidade de se realizar novas pesquisas que considerassem as características de caráter regional por parte dos estudiosos. Nesse sentido, cabe destacar, no contexto brasileiro, as contribuições de Vargas (1985) e Costa Nunes (1969).

O primeiro apresentou ao mundo algumas das particularidades dos solos brasileiros, trazendo o conceito dos solos tropicais e identificando dois tipos: os solos tropicais residuais, derivados do intemperismo, e os solos tropicais superficiais, derivados da evolução na formação dos solos residuais e transportados. Costa Nunes (1969) trouxe a experiência do Rio de Janeiro, descrevendo os acidentes ocorridos na Serra das Araras, correlacionando com a intensa pluviosidade e características geotécnicas da região.

Reformulando a proposta de classificação de Varnes (1978), Augusto filho (1992) relacionou as características dos principais grupos de processos de escorregamentos à dinâmica ambiental brasileira. De forma simplificada, o autor descreveu os tipos de movimento de massa mais frequentes no Brasil, sendo agrupados em quatro tipos de movimento: rastejos, escorregamentos, quedas e corridas. O resumo dessa proposta está apresentado na Tabela 2 e, em seguida, cada tipo de movimento será tratado separadamente.

Vale salientar que as erosões, apesar de representarem movimentos de massa em taludes, não estão incorporadas na classificação por ser uma causa de grande preocupação em

relação aos danos que podem causar e, além disso, em virtude da existência de inúmeros agentes que constituem os mecanismos deflagradores dos processos erosivos, o autor optou por tratar esse fenômeno separadamente (GERSCOVICH, 2012).

Tabela 2. Características dos principais grandes grupos de movimento de massa

PROCESSOS	CARACTERÍSTICAS DO MOVIMENTO, MATERIAL E GEOMETRIA
RASTEJO	<ul style="list-style-type: none"> • Vários planos de deslocamento (internos); • Velocidades muito baixas (cm/ano) a baixas e decrescentes com a profundidade; • Movimentos constantes, sazonais ou intermitentes; • Solo, depósitos, rocha alterada/fraturada; • Geometria indefinida.
ESCORREGAMENTO	<ul style="list-style-type: none"> • Poucos planos de deslocamentos (externos); • Velocidades médias (km/h) a altas (m/s); • Pequenos a grandes volumes de material; • Geometria e materiais variáveis: <p>- Planares: solos pouco espessos, solos e rochas com um plano de fraqueza;</p> <p>- Circulares: solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas;</p> <p>- Em cunha: solos e rochas com dois planos de fraqueza.</p>
QUEDA	<ul style="list-style-type: none"> • Sem planos de deslocamento; • Movimentos tipo queda livre ou plano inclinado; • Velocidades muito altas (vários m/s); • Material rochoso; • Pequenos a médios volumes; • Geometria variável: lascas, placas, blocos etc.; • Rolamento de matacão; • Tombamento.
CORRIDA	<ul style="list-style-type: none"> • Muitas superfícies de deslocamento; • Movimento semelhante ao de um líquido viscoso; • Desenvolvimento ao longo das drenagens; • Velocidades médias a altas; • Mobilização de solo, rocha, detritos e água; • Grandes volumes de material; • Extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas.

Fonte: Adaptado de Augusto Filho (1992)

a) Rastejos

Os rastejos (ou fluência) são movimentos que se processam de forma lenta e contínua, podendo abranger grandes áreas da encosta afetada. Nesse tipo de movimento, não há superfície de ruptura bem definida, englobando, em geral, diversas camadas de solo e rocha,

com possibilidade de comprometer grandes massas de solo sem que haja, na área interessada, diferenciação clara entre o material em movimento e a região estável (GERSCOVICH, 2012).

Segundo Farah (2003), sua origem se dá, com mais frequência, nas variações climáticas sazonais, pela alternância do umedecimento com a secagem, merecendo destaque também a ininterrupta ação da gravidade nesse processo. Terzaghi (1950 apud SUZUKI, 2004) já trazia à discussão essas causas quando definiu dois tipos de rastejos: rastejos sazonais e contínuos. Os rastejos sazonais seriam provocados por variações de temperatura e umidade apresentando, portanto, comportamento variável ao longo das estações do ano, com maior intensidade nas estações chuvosas. Os rastejos contínuos seriam causados pela ação da gravidade, atingindo maiores profundidades e apresentando movimentos praticamente constantes ao longo do tempo.

Como a ordem de grandeza da movimentação correspondente, normalmente, a centímetros por ano, a ocorrência de rastejos pode ser identificada através da observação de diversos indícios indiretos, apresentados na Figura 3, que segue:

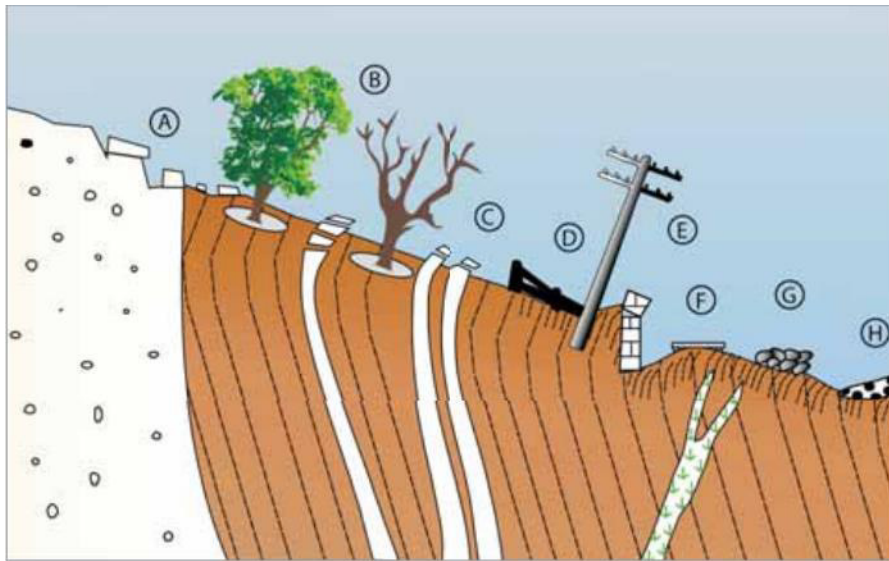


Figura 3. Perfil esquemático de encosta submetida a processo de rastejo. Fonte: Modificado de CHRISTOFOLETTI (1974), apud OLIVEIRA (2010)

- A. Deslocamento de blocos e trincas na superfície;
- B. Presença de árvores com troncos recurvados, devido à mudança de inclinação do terreno;
- C. Acumulação para jusante de blocos intemperizados e fraturados;
- D. Inclinação de postes, cercas e marcos;
- E. “Embarricamento” de muros de arrimo ou rupturas de muretas de proteção;

F. Deslocamento do eixo de rodovias e ferrovias e trincas em pavimentos;

G. Presença de matacões rolados;

H. Ocorrência de cascalheiras ou linhas de fragmentos de rocha (“stone lines”), na base do regolito (solo de alteração).

No que diz respeito à interferência humana, cortes em encostas de declividade acentuada, escavações, entre outras atividades podem também originar rastejos que, embora possuam uma lentidão característica, muitas vezes são precursores de movimentos mais bruscos, como os escorregamentos, podendo afetar desde pequenas obras, até grandes construções.

b) Escorregamentos

De acordo com Oliveira (2010), os escorregamentos constituem os movimentos de massa que mais têm provocado a perda de vidas humanas. É caracterizado por movimentos rápidos e de curta duração, com superfície de ruptura bem definida. O material deslizado pode ser composto por solos, rochas, detritos e até lixo doméstico. Independente do material existente, a ruptura ocorrerá na superfície de menor resistência (GERSCOVICH, 2012).

Quanto à velocidade de alcance de um escorregamento, Terzagui (1950, apud LIMA, 2002) identifica duas fases distintas. Durante a primeira fase do movimento, a massa avança com velocidade acelerada, crescendo de quase zero até a velocidade máxima, que dependerá da inclinação e natureza do terreno e da causa inicial do movimento. À proporção que ocorre o escorregamento, as forças que determinam o movimento decrescem e ele passa a ser retardado e para, ou assume o comportamento de um rastejo.

Conforme as condições geomorfológicas, Gerscovich (2012) classifica as superfícies de ruptura dos escorregamentos como: planares, circulares, em cunha, ou em combinação de formas (circular e plana), denominadas superfícies mistas. Os escorregamentos planares (Figura 4) ou translacionais, muito frequentes nas encostas serranas brasileiras, caracterizam-se pelas descontinuidades ou planos de fraqueza, ocorrendo ao longo de planos de estratificação ou falhas, aproximadamente paralelos à superfície do talude. Esse tipo de ruptura abrange solos superficiais, frequentemente até o contato com a rocha subjacente. Quando os planos de fraqueza se cruzam ou quando camadas de menor resistência não são paralelas à superfície do talude, a superfície de ruptura pode apresentar a forma de cunha (Figura 5).

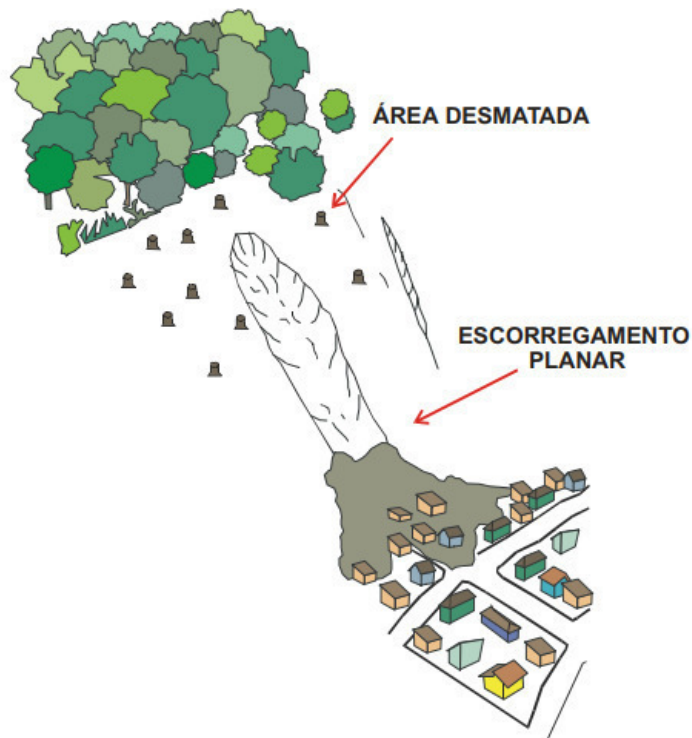


Figura 4. Escorregamentos translacionais ou planares. Fonte: UNESP/IGLA apud Lima (2002)

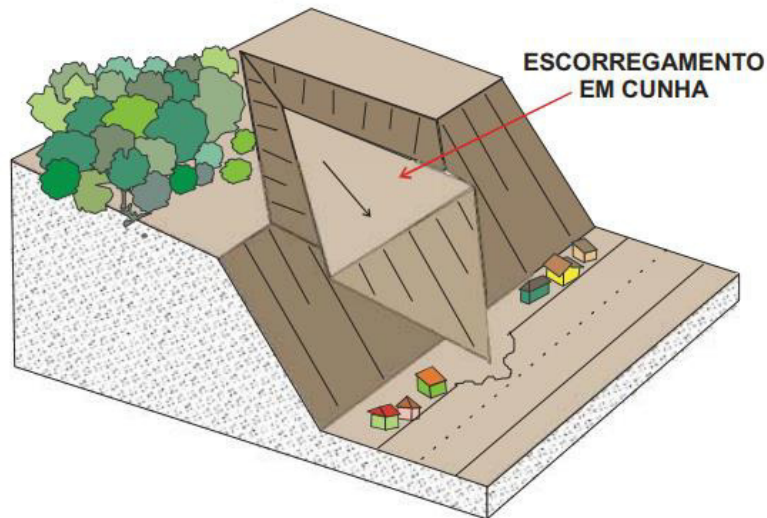


Figura 5. Escorregamento em cunha. Fonte: Oliveira e Brito (1998).

Nos escorregamentos rotacionais ou de superfície circular (Figura 6), a superfície de ruptura é bem definida e assume uma forma côncava. Esse tipo de escorregamento se apresenta normalmente em solos relativamente homogêneos e, a princípio, a força responsável pelo colapso é o peso da cunha.

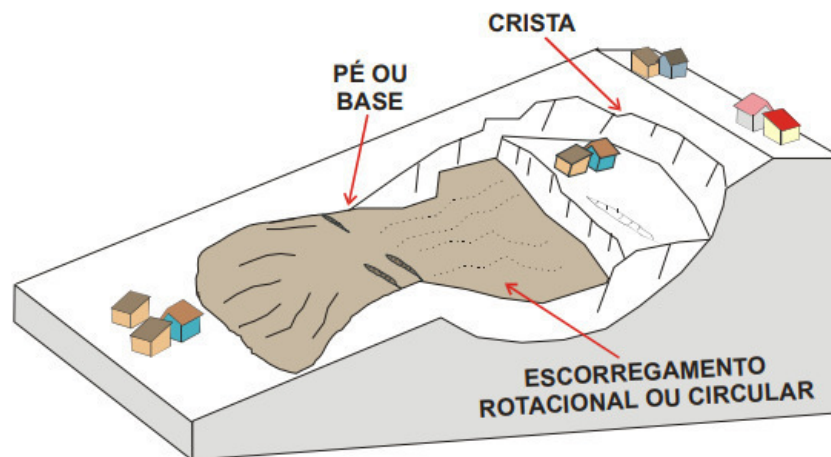


Figura 6. Escorregamento Rotacional ou circular. Fonte: Oliveira e Brito (1998).

c) Quedas

As quedas ou desabamentos são subsidências bruscas (movimentos de massa caracterizados pela ocorrência de deslocamento essencialmente vertical) que ocorrem em alta velocidade (GERSCOVICH, 2012). Sua velocidade pode alcançar a ordem de metros por segundo e abrange o destacamento de lascas, pedras ou blocos de material rochoso em movimento de queda livre ou ao longo de um plano inclinado.

A ocorrência desse tipo de movimento se dá pela perda da resistência mecânica de apoio do bloco, que pode ser uma superfície rochosa ou elementos como árvores e raízes. Pode ainda desenvolver-se a partir da erosão causada pela ação das águas pluviais e córregos, que lavam e escavam as camadas superficiais do solo, facilitando a liberação dos blocos e matacões encosta abaixo (OLIVEIRA, 2010), ou fatores antrópicos, como escavações, obras subterrâneas e vibrações.

A classificação de Augusto Filho (1992) identifica ainda dois exemplos de mecanismos de queda de blocos: por tombamento e por rolamentos de blocos ou matacões, como pode ser observado na Figura 7. Os tombamentos ocorrem principalmente em paredões de rocha ou solo, geralmente taludes de corte, que apresentam falhamentos e discontinuidades. O material desprendido gira em torno de um eixo horizontal. Já os rolamentos ocorrem de forma natural e consiste no rolamento, encosta abaixo, de blocos de rocha que se desprendem do terreno devido à perda de apoio em sua base devido, principalmente, à ação das águas pluviais.

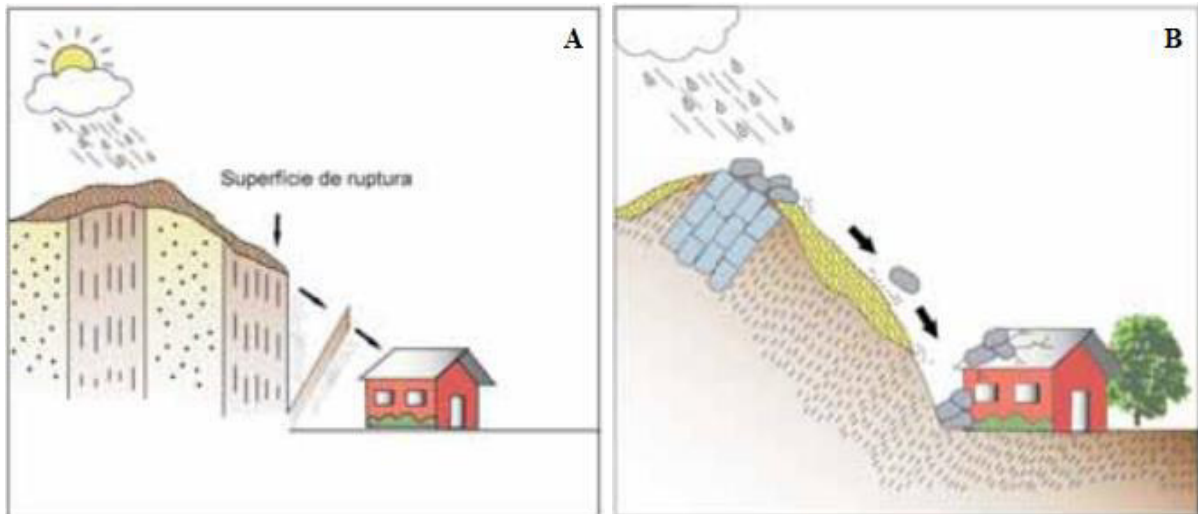


Figura 7. Exemplos de ruptura por queda. (A) Por tombamento, devido à presença de descontinuidades no maciço rochoso. (B) Por rolamento, devido à presença de blocos instáveis na encosta e ação da chuva. Fonte: Adaptado de Oliveira (2010).

d) Corridas

Os movimentos de massa denominados de corridas (Figura 8) são movimentos de alta velocidade, gerados pela completa perda das características resistentes do solo. Juntamente com os rastejos, as corridas podem ser encaradas com uma forma de escoamento, caracterizado pelas deformações ou movimentos contínuos, e, diferencia-se dos primeiros, principalmente pela velocidade com que se propaga.

Esses movimentos possuem grande poder destrutivo e atingem elevados raios de alcance, possuindo caráter essencialmente hidrodinâmico. Quando a concentração de água superficial se leva, ocorre a perda do atrito interno e o material perde resistência, dessa forma a massa de solo passa a se comportar como um líquido viscoso, percorrendo os caminhos de drenagem da encosta, naturais ou oriundos de erosão ou outros movimentos de massa, assumindo uma forma semelhante a uma língua.

Sua classificação é feita de acordo com as características do material envolvido, da quantidade de água e da velocidade de deslocamento da massa, dividindo-se em:

- Corrida de lama: na qual o material sólido predominante é o solo;
- Corrida de detritos: envolve uma mistura de vários tipos de materiais, como: solos, fragmentos de rochas, restos vegetais e outros.

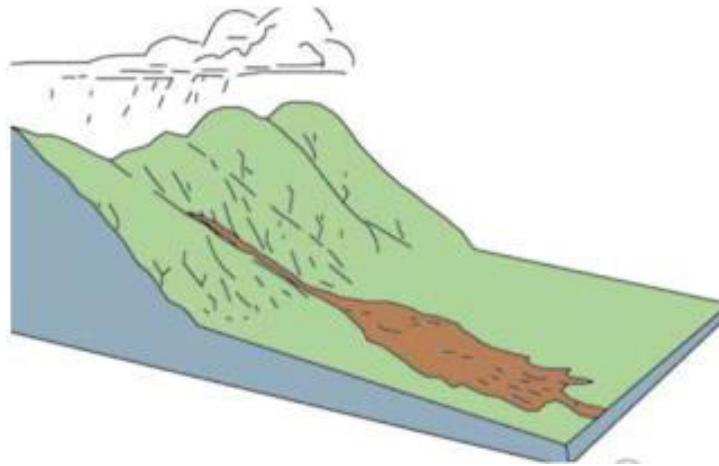


Figura 8. Esquema de uma corrida. Fonte: <https://labgeofurb.blogspot.com/2015/06/o-que-sao-movimentos-de-massa.html>

2.2.2. Processos de transporte de massa: Erosão

Erosões são fenômenos caracterizados pelo desprendimento e transporte de partículas de solo sob a ação dos agentes erosivos, tais como água, vento e geleiras (FARAH, 2003). O processo é um dos principais responsáveis pela destruição da estrutura do solo, ocorrendo tanto em encostas naturais, como em taludes de escavação e aterro, sendo a água pluvial, no caso do Brasil, o principal agente erosivo atuante.

Quando seus efeitos se restringem ao desprendimento e transporte de apenas partículas superficiais do solo, sem a formação de veios preferenciais, a erosão é dita laminar. Quando além das partículas superficiais, também há o desprendimento de partículas não superficiais, podendo se formar veios ou canais, atingindo outras camadas do solo, a erosão pode alcançar o estágio de sulcos ou ravinas, dependendo da profundidade dos canais, sendo ravinas os mais profundos. Caso a erosão evolua até atingir o lençol freático, comprometendo a estabilização do terreno e levando a ocorrência de desabamentos laterais ou afundamentos da superfície, esse estágio recebe o nome de voçoroca.

Apesar de consistir em um fenômeno que pode ser considerado de evolução natural, a erosão tende a se formar em áreas com vegetação escassa, sendo essa deficiência causada pela própria evolução natural do relevo ou pela ação do homem. Uma vez deflagrado o processo de transporte de massa, o evento tende a se processar de forma contínua, e sua velocidade de atuação, intensidade e possíveis danos causados dependerão das condições naturais ou antrópicas da área de ocorrência que possam vir a influenciar no processo.

As Figuras 9A e 9B trazem um exemplo de erosão do tipo costeira, que atinge a falésia do Cabo Branco, local que abriga o ponto mais oriental das Américas, na cidade de João

Pessoa. A falésia vem sofrendo há anos com o processo erosivo, intensificado pela ocupação de suas proximidades. Em toda a extensão da falésia, é possível observar a ocorrência de erosão marinha sobre a mesma, havendo degradação da sua base pela ação da força das ondas. Com a carência de vegetação e ação das chuvas, repetidas vezes há deflagração de deslizamentos ao longo de sua extensão, como está evidenciado na Figura 9B.



Fonte: Arquivo Pessoal



Foto: Danilo Alves/TV Cabo Branco/Arquivo. Fonte: <https://g1.globo.com/pb/paraiba/noticia/barreira-do-cabo-branco-volta-a-deslizar-por-causa-dos-ventos-e-mare-alta-em-joao-pessoa.ghtml>

Figura 9. Erosão na Barreira de Cabo Branco. (A) Agosto de 2017 e (B) Setembro de 2017.

2.3. MECANISMOS DEFLAGRADORES, CAUSAS E AGENTES DOS MOVIMENTOS DE MASSA

Os movimentos gravitacionais de massa podem ser considerados o resultado de uma sequência de eventos, desencadeados por diferentes causas possíveis e que produzem efeitos que culminam no desprendimento de solo ou rocha quando o maciço perde sua instabilidade. Segundo Araújo (2004), a ruptura ocorre quando as solicitações são maiores que a resistência ao cisalhamento dos materiais. Essa situação pode ser atingida caso haja aumento das tensões cisalhantes mobilizadas ou redução da resistência ao cisalhamento (GERSCOVICH, 2012).

Para Heidemann (2015), o mecanismo deflagrador é um estímulo externo que, associado a predisposições da encosta, gera a condição necessária para ocorrência da ruptura. Nesse sentido, os mecanismos deflagradores podem ser divididos em dois grupos (Tabela 3).

Tabela 3. Classificação dos fatores deflagradores dos movimentos de massa

AÇÃO	FATORES	FENÔMENOS GEOLÓGICOS/ANTRÓPICOS
Aumento da solicitação	Remoção de massa (lateral ou da base)	Erosão Escorregamentos Cortes
	Sobrecarga	Peso da água de chuva, neve, granizo etc. Acúmulo natural de material (depósitos) Peso da vegetação Construção de estruturas, aterros etc.
	Solicitações dinâmicas	Terremotos, ondas, vulcões etc. Explosões, tráfego, sismos induzidos
	Pressões laterais	Água em trincas Congelamento Material expansivo
Redução da resistência ao cisalhamento	Características inerentes ao material (geometria, estruturas etc.)	Características geomecânicas do material
	Mudanças ou fatores variáveis	Ação do intemperismo provocando alterações físico-químicas nos minerais originais, causando quebra das ligações e gerando novos minerais com menor resistência. Processos de deformação em decorrência de variações cíclicas de umedecimento e secagem, reduzindo a resistência. Variação das poropressões: Elevação do lençol freático por mudanças no padrão natural de fluxo (construção de reservatórios, processos de urbanização etc.) Infiltração da água em meios não saturados, causando redução das pressões de água negativas (sucção). Geração de excesso de poropressão, como resultado de implantação de obras. Fluxo preferencial através de trincas ou juntas, acelerando os processos de infiltração.

Fonte: Gerscovich (2012), adaptado de Varnes (1978)

A estabilidade de massas e rochas é afetada por fatores instabilizantes que aceleram a deflagração dos movimentos. Guidicini e Nieble (1984) definiram os fatores instabilizantes como causas e agentes, sendo causa a forma de atuação de determinado agente. As causas dos movimentos de massa representam as razões para que um determinado movimento tenha

ocorrido naquele local e naquele momento, incluindo diversos fatores: geológicos, morfológicos, físicos e antrópicos.

O estudo de Guidicini e Nieble (1984) agrupou os condicionantes naturais em duas classes: agentes predisponentes e agentes efetivos. Enquanto os primeiros se relacionam às características específicas do meio físico natural, os segundos podem modificar as condições de equilíbrio existentes inicialmente de forma progressiva (preparatórios), ou determinando a deflagração dos mecanismos de rompimento (imediatos).

Os autores ainda separaram as causas de instabilidade em três categorias:

- Causas internas: levam ao colapso sem modificar a geometria do talude e resultam de uma diminuição da resistência interna do material;
- Causas externas: provocam um aumento das tensões de cisalhamento sem diminuir a resistência do material;
- Causas intermediárias: são o resultado de efeitos causados por agentes externos no interior do talude.

A Tabela 4 mostra essa classificação:

Tabela 4. Agentes/Causas dos escorregamentos e processos correlatos segundo Guidicini e Nieble (1983)

Agentes	
Predisponentes	Complexo geológico, complexo morfológico, complexo climático hidrológico, gravidade, calor solar, tipo de vegetação original
Efetivos	Preparatórios Pluviosidade, erosão pela água e vento, congelamento e degelo, variação de temperatura, dissolução química, ação de fontes e mananciais, oscilação de nível de lagos e marés e do lençol freático, ação de animais e humana, inclusive desflorestamento
	Imediatos Chuvas intensas, fusão do gelo e neve, erosão, terremotos, ondas, ação do homem
Causas	
Internas	Efeitos das oscilações térmicas. Redução dos parâmetros de resistência por intemperismo
Externas	Mudança na geometria do sistema. Efeitos de vibrações. Mudanças naturais na inclinação das camadas
Intermediárias	Elevação do nível piezométrico em massas homogêneas. Elevação da coluna da água em descontinuidades. Rebaixamento rápido do lençol freático. Erosão subterrânea retrogressiva "piping". Diminuição do efeito coesão aparente.

Fonte: Guidicini e Nieble Apud Lima (2002)

Ao se investigar um movimento de massa, deve-se observar que, na maioria dos escorregamentos, não há agentes e causas deflagradores agindo de maneira isolada no evento, e sim um conjunto deles (LIMA, 2002). A deflagração acontece, portanto, após a atuação paralela de todos esses fatores. A identificação dos fatores responsáveis pela movimentação,

apesar de nem sempre ser suficiente para remover a causa, pode reduzir seus efeitos, a partir da adoção de medidas corretivas e preventivas.

2.3.1. Precipitações

Notadamente, apesar de inúmeros fatores atuarem como desencadeadores dos movimentos de massa, a pluviosidade representa o principal agente deflagrador imediato do processo, sobretudo na ocorrência de escorregamentos. A ocorrência de chuvas intensas e/ou duradouras tende a apresentar uma forte correlação com os movimentos de massa, em vista disso, pode-se observar que grandes acidentes relacionados a esses processos ocorreram em períodos chuvosos, a citar os desastres ocorridos em Santa Catarina (2008) e na região serrana do Rio de Janeiro (2011).

De acordo com Bandeira (2003), as chuvas são capazes de instabilizar encostas pelos seguintes mecanismos:

- Elevação do lençol freático, reduzindo a pressão efetiva e gerando forças de percolação;
- Preenchimento temporário de fendas, trincas e/ou estruturas em solos saprolíticos e rochas (fraturas, juntas, etc.), com geração de pressões hidrostáticas;
- Aumento da umidade, sem a elevação/formação de nível d'água (solos não saturados) reduzindo a resistência dos solos pela perda de sucção – “coesão aparente” (aumento do grau de saturação).

Com a atuação das chuvas, os parâmetros de coesão (principalmente) e ângulo de atrito diminuem substancialmente, acarretando a diminuição do fator de segurança, podendo motivar a instabilização da encosta. Com o acréscimo da umidade do solo, há um aumento do seu peso específico e da pressão da água, reduzindo a resistências do solo. Essas mudanças reduzem as forças resistentes e, conseqüentemente, o fator de segurança.

Os índices pluviométricos considerados críticos para a deflagração dos movimentos de massa dependem de fatores como: regime de infiltração do terreno, dinâmica das águas subterrâneas e o tipo de instabilização (LIMA, 2002). Em solos com baixo grau de saturação, a quantidade de água necessária para deflagrar um movimento é muito grande. Por outro lado, em áreas sujeitas frequentemente a precipitações, cujo solo possui uma umidade mais elevada, é muito mais provável a deflagração de um movimento de massa após uma precipitação típica. Também é possível observar que, geralmente, os índices pluviométricos deflagradores de escorregamentos induzidos são menores que o necessário para deflagrar um escorregamento natural.

As correlações entre chuvas e escorregamentos têm sido bastante estudadas ao longo dos anos por diversos autores. Por meio de relações empíricas, probabilísticas ou físico-matemáticas, os pesquisadores têm buscado estipular, a partir da análise de índices pluviométricos ao longo dos anos, um índice representativo da previsão de chuva crítica a fim de se prever eventos futuros e evitar novos desastres.

Nessa perspectiva, um trabalho pioneiro, em âmbito nacional, foi o realizado por Guidicini e Iwasa (1976). Os autores estabeleceram uma correlação entre pluviosidade em meio tropical úmido e os deslizamentos ocorridos no estado de São Paulo. Utilizando registros pluviométricos acumulados e a média anual da pluviosidade da região, suas análises permitiram chegar à conclusão de que, eventos com pluviosidade superior a 20% da pluviosidade média anual, significavam grande possibilidade de deflagração de escorregamentos de maiores proporções.

Outros estudos semelhantes têm sido realizados para diversas cidades brasileiras nos últimos anos, muitos com a colaboração da Defesa Civil do município. A partir de estudos envolvendo frequências temporais e espaciais das precipitações, tem-se elaborado modelos de previsão de ocorrência de movimentos de massa que facilitam o monitoramento de áreas de risco, beneficiando, sobretudo, a população que reside nessas áreas.

2.3.2. Vegetação

Outro fator que influencia na estabilidade das encostas é a cobertura vegetal. Diversos autores destacam a cobertura vegetal como um agente de equilíbrio das encostas, reduzindo a frequência e intensidade dos movimentos de massa. Entre os seus efeitos favoráveis, vale apontar: a redistribuição da água proveniente das chuvas, diminuindo e retardando sua infiltração no terreno, acréscimo da resistência do solo devido às raízes e proteção contra a erosão (reduzindo o impacto das gotas de chuva no terreno, por exemplo).

Por outro lado, a presença de vegetação também pode originar efeitos desfavoráveis, como o efeito de alavanca, produzido pelos troncos das árvores quando suas copas são atingidas por ventos, ou o efeito de cunha, aumentando a pressão das raízes ao penetrar em fendas, fissuras e canais do solo ou rocha, e ainda a sobrecarga vertical sobre a encosta causada pelo peso das árvores.

2.3.3. Ação Antrópica

O termo “ação antrópica” diz respeito a toda e qualquer intervenção provocada pelo homem no meio físico. Essas ações são impulsionadas por aspectos econômicos, sociais, políticos e culturais que norteiam as necessidades do indivíduo em seu estilo de vida.

O processo de uso e ocupação do solo é responsável por substanciais alterações no estado natural do relevo, influenciando na dinâmica natural de evolução das encostas. Para Bigarella et al. (2003, p.1035-1038) “a ação antrópica tem tido uma participação ponderável na desestabilização das vertentes da paisagem moderna. O homem ultimamente está alterando as vertentes de tal forma que ocasionalmente vastas áreas procuram um novo equilíbrio através de extensas movimentações de massa”.

Com a expansão das cidades, cada vez mais, surgem novos bairros, vilas e áreas exploradas. Na implantação dessas áreas, geralmente, altera-se ou interfere-se o estado natural de encostas e estas, se não reparadas ou monitoradas, passam a estar sujeitas a deslizamentos.

As ações humanas sobre as encostas, seja para a agricultura, pecuária ou ocupação urbana, têm alterado, sobretudo em áreas exploradas irregularmente, as características originais dos terrenos, podendo potencializar instabilizações. Existem diversas atividades que se traduzem em alterações de encostas naturais pela ocupação urbana, Farah (2003) destaca as seguintes:

- Retirada de vegetação, com alteração do ambiente fisiográfico;
- Movimentações de terra, com alteração das características geométricas da encosta (ex: corte ou aterro para execução de casa e ruas), podendo envolver ainda:
 - Exposição de solos originalmente situados em camadas mais profundas, mais suscetíveis frente a algum ou alguns dos processos de instabilização, por meio de cortes ou escavações;
 - Aterros com solos diferentes do original ou com condições de compactação e proteção diferentes do original.
 - Alteração do regime natural de escoamento e infiltração de águas pluviais, modificando, mais uma vez, o ambiente fisiográfico, abrangendo, quase sempre fluxos e lançamentos concentrados de água (execução ineficiente do sistema de drenagem);
 - Introdução de novas fontes de águas superficiais e sub-superficiais associadas a redes de água e de esgotos com vazamentos e a fossas negras e sépticas;
 - Deposição de materiais estranhos ao terreno natural (principalmente lixo e/ou entulho) à céu aberto em encostas ou margens dos rios, caracterizando sobrecargas, principalmente quando encharcados, e com comportamento geotécnico que pode afetar o do terreno original.

Almeida *et al.*(2014) analisaram a relação ente fatores antrópicos e a ocorrência de deslizamentos na cidade de São Luís, Maranhão. O estudo permitiu observar que as áreas de maior ocorrência de deslizamentos entre as analisadas correspondiam às áreas onde se tinha um maior número de ocupações por quilômetro quadrado (de 250 a mais de 500 habitantes/Km²). Nessas áreas, geralmente, as residências existentes foram construídas sem utilização de técnicas adequadas de construção e não há infraestrutura urbana adequada para atender a população considerada, reforçando a ideia de que a ocorrência de movimentos de massa pode estar diretamente ligada ao adensamento populacional por meio da ocupação do solo.

A Figura 10 representa um movimento de massa agravado pela ação do homem. Trata-se de uma cratera que se abriu no distrito de Mata Redonda, município de Alhandra-PB. No local, antes havia uma praça que desabou com o movimento de terra. A provável causa para o evento é a erosão, agravada pela pavimentação da comunidade e pelo lançamento de toda água servida em uma galeria que despejava junto à praça. Assim, devido à pouca resistência do solo, somado a infiltração da água (reduzindo a resistência do solo), o resultado foi a erosão do solo e assoreamento do rio Sarapó (próximo da área). Tem-se observado que a erosão aumenta a cada dia e novos movimentos de terra têm ocorrido, sendo acelerados pela disposição inadequada do lixo produzido pela comunidade, assim como a retirada da vegetação.



Figura 10. Exemplo de erosão agravada pela ação antrópica no distrito de Mata Redonda, Alhandra-PB. Fonte: Arquivo Pessoal

2.4. SOLUÇÕES DE BAIXO CUSTO PARA ESTABILIZAÇÃO DE TALUDES

Quando se supõe a possível instabilidade de um talude, medidas de estabilização devem ser tomadas a fim de se evitar a deflagração de um movimento de massa. A escolha de

da medida de estabilização mais adequada pra o talude depende das condições existentes, para isso, torna-se necessário a realização de estudos geotécnicos e geológicos, que irão permitir conhecer as características geotécnicas dos materiais existentes, além do comportamento daquele talude quanto a ruptura.

As obras de contenções são todas as estruturas que, ao serem implantadas em um talude, passam a oferecer resistência à sua movimentação, servindo como reforço do maciço. Diante do avanço da tecnologia, preocupação com o meio ambiente e busca por alternativas mais econômicas, rápidas e eficientes, novas metodologias para estabilização de taludes vêm sendo aplicadas em áreas de risco, atuando de forma isolada ou conjunta com técnicas tradicionais.

Entre as suas inúmeras vantagens, destaca-se o aspecto economia, visto que a maioria dessas técnicas não exige mão de obra especializada, equipamentos especiais ou insumos onerosos. Atualmente, já existem iniciativas governamentais em parceria com as comunidades que realizam a construção de contenções de taludes em regimes de mutirão. A Prefeitura do Recife, por exemplo, através do seu programa Parceria, disponibiliza material de construção e acompanhamento técnico para que os próprios moradores das áreas de risco entrem com a mão de obra. Algumas das alternativas de baixo custo para estabilização de taludes serão tratadas a seguir.

2.4.1. Solo-cimento ensacado

Esse tipo de contenção é constituído de sacos de poliéster ou materiais semelhantes, preenchidos por solo e cimento, em proporções estabelecida previamente, dispostos em camadas. Essa técnica se sustenta no fato de a mistura do solo e do cimento resultar em um material com melhores características, principalmente maior resistência ao cisalhamento.

Na área geotécnica, o solo-cimento ensacado pode ser usado na construção de muros de gravidade ou para proteger o talude a nível superficial, sendo indicado para solos com baixa capacidade de carga, pois sua estrutura é flexível. Em casos de erosão no estágio de voçorocas ou outras formas erosivas menos avançadas, representa uma boa opção para a restauração do relevo afetado.

Sua principal vantagem é a facilidade com se adapta à topografia, aliada à facilidade e, conseqüentemente, rapidez de execução. A mão de obra necessária para a sua execução necessita de mínimo ou nenhum treinamento e não há necessidade de equipamentos especializados.

É importante salientar que, tendo em vista o melhor desempenho do muro executado e durabilidade e economia, o ideal é utilizar areia argilosa na mistura (50 a 90% de areia). Quanto maior a porcentagem de argila, maior a quantidade necessária de cimento. Solos com grande teor de matéria orgânica causa retardamento nas reações de hidratação do cimento, não sendo indicada sua utilização.

Os sacos devem ser preenchidos por uma mistura cimento-solo da ordem de 1:10 a 1:15 (em volume) e quando a mistura se solidifica, eles deixam de ser necessários em termos estruturais. No local da construção, os sacos são dispostos em camadas horizontais de forma que sejam posicionados de forma desencontrada e, relação à camada inferior, garantindo o intertravamento entre os sacos. Cada camada deve ser compactada para diminuir os vazios. A altura máxima recomendada para a utilização de muro de solo-cimento ensacado é de 4 a 5 metros. A Figura 11 mostra um muro de solo-cimento ensacado construído no município de Cabo de Santo Agostinho-PE.



Figura 11. Muro de solo-cimento ensacado no município do Cabo de Santo Agostinho-PE. Fonte: Santana (2006).

Do ponto de vista econômico, a alternativa de muro de solo-cimento ensacado se torna uma boa opção diante do seu baixo custo quando comparado a outras técnicas mais utilizadas, como muro de gravidade de concreto armado. Santana (2006), em seu estudo sobre soluções de engenharia para a estabilização de encostas ocupadas na região de Metropolitana do Recife-PE, estimou os custos de diferentes propostas para estabilização de uma encosta

localizada no bairro Ibura, em Recife. Os custos foram obtidos a partir de um pré-dimensionamento, baseados em outras obras existentes na região e desconsiderando custos como limpeza e remoção de entulho. O resultado se apresenta na Tabela 5 abaixo, onde é possível observar que o muro de solo-cimento se mostrou a alternativa mais vantajosa economicamente, sendo considerada pelo autor, juntamente, com o muro de Gabiões, as soluções mais seguras e adequadas para o local.

Tabela 5. Comparação de custos entre diferentes propostas de estabilização

<i>Tipo de solução</i>	Custos em reais (R\$)
Muro de pedra rachão	34.150,00
Muro de solo-cimento	22.800,00
Muro de gabiões	45.400,00
Solo reforçado	85.616,08

Fonte: Santana (2006).

Costa e Cunha (2018) levantaram os custos, em reais, do m³ de diferentes métodos para as seguintes aplicações: contenção de taludes de margens de córregos, controle da erosão e contenção de encostas (Tabela 6). Para as três aplicações, o solo-cimento ensacado se mostrou a alternativa mais econômica, enfatizando essa técnica como uma ótima opção para áreas mais pobres e com problemas de caráter emergencial.

Tabela 6. Comparação dos custos (em m³) de diferentes métodos para contenção e proteção de taludes

APLICAÇÃO	PROCEDIMENTO	CUSTO EM R\$ (M³)
CONTENÇÃO DE TALUDES AS MARGENS DE CÓRREGOS	ENROCAMENTOS COM PEDRA	R\$154.57
	SOLO-CIMENTO RIP-RAP	R\$61.20
CONTROLE DE EROSÃO	GRAMA COM MALHA DE CONTENÇÃO	R\$143.08
	SOLO-CIMENTO RIP-RAP	R\$61.20
O USO NA CONTENÇÃO DE ENCOSTAS	MURO DE ARRIMO COM CONCRETO ARMADO	R\$217.69
	SOLO-CIMENTO RIP-RAP	R\$61.20

Fonte: Adaptado de COSTA & CUNHA (2018).

2.4.2. Muro de Pneus

Os muros de pneus (Figura 12) funcionam como muros de gravidade e são construídos a partir do lançamento de camadas horizontais de pneus usados, presos entre si com corda ou arame e preenchidos com solo (inclusive o disponível no local) compactado. Em comparação aos materiais convencionais, a utilização de muros de pneus se apresenta como uma solução que combina elevada resistência mecânica com baixo custo (GEORIO, 2000).

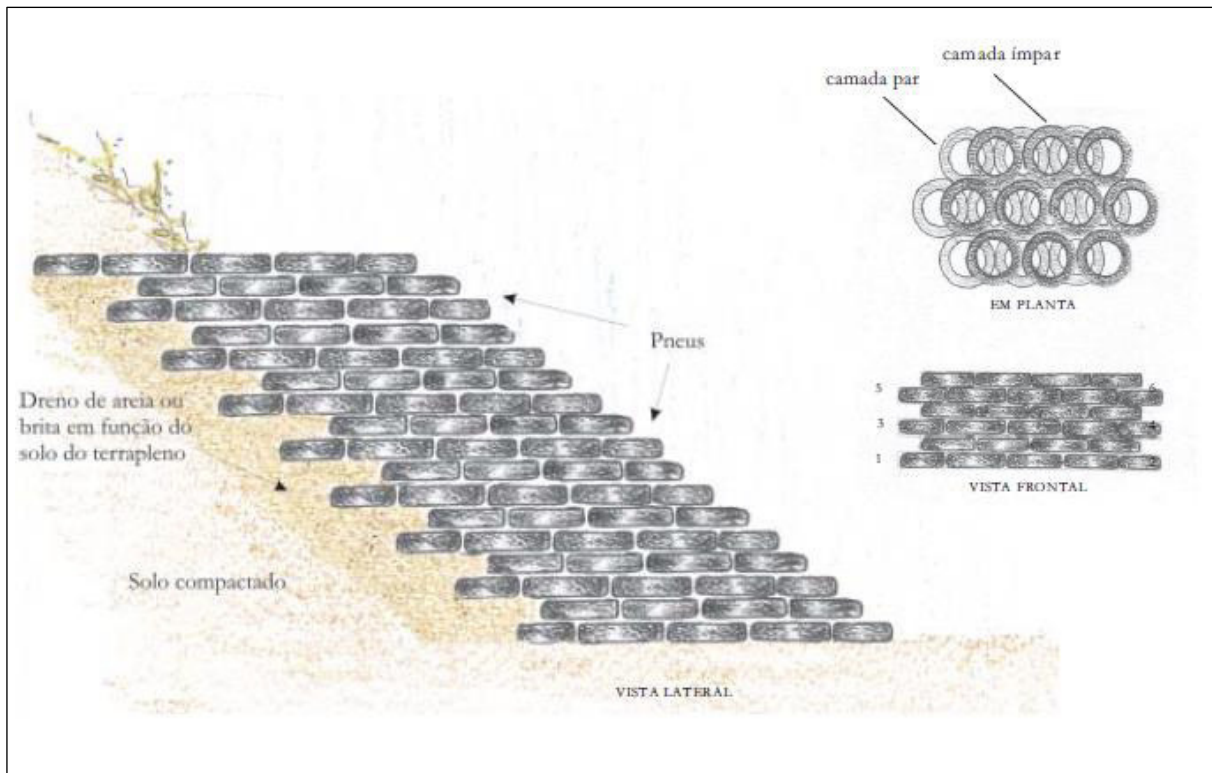


Figura 12. Exemplo e detalhe de sistema construtivo de solo-pneu. Fonte: Adaptado de Sieira (1998)

Por ser uma estrutura bastante flexível, o muro de pneus responde muito bem a deformações horizontais e verticais e a recalques provocados no terreno não sendo, portanto, indicado para obras pouco deformáveis. Se tratando de um muro de gravidade, essa alternativa de estabilização se limita a alturas inferiores a 5m e sua utilização dependerá da disponibilidade de espaço para sua base, que necessita de uma largura da ordem de 40 a 60% da altura do muro.

Para se garantir o correto funcionamento da estrutura, as camadas de pneus devem ser posicionadas descasadas para minimizar os espaços. Caso o solo de preenchimento dos pneus tenha alto teor em argila, deve-se prever barbacãs com dreno de areia ou brita para garantir a drenabilidade do sistema. Utiliza-se, ainda, um revestimento para proteger a face do muro e

evitar o carreamento do solo de preenchimento. Entre as principais opções de revestimento estão: alvenaria em blocos de concreto, concreto projetado sobre tela metálica, placas pré-moldadas ou vegetação.

Segundo Souza (2002), uma das principais vantagens desse tipo de contenção vem da reutilização de pneus descartados, o que evita que sejam lançados em locais impróprios, normalmente em pilhas ao ar livre, agredindo os solos e servindo de fonte criadora de doenças epidêmicas (como a dengue e febre amarela), além representar uma vantagem ecológica. Essa iniciativa segue a orientação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei 12.305/2010), que regulamenta a gestão dos resíduos sólidos.

O autor fez um comparativo dos custos de diferentes estruturas de contenção que funcionassem como muros de gravidade. Na análise foram desconsiderados custos adicionais, como reaterro e drenagem. Para melhor visualização, foram analisados muros de diferentes alturas até a altura de 5m, considerada a altura máxima que torna a alternativa viável economicamente. A Figura 13 abaixo traz o quadro comparativo do custo por metro linear das diferentes soluções consideradas, para contenção de taludes.

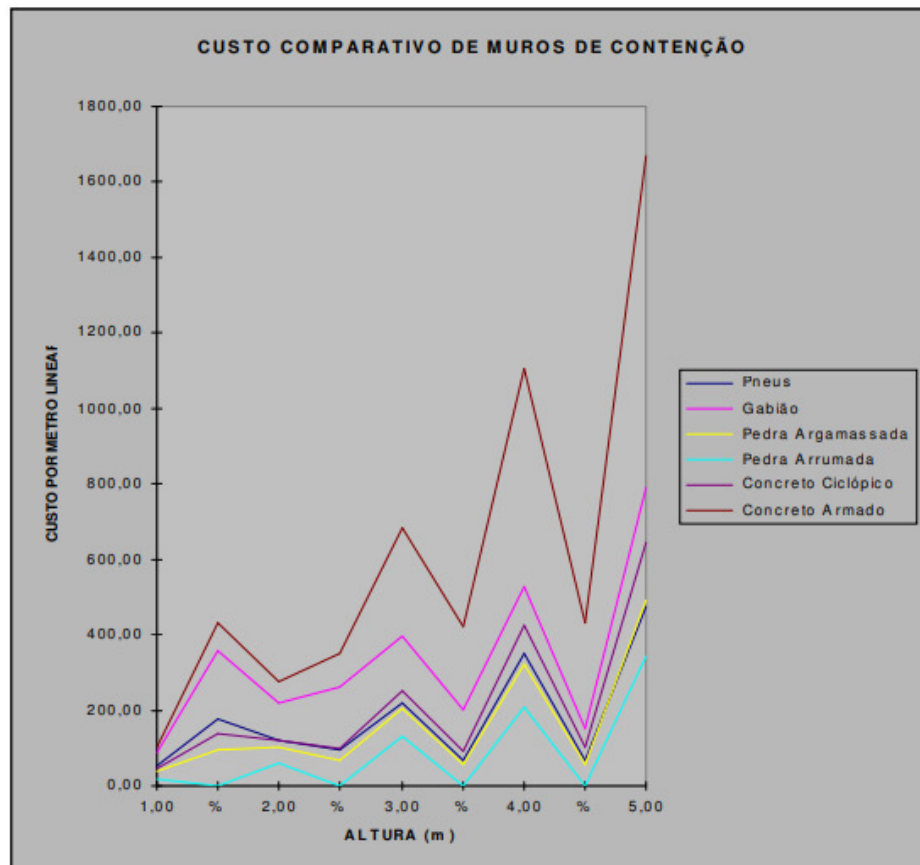


Figura 13. Gráfico comparativo das soluções de muro. Fonte: Souza (2002)

É importante frisar que preço do pneu é o que mais onera a construção do muro e, pelo fato de a compra desse insumo ser feita de maneira informal, o preço pode variar de vendedor para vendedor, influenciando diretamente o preço total do muro. No gráfico acima, é possível observar que, para uma altura de 5m o muro de pneus tem custo aproximadamente igual ao do muro de pedra argamassada. E para todas as alturas consideradas, o tradicional muro de concreto armado se apresentou como o mais oneroso entre as soluções consideradas.

2.4.3. Geossintéticos

Os geossintéticos são produtos poliméricos que vêm substituindo ou aprimorando técnicas de engenharia existentes, permitindo, a partir do avanço da tecnologia, novas combinações de metodologias e materiais. O resultado é o emprego de soluções mais rápidas, mais leves, mais confiáveis e mais econômicas. Em obras geotécnicas e de proteção ao meio ambiente, o geossintético pode cumprir diversas funções, dentre as quais, se podem citar: drenagem, filtração, proteção, reforço, impermeabilização e controle da erosão superficial (VERTEMATTI, 2015).

Na função de reforço, o geossintético oferece sua resistência à tração para reforçar e/ou restringir deformações nas estruturas geotécnicas. Nesse sentido, sua presença como elemento de reforço possibilita uma redistribuição global das tensões e deformações.

De modo geral, sua degradação ambiental sofrida ao longo dos anos é ínfima quando comparado a outros materiais que desempenham as mesmas funções. Do ponto de vista de execução, Vertematti (2015) lista algumas das inúmeras vantagens de se adotar geossintéticos como elementos de reforço:

- a) Devido à redistribuição dos esforços, possibilita a construção de taludes e aterros mais íngremes;
- b) Minimiza o impacto ambiental decorrente das obras de contenção;
- c) Permite a adoção de diferentes tipos de acabamento da face dos taludes;
- d) Permite execução da obra em áreas de difícil acesso e utilização de solos disponíveis no local da obra;
- e) Permite o uso de mão de obra não qualificada e equipamentos simples;
- f) Reduz consideravelmente o tempo de concentração da obra;

Os geossintéticos mais empregados como reforço de solos são os geotêxteis tecidos e não tecidos, geogrelhas, geotiras e geocompostos resistentes (Figuras 14 e 15). Os geotêxteis

consistem em materiais têxteis, compostos de fibras cortadas, filamentos contínuos, monofilamentos, laminetes ou fios, formando uma manta de alta resistência, capaz de desempenhar diversas funções. Já as geogrelhas são formadas por elementos resistentes à tração, integralmente conectados, possuindo uma estrutura em forma de grelha, com grandes aberturas e vazios e atuando, basicamente, como elemento de reforço de solos.



Figura 14. Geotêxtil aplicada em reforço de solo
Fonte: Geossintec

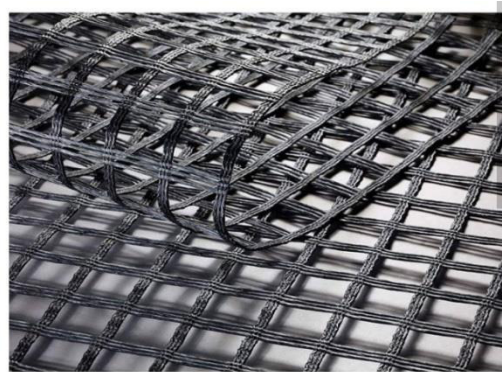


Figura 15. Geogrelha aplicado em reforço de solo
Fonte: Huesker®

A escolha de determinado tipo de geossintético para um sistema de contenção dependerá, principalmente, da análise econômica e de condições impostas pelo próprio meio. Por exemplo, quanto mais alto for o muro, maiores serão as tensões a serem suportadas pelo geossintético. Normalmente, as geogrelhas são as que mais se adequam a muros com altura superior a 4 metros, enquanto os geotêxteis se tornam mais vantajosos para muros menores.

Para muros com deformações indesejáveis em longo prazo, as geogrelhas são mais recomendadas, seguidas dos geotêxteis reforçados. Em ambientes quimicamente agressivos, as geogrelhas suportam melhor as adversidades pela maior espessura dos seus elementos, quando comparadas aos geotêxteis não-tecidos, os quais também se danificam mais facilmente em solos mais granulares e com grãos mais angulosos (VERTEMATTI,2015). Benjamim (2006) ressalta que a manta de geotêxtil possui baixa resistência à tração e maior deformação durante a instalação quando comparada a geogrelha.

Com relação aos sistemas construtivos de muros de solo reforçado com geossintéticos, atualmente são identificados os seguintes tipos: sistemas autoenvelopados, sistemas com blocos segmentais, sistemas híbridos, sistemas com painéis modulares e painéis integrais.

Nos sistemas autoenvelopados, o próprio geossintético confina lateralmente o solo entre duas camadas de reforço por meio da sua dobra e ancoragem no interior do muro (Figura 16). Outras técnicas de autoenvolvimento bastante promissoras são as que utilizam uma forma perdida, constituída de uma tela eletrossoldada e tensores metálicos, indicados

para o uso de geogrelhas. O acabamento definitivo pode ser com concreto projetado, para muros, ou revestimento vegetal, para taludes.

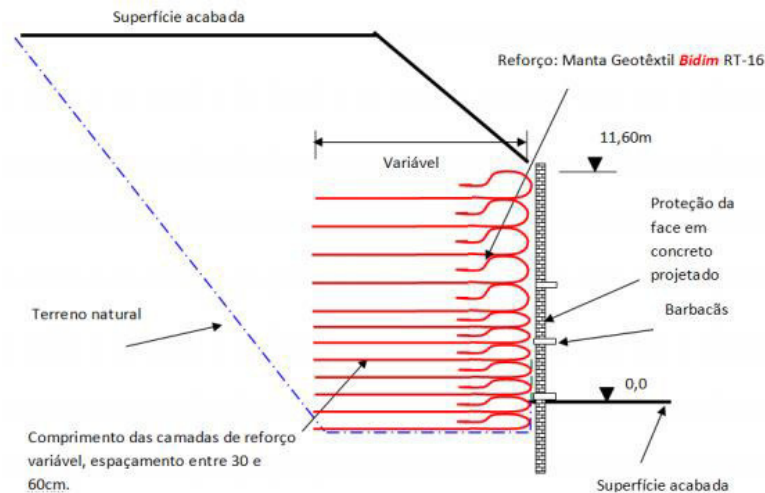


Figura 16. Seção transversal de muro em solo reforçado. Fonte: Bidim®

Os sistemas com blocos segmentados consistem na utilização de elementos pré-fabricados de concreto, normalmente blocos leves, que são utilizados como fôrma lateral para compactação das camadas e o próprio acabamento. Os blocos possuem dispositivos de encaixe entre si e podem ser facilmente montados.

Sistemas híbridos representam a junção dos sistemas com blocos segmentados às técnicas de autoenvolvimento, sendo mais empregado para reforços com geotêxteis.

No sistema com painéis modulares, os painéis funcionam como fôrma e exigem mecanização para o seu manuseio. Por outro lado, as paredes integrais são estruturas altas, em que cada elemento de face possui a altura total do muro.

A tabela 7 abaixo compara as características dos sistemas construtivos citados mostrando que, do ponto de vista dos custos, os sistemas de autoenvolvimento e autoenvolvimento com fôrmas perdidas são os mais vantajosos.

Tabela 7. Comparação entre as técnicas construtivas de muros de solo reforçado com geossintéticos

SISTEMA CONSTRUTIVO	REFORÇO MAIS APLICÁVEL	ESTÉTICA	TOLERÂNCIA A DEFORMAÇÕES	CONTROLE DIMENSIONAL	CUSTOS
Autoenvolpado	Geotêxteis	Deficiente	Tolerante	Ruim	Baixo
Autoenvolpado com fôrmas perdidas	Geogrelhas	Deficiente	Tolerante	Regular	Baixo
Blocos segmentais	Geogrelhas	Boa	Regular	Bom	Regular
Híbridos	Geotêxteis	Regular	Regular	Regular	Regular
Painéis modulares	Geogrelhas ou geobarras	Boa	Pouco tolerante	Muito bom	Elevado
Paredes integrais	Geogrelhas ou geobarras	Boa	Pouco tolerante	Muito bom	Elevado

Fonte: Adaptado de Vertematti (2015)

2.4.4. Retaludamento

Essa técnica corresponde a uma obra de estabilização sem estrutura de contenção. Consiste basicamente em diminuir os esforços solicitantes no maciço a partir de corte, aterro ou suavizando a inclinação do talude. É a técnica mais utilizada devido, principalmente, a sua simplicidade e eficácia. A alteração geométrica de um talude aparece como solução rápida de fácil execução e de menor custo na maioria dos casos. Há casos, entretanto, que a geometria exige volumes excessivos de terra, onerando os trabalhos de terraplanagem. Nesses casos, é mais viável optar por obras de contenção ou obras de drenagem. A Figura 17 demonstra o esquema de um retaludamento.

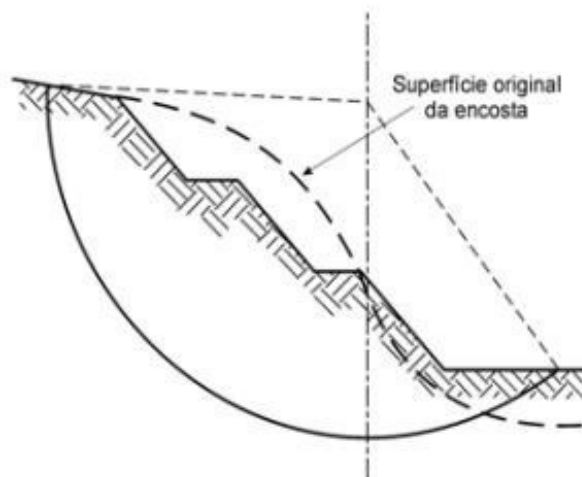


Figura 17. Retaludamento. Fonte: Massad, 2003

2.4.5. Grampeamento com face vegetada

Essa técnica se mostra uma opção alternativa entre a utilização das tradicionais placas de concreto, cortinas e outros sistemas convencionais. Ela vem ganhando espaço no mercado nacional devido a sua flexibilidade, apelo ambiental e rapidez na construção. Nessa técnica, o grampeamento é realizado da maneira tradicional com a inclusão de grampo, na maioria das vezes de barra de aço, revestidos com argamassa, entretanto, há a substituição do concreto projetado por um geossintético (geomanta) associado a uma malha de arame de aço.

A geomanta assume a função de controle de erosão, facilitando o nascimento de vegetação e a tela de aço funciona como reforço entre os grampos. Oliveira e Silva (2018) aplicaram essa técnica em uma encosta na cidade de Salvador e constataram que a solução de face vegetada apresenta-se 32% mais econômica que a de face em concreto, possui maior interação com o meio ambiente, ajuda a reduzir o pico das enchentes urbanas, com armazenamento de parte do volume escoado, entre outras vantagens. As Figuras 18 e 19 mostram, respectivamente, a aplicação da geomanta e a situação da obra três anos depois de finalizada.



Figura 18. Aplicação a geomanta reforçada com malha de dupla torção. Fonte: Oliveira e Silva (2018)



Figura 19. Situação atual do talude. Fonte: Oliveira e Silva (2018)

2.4.6. Muro de gabiões

Os muros de gabiões (Figura 20) são gaiolas metálicas preenchidas com pedras arrumadas manualmente e construídas com fios de aço galvanizado em malha hexagonal com dupla torção (GEORIO, 2000). O arame que compõe os gabiões é galvanizado e possui elevada resistência mecânica, sendo capaz de resistir muito bem às intempéries. A base de um muro de gabião possui, normalmente, cerca de 40 a 60% da altura total.

Na região de transição entre o gabião e o retroaterro, utiliza-se normalmente geotêxtil ou areia grossa como elemento filtrante, evitando a entrada de solo para dentro da estrutura do gabião. As principais vantagens do uso do gabião são: custo reduzido, principalmente há disponibilidade de blocos de pedras no local, flexibilidade elevada, resistência elevada e permeabilidade elevada. Sua construção é rápida e adapta-se bem com a vegetação local.

Entre as desvantagens desse tipo de contenção estão: limitação da altura, elevado consumo de material, necessidade de muito espaço e peso elevado.



Figura 20. Contenção com muro de gabões. Fonte: Escola Engenharia

Magalhães e Azevedo (2016) realizaram uma análise técnica e econômica de diferentes estruturas de contenção para um mesmo talude, em diferentes alturas. O resultado está representado na Figura 21. A utilização de muro de gabião se mostrou a mais econômica para a maioria das alturas analisadas, entretanto, cabe destacar que, tecnicamente, além de se tornar mais onerosa, para grandes alturas essa solução não é indicada por não suportar grandes carregamentos.

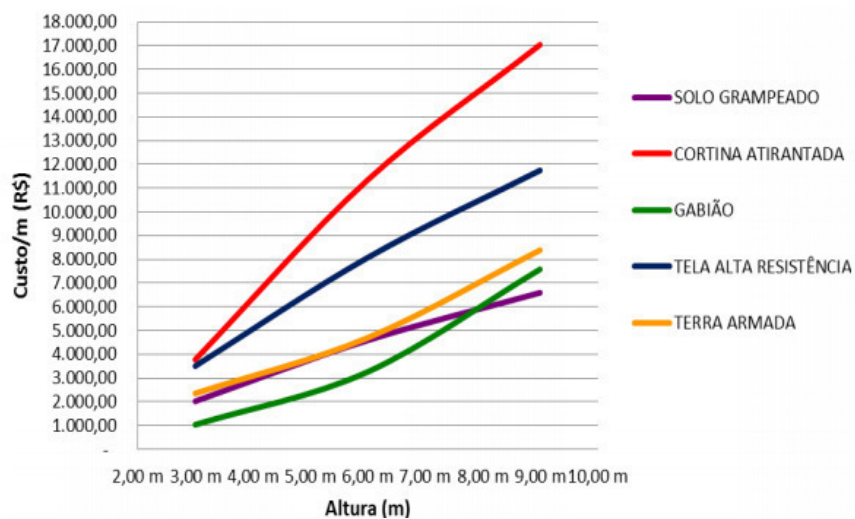


Figura 21. Contenções: Custo por metro linear (R\$) x Altura. Fonte: MAGALHÃES e AZEVEDO (2016)

3. METODOLOGIA

3.1. JOÃO PESSOA E ÁREAS DE RISCO

João Pessoa é a capital, maior centro econômico e financeiro, e o município mais populoso do Estado da Paraíba, com população, estimada pelo IBGE em 2018, de 800.323 habitantes. Com uma área total de 211,5 km², o Município possui uma densidade demográfica de 3.784,03 hab/km². A Figura 22 a seguir, mostra a localização do Município de João Pessoa.

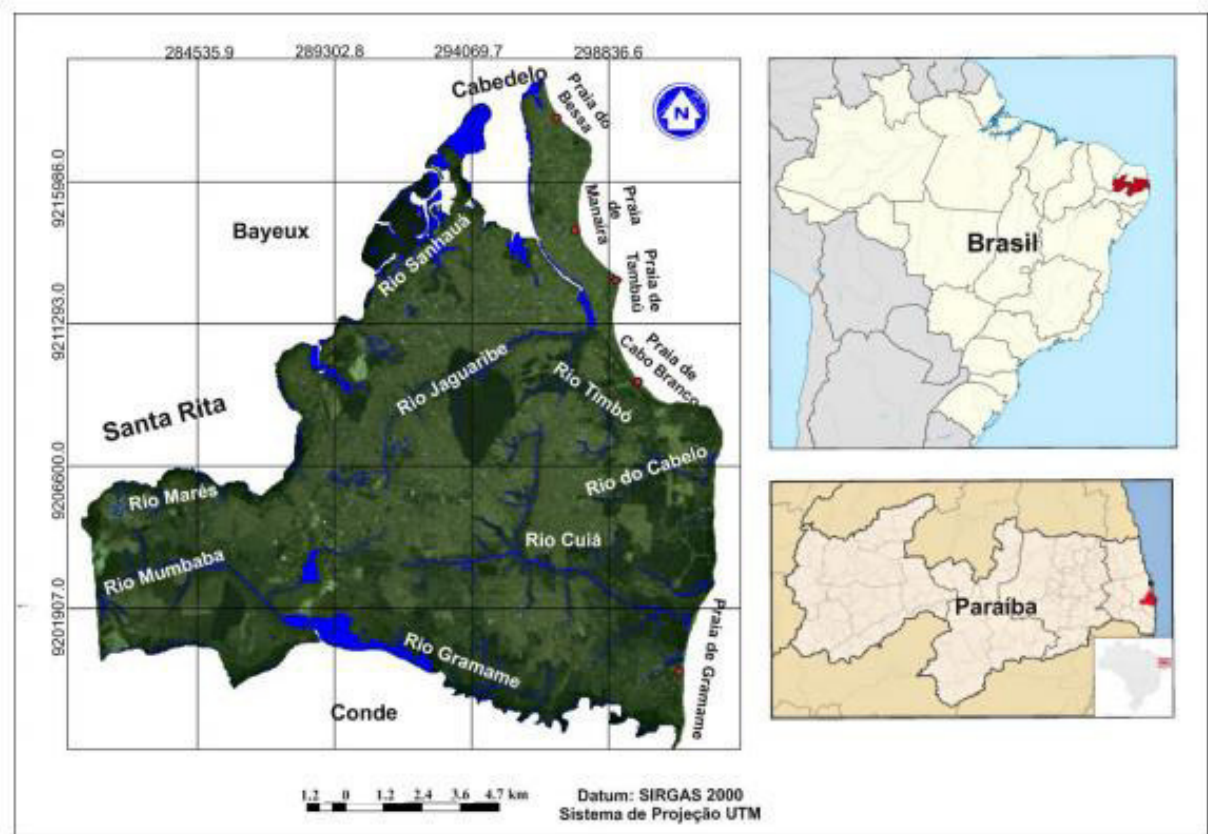


Figura 22. Localização do município de João Pessoa. Fonte: Google Earth (2018) e Google Maps

Localizada na porção mais oriental das Américas, com latitude sul de 07°06'54'' e longitude oeste de 34°51'47'', a cidade teve seu crescimento urbano intensificado, a partir, sobretudo da década de 1960, como foi experimentado por muitas cidades brasileiras. Com o aumento da urbanização, aliado à falta de planejamento urbano e especulação imobiliária nas áreas mais próximas da orla marítima, as encostas e vales de rios passaram a ser ocupadas pela população mais pobre e surgiram as áreas de risco.

SILVA (2016) afirma que estas áreas apresentam característica de vulnerabilidade social e ambiental, constituídas por famílias de baixa renda em áreas com probabilidade de inundações, alagamentos, deslizamentos e moradias precárias suscetíveis a desabamentos,

devido às suas instalações nas margens dos rios, como também no topo e sopé das encostas das áreas críticas e a situação se agrava notadamente nos períodos das chuvas.

A partir de dados fornecidos pela Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil de João Pessoa (COMPDEC-JP), órgão responsável monitoramento das áreas de risco, Silva (2018) apresentou um levantamento das comunidades que se encontram em áreas de risco e o tipo de risco que enfrentam, totalizando 27 áreas de risco, distribuídas entre os 65 bairros da capital paraibana (Tabela 8).

Tabela 8. Comunidades em Área de Risco na cidade de João Pessoa

DESCRIÇÕES / IDENTIFICAÇÃO					Número de domicílios afetados pelo tipo de risco		
Nº	Comunidade	Bairro	População	Domicílios	Desmoronamento	Deslizamento	Alagamento/ Inundação
1.	Saturino de Brito	Trincheiras	2.100	500	150	325	****
2.	Santa Clara	Castelo Branco II	1.750	350	105	210	35
3.	São Rafael	Castelo Branco/ R. Tabajara	1.800	345	52	86	173
4.	Tito Silva	Miramar	1.900	380	57	95	190
5.	São José	São José	2.000	402	60	101	201
6.	São Judas tadeu	Alto do Mateus	1.030	206	41	72	****
7.	Boa Esperança	Cristo	5.200	1.050	210	368	105
8.	Maria de Nazaré	Funcionarios II	2.250	500	125	175	****
9.	Riacho/Riachinho	13 de Maio	950	210	53	74	21
10.	Chatuba	Manaira	1.900	361	108	****	253
11.	Sta Emilia de Rodath	Ilha do Bispo	1.700	400	120	****	240
12.	Porto do Capim	Varadouro	550	130	52	****	78
13.	Felipéia	Tambiá	205	41	16	25	****
14.	Beira da Linha	Alto do Mateus	1.400	280	28	84	168
15.	Barreira /Cabo Branco	Cabo Branco / Rua José Eduardo de Holanda	450	90	****	63	****
16.	Comunidade "S"	Roger	930	193	58	19	77
17.	Sta. Bárbara	Valentina	1.500	300	60	90	***** *
18.	Nova República	Geisel	2.200	480	96	****	192
19.	Arame	Grotão	450	100	20	40	****
20.	Bananeiras	Grotão	1.100	240	60	96	
21.	Porto de João Tota	Mandacaru	2.500	600	60	****	240
22.	Jardim Coqueiral	Mandacaru	3.300	760	152	****	266
23.	Rua Ari Barroso	Alto do Mateus	180	45	9	36	****
24.	São Geraldo	Rua: São Geraldo Nº 101/110 (Ptº de referencia).	100	25	8	****	10
25.	KM-19/ BR-230	Castelo Branco - II	340	85	17	68	****
26.	Padre Hildom	Torre	1.320	330	66	****	132
27.	Renacer - I Distrito Mecânico/Varadouro	Distrito Mecânico / Varadouro	360	90	18	72	****
TOTAL			39.465	8.493	1801	2098	2380

Fonte: Silva (2018), a partir de dados da COMPDEC-JP

Além das ocupações inadequadas e falta de planejamento, existem outros fatores que tornam essas áreas mais suscetíveis aos movimentos de massa, como o clima, geologia e geomorfologia. O clima de João Pessoa é do tipo tropical úmido, com temperatura média anual de 25,2 °C e pluviosidade média anual de 1888 mm, concentrados entre os meses de abril e junho. Silva (2018) fez a distribuição temporal dos escorregamentos por meses do ano, corridos na cidade de João Pessoa no período de 2014 a 2017 (Figura 23) e constatou que cerca de 82% dos fenômenos ocorridos no período (64 fenômenos) se deram entre os meses de março a julho, meses caracterizados por elevados índices pluviométricos.

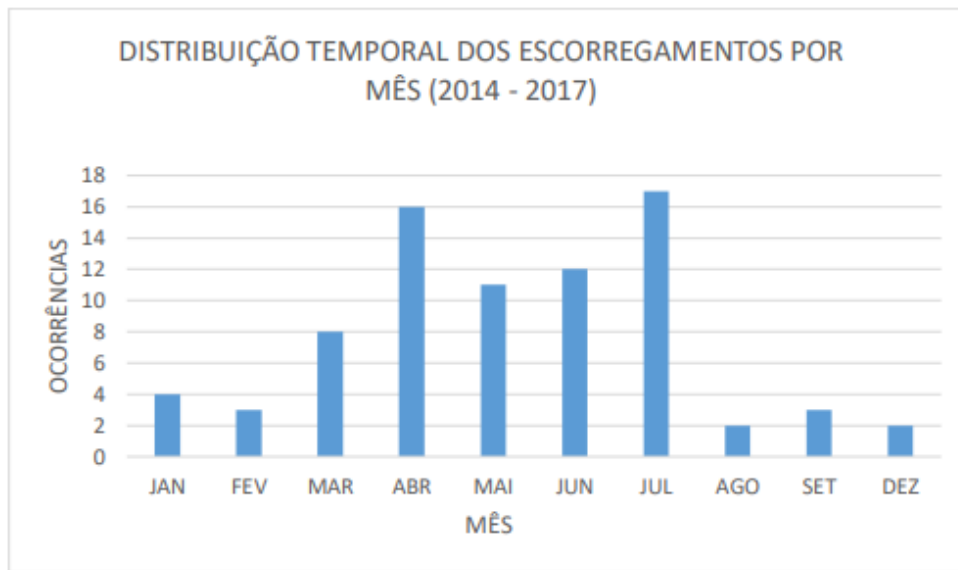


Figura 23. Gráfico de ocorrências de deslizamentos por mês no período de 2014 a 2017, na cidade de João Pessoa. Fonte: Silva (2018), a partir dados da COMPDEC-JP.

A localização do município de João Pessoa se dá, em maior parte, sobre a unidade litoestratigráfica denominada de Formação Barreiras. Arai (2006) define a Formação Barreiras como sendo uma cobertura sedimentar terrígena e continental que abrange uma região que estende do estado do Rio de Janeiro até o Amapá. Quanto à idade da Formação Barreiras, ainda não há uma opinião unânime, mas muitos estudos atribuem ao Mioceno à idade dessa formação. Essa incerteza se deve ao fato de ela ser um material afóssil.

Furrier et. al. (2006) afirmam que os sedimentos da Formação Barreiras provêm, basicamente, dos produtos resultantes da ação do intemperismo sobre o embasamento cristalino, localizado mais para o interior do continente. Os autores ainda afirmam que a Formação Barreiras no estado da Paraíba alcança extensões entre 30 e 50 km no sentido leste-oeste, a partir do litoral e todo o território litorâneo da Paraíba possui a presença dessa Formação.

Na Bacia Pernambuco-Paraíba, onde João Pessoa está inserida, encontram-se os sedimentos areno-argilosos mal consolidados da Formação Barreiras. Furrier et. at. (2006) relatam que trabalhos anteriores constataram, a partir de análise sedimentológicas, que esses sedimentos derivavam de granitos, gnaisses e xistos. A Figura 24 abaixo apresenta o Mapa Pedológico do Município de João Pessoa e adjacências, onde é possível observar a maior ocorrência de solos Podzólico Vermelho-Amarelo, Areias Quartzosas Marinhas e Solos Aluviais. O solo Podzólico Vermelho-Amarelo corresponde a solos argilosos, enquanto as Areias Quartzosas Marinhas correspondem aos solos arenosos.

Fourrier (2007) ressalta que os solos de textura arenosa são mais facilmente erodidos que os de textura argilosa. No caso dos solos pertencentes à Formação Barreiras que, geralmente, possuem grande porcentagem de grãos de quartzo presente na rocha parental, estes se apresentam em sua maioria com textura arenosa. A sua resistência ao intemperismo associada ao clima tropical úmido, favorecem essa predominância.

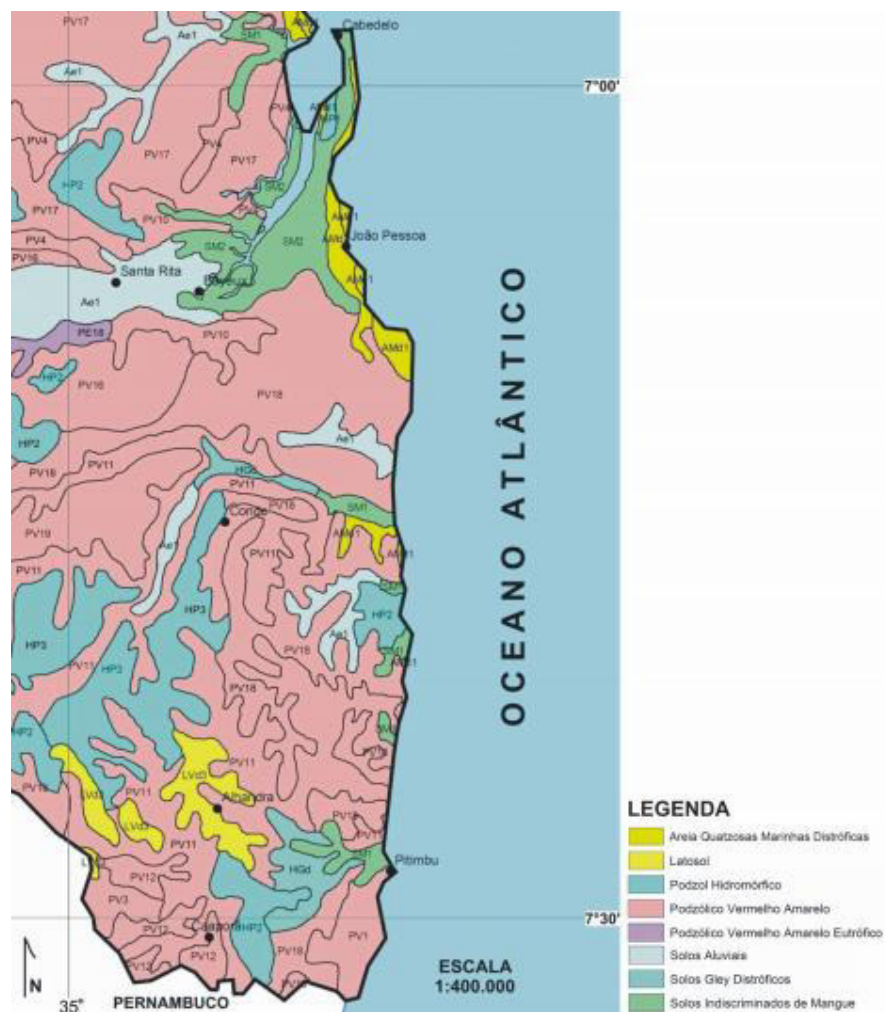


Figura 24. Mapa Pedológico de João Pessoa e adjacências. Fonte: FURRIER, 2007 (modificado de PARAÍBA, 2004).

3.2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área escolhida para o estudo está situada na região conhecida como Baixo Roger, apresentada na Figura 25 abaixo, no Bairro do Roger, inserida no município de João Pessoa, Estado da Paraíba. Segundo dados do censo demográfico do IBGE, de 2010, o bairro conta com uma população de 10.310 habitantes, destes, 4.979 homens e 5.402 mulheres, com 2.874 domicílios, em sua maioria de alvenaria, correspondendo a uma proporção média de 3,5 habitantes por domicílio.



Figura 25. Demarcação do local de estudo. Fonte: Google Maps

A comunidade possui serviços como: abastecimento de água, esgoto, pavimentação, energia elétrica, iluminação pública e coleta de lixo, entretanto, a sua ocupação se deu de forma bastante desordena e a população, em sua maioria de baixo poder aquisitivo, vem sofrendo, nos últimos anos, com os movimentos de massa que se tornaram cada vez mais frequentes no seu cotidiano. A topografia acidentada, muito presente no bairro, tem contribuído na deflagração desses movimentos.

Silva (2018) relacionou o número de ocorrências de deslizamentos no Município de João Pessoa, no período compreendido entre 2014 a 2018, a partir de dados fornecidos pela COMPDEC-JP (Figura 26). No gráfico, é possível observar que, dentre todos os bairros atingidos pela ocorrência de deslizamentos no período considerado, o bairro do Roger foi o que registrou mais ocorrências, totalizando 12 deslizamentos. Silva (2018) ainda listou os

movimentos de massa possivelmente ocasionados pela chuva no período, informando também o logradouro de localização. O mapa abaixo (Figura 27) traz esses movimentos localizados (em vermelho), para o bairro do Roger, e mostra que todos estão relativamente próximos ao local estudado.

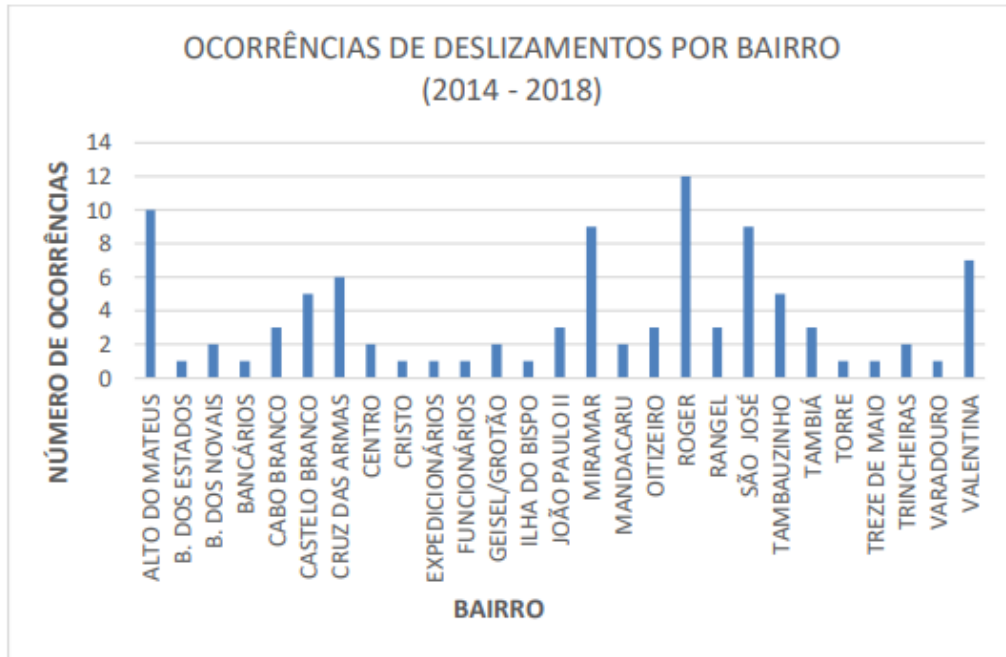


Figura 26. Ocorrências de deslizamentos por bairro, em João Pessoa, no período de 2014 a 2018. Fonte: Silva (2018), segundo dados da COMPDEC-JP.

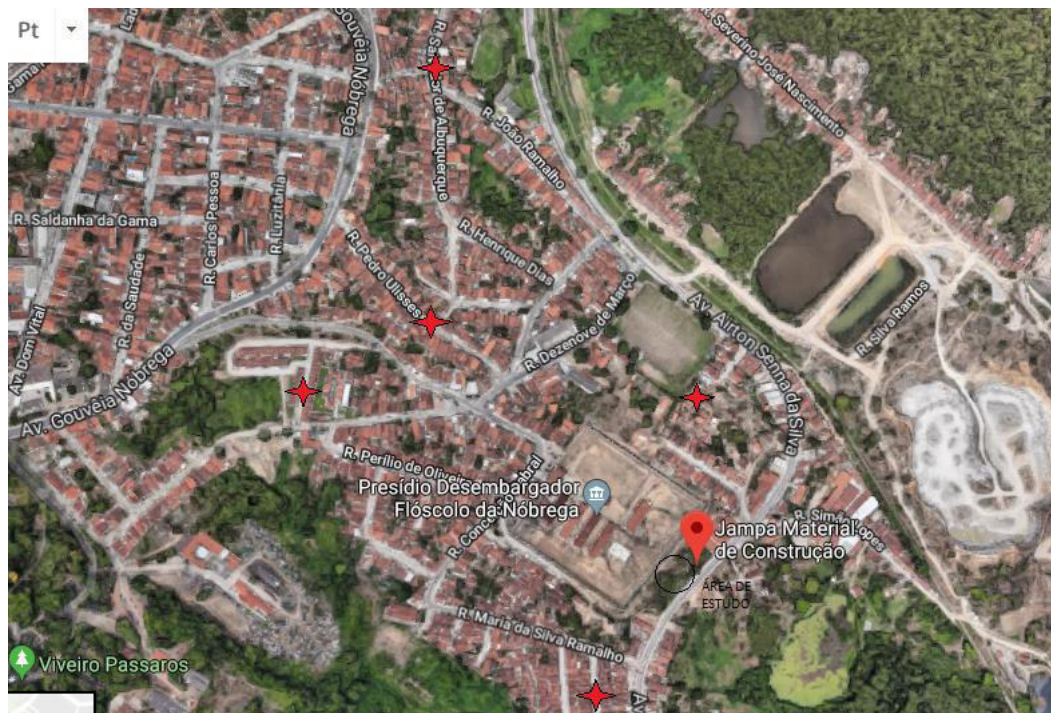


Figura 27. Localização dos movimentos de massa possivelmente ocasionados pela chuva no Bairro do Roger, no período de 2014 a 2018. Fonte: Modificado de Google Maps

A escolha do local de estudo foi feita a partir de uma visita pelo bairro, onde se identificou os locais de situação mais grave, pertencentes a áreas já consideradas de risco, e optou-se pelo local mais acessível para se fazer uma análise preliminar e a retirada de amostras de solo para realizar os ensaios. O talude escolhido está localizado logo atrás do presídio do Roger. Trata-se de uma área que vem sendo explorada nos últimos anos para a construção de residências e pontos comerciais (Figura 28).



Figura 28. Talude objeto do estudo. Fonte: Arquivo Pessoal

Foi constatado que o talude já se encontra bastante alterado, contendo marcas de escavação e ângulo com o terreno de praticamente 90° . O lote onde está localizado atualmente serve como garagem e depósito de materiais de construção. A altura máxima do trecho considerado corresponde a aproximadamente 5 metros, em uma extremidade, enquanto na outra essa altura cai para aproximadamente 2,5 metros.

Em uma análise visual, foi possível observar que o solo do talude se mostrava bastante heterogêneo, a julgar pelas suas diferentes cores e tonalidades, característica comum de solos da formação barreiras. Devido ao processo de escavação, identificou-se uma camada de aproximadamente 15 cm rica em matéria orgânica, no topo do talude, de coloração diferenciada das camadas abaixo (Figura 29). Além da preocupação com a escavação excessiva e a retirada de vegetação, notou-se a construção de casas e estabelecimentos comerciais muito próximos à face do talude, sem nenhum tipo de medida de proteção. A Figura 30 mostra uma construção composta por térreo e primeiro andar, sendo o térreo uma

loja e o primeiro andar uma residência, construída até praticamente a face do talude, sem nenhum tipo de recuo ou medida a favor da segurança.



Figura 29. Talude objeto do estudo. Fonte: Arquivo pessoal



Figura 30. Imóvel de finalidades residencial e comercial. Fonte: Arquivo Pessoal

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para se investigar o comportamento e as características do solo que compõe o talude, coletaram-se amostras do solo para a realização dos ensaios. Inicialmente tentou-se retirar as amostras indeformadas com a utilização de um instrumento denominado de serra-copy e de uma furadeira. Depois de inúmeras tentativas sem sucesso, devido ao fato de o solo desmanchar-se muito facilmente, retirou-se um bloco de solo de aproximadamente 30cmx30cm, além de uma amostra de massa deformada com aproximadamente 2 kg. Os ensaios realizados serão descritos a seguir.

4.1. ENSAIO DE GRANULOMETRIA

No ensaio de granulometria, determina-se a porcentagem de material retido em cada peneira (de malhas diferentes). Primeiramente separou-se uma amostra seca deformada de aproximadamente 100 g e colocou-se no conjunto de peneiras alinhadas uma em cima da outra, de forma que a peneira de maior abertura se situava no topo e a peneira de menor abertura situava-se na base. Em seguida agitou-se o jogo de peneiras e colheu-se a quantidade de amostra que tinha ficado retida em cada peneira. Com a utilização de uma balança eletrônica, pesou-se a quantidade de massa que havia ficado em cada peneira. Os resultados encontrados constam no Apêndice A. Com os dados obtidos, pôde-se obter a curva granulométrica (Figura 31):

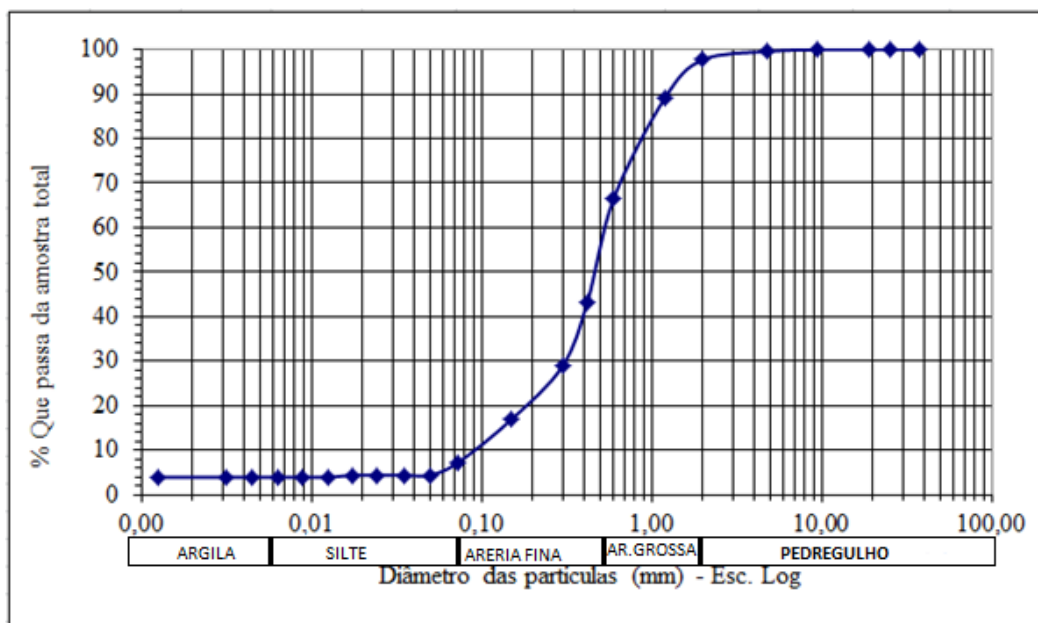


Figura 31. Curva Granulométrica.

Quanto ao diâmetro dos grãos, a ABNT classifica os solos em 5 grupos: pedregulhos, areais grossas, areias finas, siltes e argilas, conforme Tabela 9 abaixo. As argilas possuem diâmetros inferiores a 0,002 mm, entretanto, por limitação física das peneiras utilizadas no ensaio de granulometria por peneiramento, o seu percentual é obtido no ensaio por sedimentação. Em resumo, a granulometria apresentou as seguintes porcentagens de materiais:

Tabela 9. Resumo da Granulometria

Resumo da Granulometria - DNER	
Pedregulho ($d > 2,00\text{mm}$)	2
Areia Grossa ($0,42\text{mm} < d \leq 2\text{mm}$)	54
Areia Fina ($0,074\text{mm} < d \leq 0,42\text{mm}$)	34
Silte + Argila ($d \leq 0,074\text{mm}$)	9
Total	100
Areia Total (entre a Pen N° 10 e a 200)	88

Analisando a curva granulométrica, observa-se que se trata de um solo bem graduado, com grande porcentagem de areia. Isso explica a dificuldade para a retirada de amostras indeformáveis. Trata-se de uma areia com pouco silte e argila e vestígios de pedregulho.

4.2. ENSAIO DE SEDIMENTAÇÃO

Nesse ensaio, misturou-se 30,66g de solo passante da peneira de número 100 com 20mL de defloculante e água destilada (adicionada até cobrir a amostra totalmente) e deixou-se a mistura descansando por 12 horas. Depois desse período, a mistura foi colocada em uma proveta, onde a mesma foi completada com água destilada até chegar a um volume total de 1000 ml (Figura 32).



Figura 32. Ensaio de sedimentação.

Em seguida, mergulhou-se nessa proveta o densímetro e fez-se a leitura densimétrica, depois retirou-se o densímetro, colocando do em um recipiente com água. Os próximos passos consistiram em repetir esse mesmo procedimento nos intervalos de tempo presentes na Tabela 10.

Para esse ensaio, para cada leitura do densímetro, pode-se determinar a % do solo em suspensão (silte e argila).

Tabela 10. Resultados do ensaio de sedimentação

SEDIMENTAÇÃO						Massa de solo utilizada - g:		30,66	
Massa Específica dos Grãos de Solo: g/cm ³				2,69		Peneira utilizada:		P ₁₀ 100	
Data	Hora da	Tempo	Leitura	Tempera-	Correção	Leitura	Altura	Diâme-	%
	Leitura	(min)	Densim.	tura	Temp.	Corrigida	Queda	tro	Amostra
	Leitura	(min)	Mg/cm ³	°C	g/cm ³	Mg/cm ³	cm	mm	Total
22/10/2018	08:33	0,5	1,010	25	-	-	16,3985	0,071	4,839
22/10/2018	08:34	1,0	1,009	25	-	-	16,3987	0,050	4,355
22/10/2018	08:35	2,0	1,009	25	-	-	16,3987	0,035	4,355
22/10/2018	08:37	4,0	1,009	25	-	-	15,7951	0,024	4,355
22/10/2018	08:41	8,0	1,009	25	-	-	15,7951	0,017	4,355
22/10/2018	08:48	15,0	1,008	25	-	-	15,7953	0,013	3,872
22/10/2018	09:03	30,0	1,008	25	-	-	15,7953	0,009	3,872
22/10/2018	09:33	60,0	1,008	25	-	-	15,7953	0,006	3,872
22/10/2018	10:33	120,0	1,008	25	-	-	15,7953	0,004	3,872
22/10/2018	12:33	240,0	1,008	25	-	-	15,7953	0,003	3,872
23/10/2018	08:33	1500,0	1,008	25	-	-	15,7953	0,001	3,872

4.3. LIMITES DE CONSISTÊNCIA

Também conhecidos como Limites de Atterberg, estes ensaios permitem determinar os limites de consistência do solo a partir da sua caracterização em relação a sua umidade. O termo consistência diz respeito ao grau de coesão e adesão da massa do solo. Quando aplicado aos solos finos ou coesivos, a consistência está ligada ao seu teor de umidade.

O Limite de Liquidez (LL) determina o valor de umidade no qual o solo passa do estado líquido para o estado plástico. Esse limite é determinado com auxílio do aparelho de Casagrande (Figura 33) no qual se determina o teor de umidade que, com 25 golpes, une os bordos inferiores de uma canelura (um centímetro de comprimento) aberta, na massa de solo, por um cinzel de dimensões padronizadas.



Figura 33. Utilização do aparelho Casagrande no ensaio para de terminação do Limite Liquidez

O Limite de Plasticidade (LP) se refere ao valor de umidade na qual o solo passa do estado plástico para o estado semi-sólido e representa a propriedade que faz o sólido ser capaz de ser moldado. É o limite no qual o solo começa a se quebrar em pequenas peças, quando enrolado em bastões de 3 mm de diâmetro sobre uma placa esmerilhada. Ou seja, é o menor teor de umidade em que o solo se comporta plasticamente (Figura 34).



Figura 34. Ensaio de determinação do Limite de Plasticidade

Os dados coletados nos ensaios de limites de consistência (Apêndice B), resultaram em: LL= 30,6%, LP= 21,7% e IP= 8,9%. Utilizando o gráfico abaixo (Figura 35) proposto por

Caputo (1996), verificou-se que o solo estudado se encontra na região próxima a siltes inorgânicos de baixa compressibilidade e solos sem coesão.

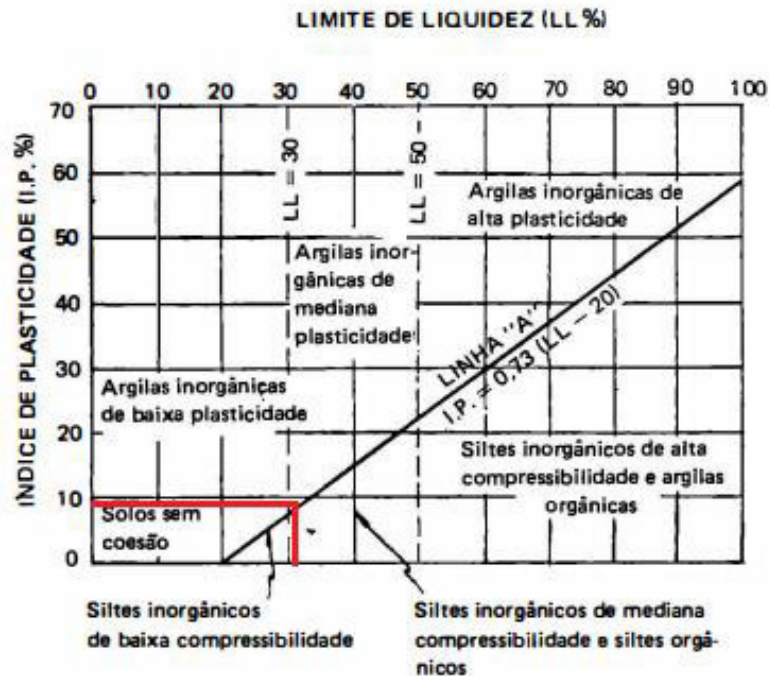


Figura 35. Relação entre LL, IP e características dos solos. Fonte: Caputo (1996)

O baixo índice de plasticidade confirma a pouca porcentagem de argila presente no solo, obtida no ensaio de granulometria.

4.4. ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO

Esse ensaio tem o objetivo de determinar a resistência ao cisalhamento, em termos de tensões efetivas, utilizando o critério de ruptura de Mohr Coulomb. No ensaio foi utilizado um equipamento com sistema de cargas através de peso em pendural. Foram realizadas as leituras das deformações horizontais e verticais com o auxílio de extensômetros com sensibilidade de 0,01 mm e anel de carga para determinação das forças horizontais. Os ensaios foram realizados para solo natural, com aplicação de cargas de 10 kg, 15 kg e 20 kg. As Figuras 36 e 37 representam, respectivamente, a modelagem do corpo de prova e corpo de prova cisalhando sendo retirado do equipamento.



Figura 36. Moldagem do corpo de prova.



Figura 37. Corpo de prova cisalhado.

Em todos os ensaios, a força F em kg foi calibrada utilizando a constante $k= 0,1449$ kgf (constante original do equipamento), que prevê o desgaste do equipamento com o tempo e uso no anel. Os resultados obtidos constam no Apêndice C. Utilizando os valores máximos de tensão de cisalhamento de cada ensaio e os valores correspondentes de tensão normal, chegou-se ao gráfico de tensão cisalhante x tensão normal abaixo (Figura 38):

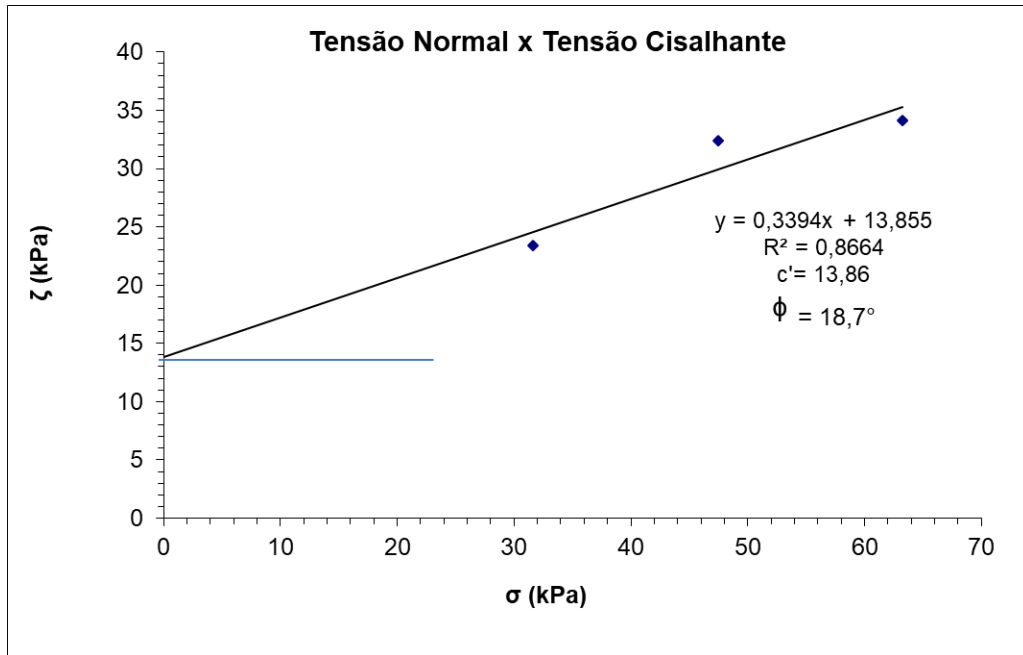


Figura 38. Gráfico tensão cisalhante x tensão normal

A partir do gráfico acima, obteve-se os valores para coesão e ângulo de atrito, respectivamente, iguais a 13,86 kPa e 18,7°. Em posse desses dados, utilizou-se o programa Slope/W para representar o talude objeto do estudo e obter o fator de segurança da situação mais desfavorável. Para isso, o método de cálculo do F.S. utilizado foi o método de Bishop, por ser um dos mais utilizados, inclusive no Brasil. Para o talude em estado natural o fator de segurança encontrado foi 1,063, como está representado na figura 39 abaixo:

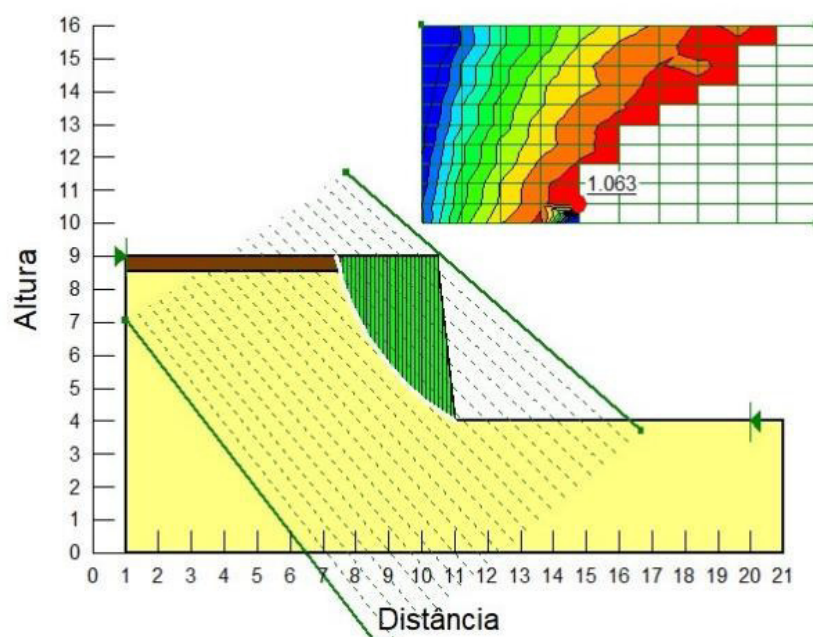


Figura 39. Determinação do F.S. e superfície de ruptura na condição de solo natural

Analisando o F.S. obtido, percebe-se que é um valor muito próximo da condição de ruptura. Esse dado é suficiente para inferir que o talude estudado encontra-se na iminência de um movimento de massa e corrobora com a susceptibilidade do bairro à ocorrência de deslizamentos, identificada a partir dos dados da COMPDEC-JP. Diante disso, percebe-se a necessidade de propor uma medida de estabilização para o talude em questão.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante das condições identificadas do talude objeto deste estudo e dos resultados obtidos dos ensaios, percebe-se que o talude se encontra bastante escavado, com o maciço de solo exposto e vegetação (pouca) apenas no topo. Considerando a sua altura máxima de 5 metros, inclinação de praticamente 90° e grande porcentagem de areia em sua composição, verifica-se a necessidade de propor uma alternativa de reforço para o talude.

Entre as alternativas abordadas nesse estudo, percebe-se que o muro de solo-cimento seria bastante interessante para o local, principalmente pelo baixo custo, pela possibilidade de obter areia para sua construção no próprio bairro e pelo espaço disponível. A Figura 40 mostra um muro de solo-cimento ensacado executado em outro local no bairro do Roger como proposta para o talude objeto desse estudo.



Figura 40. Proposta 1: Muro de solo-cimento ensacado. Foto: Fábio Lopes

Outra proposta para o local seria o muro de gabiões, uma alternativa bastante viável para um talude de inclinação tão acentuada (Figura 41). O emprego de geotêxtil na interface solo-muro auxilia na proteção do talude, evitando o carreamento de partículas de solo com a ação das chuvas. Vale ressaltar que, em ambas as alternativas propostas, deve-se prever dispositivos de drenagem, como os barbacãs na Figura 40 e o filtro de areia, na Figura 41 .

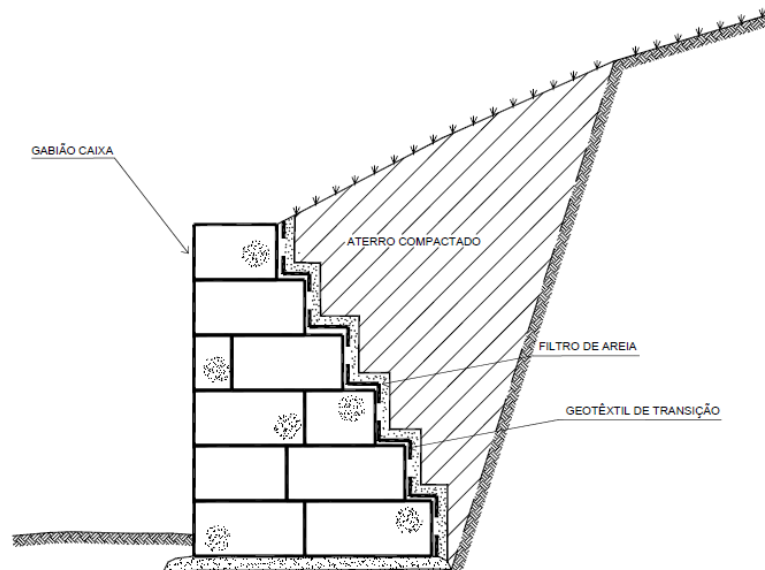


Figura 41. Proposta 2: Muro de Gabiões. Fonte: <https://solidifica.com.br/blog-gabioes>

O presente trabalho apresentou aspectos relacionados a movimentos de massa e alternativas de baixo custo para estabilização de encostas. Diante do exposto, fica evidente que esse é um problema muito preocupante, tendo em vista os riscos e diversos problemas envolvidos. A adoção de soluções de reforço ou mesmo proteção de encostas em áreas de risco se mostra um desafio para as autoridades competentes, considerando o elevado número de áreas de risco existentes, a exemplo de João Pessoa, e os recursos disponíveis.

Nesse sentido, a adoção de alternativas e técnicas não convencionais para estabilização de taludes traz vantagens como: redução de custos, sustentabilidade, rapidez, entre outros, sem comprometer a funcionalidade e desempenho da estrutura.

Considerando o estudo de caso realizado, percebe-se que a comunidade do Roger está bastante vulnerável a deslizamentos, configurando-se como uma das áreas mais críticas do Município de João Pessoa. O talude analisado, mostrou-se necessitado de uma intervenção e a adoção de alternativas de baixo custo pode ser uma saída adequada para remediar a situação. Cabe destacar a necessidade de avaliar cada técnica entre as disponíveis, de modo que se escolha a que mais se adequa à realidade do local.

Com relação aos ensaios realizados, verificou-se a predominância de areia no solo, como era de se esperar de um solo pertencente à Formação Barreiras, o que torna o solo mais permeável e erodível, justificando os elevados volumes de material geralmente removidos desse tipo de solo.

Tendo em vista a heterogeneidade do solo estudado, sugere-se como proposta para pesquisas futuras que visem dar continuação ao estudo desenvolvidos nesse trabalho, a

realização de novos ensaios realizados utilizando amostras da mesma área, afim de se ampliar o banco de dados permitir análises mais profundas sobre a realidade do local.

Ademais, ressalta-se a importância dos programas de conscientização da população, com a realização de palestras e debates com os moradores da comunidade, tirando dúvidas sobre os riscos na região e sobre os possíveis projetos executados na comunidade com suas funcionalidades e forma de manutenção, tendo em vista que a população que hoje explora os taludes da área, seja escavando, desmatando ou lançando lixo e comprometendo sua própria segurança, pode se tornar a mão-de-obra na construção de estruturas de contenção na própria comunidade.

No que diz respeito à segurança da população residente em áreas de risco ante a ocorrência de desastres naturais, a incorporação do gerenciamento de risco à política urbana, além da efetiva implantação dos instrumentos de planejamento urbano que aumentem o acesso das camadas populares a uma política habitacional eficiente, é condição essencial para a construção de cidades mais seguras.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Heverton de Moura et al. **Relação de fatores ambientais e antrópicos na ocorrência de deslizamentos no município de São Luís – MA, Brasil**. In: SAFETY, HEALTH AND ENVIRONMENT WORLD CONGRESS, 14., 2014, Cubatão. XIV Safety, Health and Environment World Congress. [s.l.]: Copec, 2014. p. 126 - 129.
- ARAI, M. (2006). **A grande elevação eustática do mioceno e sua influência na origem do Grupo Barreiras**. Revista do Instituto de Geociências – USP. Série Científica, v. 6, n. 2, 1 – 6.
- ARAÚJO, Paulo Cesar de. **Análise da suscetibilidade a escorregamentos: uma abordagem probabilística**. 2004. ix, 172 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2004. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/102871>>. Acesso em: 03 out. 2018
- AUGUSTO FILHO, O. **Caracterização Geológico-Geotécnica Voltada à Estabilização de Encostas: uma Proposta Metodológica**. 1ª Conferência Brasileira de Estabilidade de Encostas (1º COBRAE), Anais, ABMS/ABGE, v. 2, 721-733, 1992.
- BANDEIRA, Ana Patrícia Nunes. **Mapa de risco de erosão e escorregamento das encostas com ocupações desordenadas no Município de Camaragibe -PE**. 2003. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2003.
- BENJAMIM, Carlos Vinicius dos Santos. **Avaliação experimental de protótipos de estruturas de contenção em solo reforçado com geotêxtil**. 2006. 326 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.
- BIGARELLA, J. J.; PASSOS, E.; **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Florianópolis: Ed. Da UFSC, 2003 v. 3 (p.877-1436).
- BRASIL. Ministério da Integração Nacional. **Anuário Brasileiro de Desastres Naturais 2011**. Brasília: Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres (CENAD); 2012.
- CAMARGO, Lúcia Pinto. **Análise integrada do meio físico dos Ribeirões Braço Serafim e máximo com ênfase nas áreas de fragilidade estrutural, Luís Alves, (SC)**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2015. 193 p.
- CAPUTO, Homero Pinto (1988) **Mecânica dos solos e suas aplicações**. Vol. 1 – 6ª edição. Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., Rio de Janeiro.
- CARMO RL, Dagnino RS, Johansen IC. **Transição demográfica e transição do consumo urbano de água no Brasil**. Rev Brasileira de Estudos de População. 2014; 31(1):169-190.
- CARMO, Roberto Luiz do e Anazawa, Tathiane Mayumi. **Mortalidade por desastres no Brasil: o que mostram os dados**. Ciência & Saúde Coletiva [online]. 2014, v. 19, n. 9 [Acessado 9 Setembro 2018] , pp. 3669-3681. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1413-81232014199.07432014>>. ISSN 1678-4561.

CASTRO, A. L. C. de. **Glossário de Defesa Civil: Estudos de riscos e medicina de desastres**. 2 ed. Brasília: Ministério do Planejamento e Orçamento/Departamento de Defesa Civil, 1998, 173p.

COSTA, Everaldo B; FERREIRA, Tatiane A. **Planejamento urbano e gestão de riscos: vida e morte nas cidades brasileiras**. Revista Olam Ciência e Tecnologia (UNESP), Rio Claro, ano 10, v. 10, n. 2, p. 171-196, ago./dez. 2010. Disponível em: <<http://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index>>. Acesso em: 9 set. 2018.

COSTA, F. S.. Cunha, Jackson Gregório. **Muro rip-rap em comunidades carentes: uma solução de baixo custo**. Revista Científica Semana Acadêmica. Fortaleza, ano MMXVIII, Nº. 000127, 31/07/2018. Disponível em: <<https://semanaacademica.org.br/artigo/muro-rip-rap-em-comunidades-carentes-uma-solucao-de-baixo-custo>>. Acessado em: 24/10/2018.

COSTA NUNES, A.J. (1969). **Landslides in soils of decomposed rock due to intense rainstorms**. 7th Int. Confer. On Soil Mech. and Found. Eng. ISSMGE, London, pp. 547–554.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blücher/EDUSP, 1974.

CRUZ, O. – **A Serra do Mar e o litoral na área de Caraguatatuba**. Contribuição à geomorfologia tropical litorânea. São Paulo, Universidade de São Paulo. Instituto de Geografia, 1974, 181 p.

CUNHA, M. A. (coord.). **Ocupação de Encostas**. São Paulo: IPT, 1991.

DIAS, Fernando Peres; HERRMANN, Maria Lúcia de Paula. **Susceptibilidade a deslizamentos: estudo de caso no bairro saco grande, florianópolis – SC**. Caminhos de Geografia, [S.l.], v. 3, n. 6, jul. 2006. ISSN 1678-6343. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/15295>>. Acesso em: 07 set. 2018

FARAH, Flavio. **Habitação e encostas**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2003, 312p.

FURRIER, M; ARAUJO, M. E; MENESES, L. F. **Geomorfologia e Tectônica da Formação Barreiras no Estado da Paraíba**. Geologia USP, série científica. 2006.

FURRIER, M. **Caracterização Geomorfológica e do Meio Físico da Folha de João Pessoa – 1:1000.000**. 213p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Geografia Física, Departamento de Geografia - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

GALVÃO DE SANTANA, Rafael; Quental Coutinho, Roberto. **Análise de soluções de engenharia para estabilização de encostas ocupadas na Região Metropolitana do Recife PE. Estudo de caso: Ruptura ocorrida em encosta com ocupação desordenada na UR 2, Ibura**. 2006. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2006.

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

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M., 1983, **Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação**, Ed. Blucher, 2ª edição, São Paulo, Brasil.

GUIDICINI, G.; IWASA, O. Y. **Ensaio de correlação entre pluviosidade e escorregamentos em meio tropical úmido**. São Paulo: IPT, 1976. 48 p. (IPT. Publicação, 1080).

GUSMÃO FILHO, J.A.; Ferreira, S.R.M. e Amorim Jr, W.M. (1997). **Escorregamentos em Morros Urbanos do Recife: O caso do Boleiro**. In: 2nd Panamerican Symposium on Landslides, Rio de Janeiro, ABMS. Anais, Vol.2.

HEIDEMANN, M.; **Estudo dos solos de uma encosta instável de São José – SC: intemperismo e comportamento geotécnico**. 297 p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

HUTCHINSON, J. N., 1968, **Mass Movement**, In: **Encyclopedia of Geomorphology**, Ed. Fairbridge, R. W., 2ª edição, Reinhold Book Co., New York, EUA.

IBGE – **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Censos Demográficos 1940, 2000 e 2010.

IPT, Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Banco de acidentes com vítimas fatais associados a escorregamentos**. São Paulo: IPT, 2017. Disponível em: < http://www.ipt.br/noticias_interna.php?id_noticia=1190 >. Acesso em: 12 de setembro de 2018.

LIMA, A. F. **Comportamento geomecânico e análise de estabilidade de uma encosta da Formação Barreiras na área urbana na cidade do Recife**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco, 2002.

MAGALHÃES, Thiago Abdala; AZEVEDO, Crysthian Purcino Bernardes. **Análise Técnica e Econômica de Estruturas de Contenção de Taludes**. In: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 18., 2016, Belo Horizonte. Cobramseg, 2016. p. 1 - 8.

Manual de Procedimentos Operacionais – LAPAV, João Pessoa – PB, 2018.

NETO, Genival Gomes Barboza. **Proposta de estabilização para áreas de alto risco mapeadas no Baixo Roger**. João Pessoa, 2013. 54 p.

OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S.N.A. **Geologia de Engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia e Engenharia, 1998.

OLIVEIRA, L. M. (2010). **Acidentes Geológicos Urbanos**. MINEROPAR – Serviço Geológico do Paraná, Curitiba, PR, 1ª edição, 78 p

OLIVEIRA, Ronaldo Ramos de; SILVA, João Carlos Baptista Jorge da. **Estabilização De Encosta Por Grampeamento Com Face Vegetada Na Cidade De Salvador-BA**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 19., 2018, Salvador. Cobramseg, 2018. p. 1 - 7.

PAULO NETO, THOMAZ DE AQUINO (2016). **Caracterização dos sedimentos e estudo sobre os movimentos de massas das encostas da região costeira do município do Conde e análise da estabilidade de taludes na praia de Carapibús**. Trabalho de conclusão de curso. Publicação DEC -, departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 123 páginas.

PELLEGRINA, Geórgia Jorge. **Proposta de um procedimento metodológico para o estudo de problemas geoambientais com base em banco de dados de eventos atmosféricos severos**. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista, 2011.

RECKZIEGEL, B. W. e ROBAINA, L. E. de S. **Riscos geológico-geomorfológicos: revisão conceitual**. Revista Ciência e Natura, UFSM, Santa Maria – RS, v. 27 n. 2. 2005. p. 65 – 83.

SIEIRA, Ana Cristina Castro Fontenla; Sayão, Alberto de Sampaio Ferraz Jardim. **Estudo Experimental dos Mecanismos de Interação SoloGeogrelha**. Rio de Janeiro, 2003. 363p. Tese de Doutorado – Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

SILVA, Larissa Ferreira da. **Análise de curva de correlação entre pluviosidade e movimentos de massa nas encostas de João Pessoa (PB)**. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal da Paraíba, 2018.

SOARES, Fábio Lopes; SOUZA, Jailane de Melo. **Análise de estabilidade de talude de área de risco no Baixo Roger em João Pessoa/PB**. In: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 7., 2014, Goiania. Cobramseg, 2014. p. 1 - 7.

SOUZA, A. N. de. **Muro de contenção utilizando pneus: análise e alguns comparativos de custos**. 2002. 108 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia)-Universidade Federal do Rio Grande do Sul-UFRGS, Porto Alegre, RS, 2002.

SUZUKI, S., 2004, **Propriedades Geomecânicas de Alguns Solos Residuais e Coluviais ao Longo do Oleoduto Curitiba-Paranaguá**. Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

TERZAGHI, K. (1950), “**Mechanisms of Landslides**”, **The Geological Society of America – Engineering Geology** (Berkey), pp. 83-123.

VARGAS, M. **The concept of tropical soils**. In: International conference on geomechanics in tropical lateritic and saprolitic soils, 1. Proceedings... ABMS, 1985, v. 3.

VARNES, D. J. **Slope Movement and Types and Processes**, In: Schuster, R. L.; Krizek, R. J. (eds.), **Landslides, Analysis and Control**. Transportation Research Board Special Report 176, National Academy of Sciences, Washington D. C., p. 11-33, 1978. Disponível em: <<http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/sr/sr176/176-002.pdf>>. Acesso em: 18 set 2018

Vertematti, J.C. (Coord.), (2015) **Manual Brasileiro de Geossintéticos**, 2 ed., Blucher, São Paulo, Brasil.

APÊNDICE A

Resultados do ensaio de Granulometria

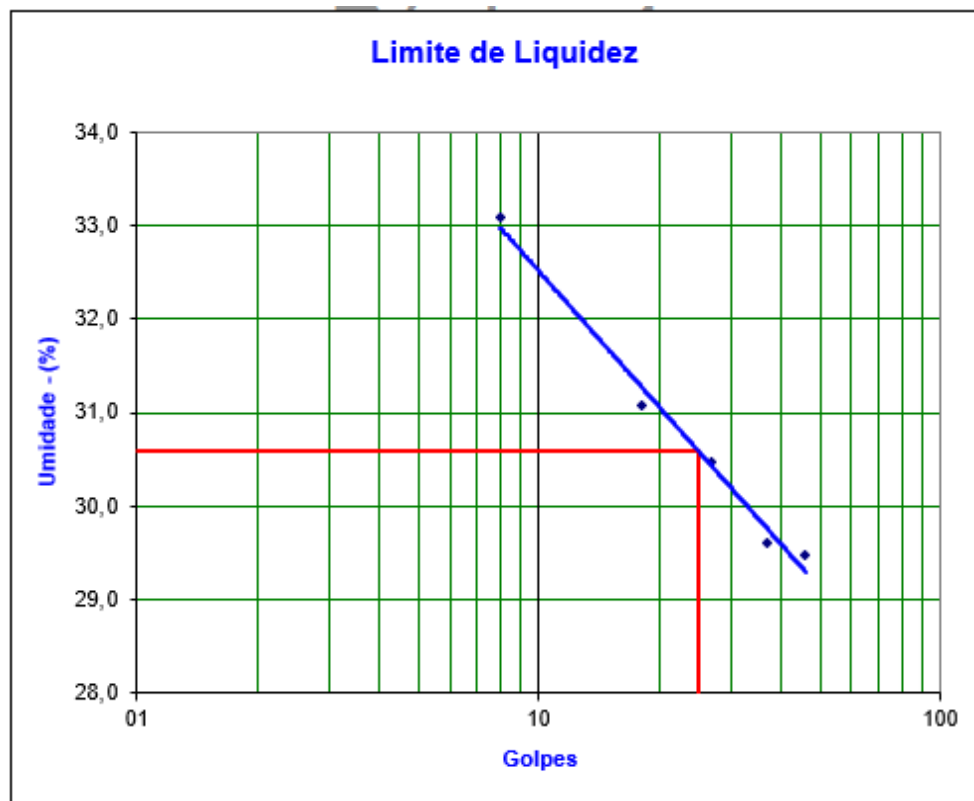
Determinação do Teor de Umidade				Resumo da Granulometria - DNER				
Cápsula	N°	22						
Cápsula + solo úmido	g	77,220		Pedregulho (d>2,00mm) 2				
Cápsula + solo seco	g	76,150		Areia Grossa (0,42mm<d≤2mm) 54				
Tara da cápsula	g	27,220		Areia Fina (0,074mm<d≤0,42mm) 34				
Teor de umidade	W(%)	2,19		Silte + Argila (d≤0,074mm) 9				
Fator de correção	FC	0,9786		Total 100				
Amostra total úmida	Atw	2000,00		Areia Total (entre a Pen N° 10 e a 200) 88				
Amostra total seca	Ats	1958,15						
PENEIRAMENTO DA AMOSTRA TOTAL								
Peneira	Material Retido			% passa Amostra Total	Peneira (mm)	AMOSTRA		
	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	0,00	0,00	0,00	100,00	19,1			
3/8 pol	0,00	0,00	0,00	100,00	9,5			
N° 4	8,17	0,42	0,42	99,58	4,8			
N° 10	36,44	1,86	2,28	97,72	2,0			
Soma	44,61							
PENEIRAMENTO DA AMOSTRA PARCIAL							Am. Parcial Úmida - g	100,00
Peneira N°	Material Retido			% passa Amostra Parcial	% passa Amostra Total	Peneiras (mm)	Am. Parcial Seca - g	97,86
	Massa g	% Am. Parcial	% Am. Acum.					
16	8,600	8,788	8,788	91,212	89,13	1,20	Amostra: Laboratório de Mecânica dos Solos	
30	22,640	23,135	31,923	68,077	66,53	0,60		
40	23,330	23,840	55,763	44,237	43,23	0,42		
50	14,400	14,715	70,478	29,522	28,85	0,30		
100	12,050	12,314	82,792	17,208	16,82	0,15		
200	7,500	7,664	90,456	9,544	9,33	0,074		

APÊNDICE B

Resultados dos Ensaio dos Limites de Atterberg

LIMITE DE LIQUIDEZ							
Cápsula	N.º	O51	O52	O53	O54	O55	
Golpes	g	08	18	27	37	46	Operador:
Peso Bruto Úmido	g	18,27	19,91	19,75	20,50	20,18	Data:
Peso Bruto Seco	g	15,57	16,97	16,76	17,45	17,25	Calculista:
Peso da Cápsula	g	7,41	7,51	6,95	7,15	7,31	
Peso da Água	g	2,70	2,94	2,99	3,05	2,93	LL= 30,6%
Peso do Solo Seco	g	8,16	9,46	9,81	10,30	9,94	
Umidade	%	33,09	31,08	30,48	29,61	29,48	

LIMITE DE PLASTICIDADE							
Cápsula	N.º	O56	O57	O58	O59	O60	
Peso Bruto Úmido	g	9,35	8,69	9,59	8,65	8,15	LP = 21,7%
Peso Bruto Seco	g	9,06	8,36	9,28	8,34	7,91	LP= 8,9%
Peso da Cápsula	g	7,57	6,88	7,86	6,87	6,87	
Peso da Água	g	0,29	0,33	0,31	0,31	0,24	Obs:
Peso do Solo Seco	g	1,49	1,48	1,42	1,47	1,04	
Umidade	%	19,46	22,30	21,83	21,09	23,08	



APÊNDICE C

Resultados dos Ensaio de Cisalhamento direto

Cisalhamento Direto - Amostra 01 - Carga 10 kg													
k = 0,1449 kgf/Div do = 6,35 cm Ho = 2,54 cm A _T = 31,66 cm ² V _T = 80,44 cm ³ Pw = 177 g γ _{smáx} = 1,725 g/cm ³ Wot = 18,2 %													
LEITURAS					DEFORMAÇÕES					Ac (cm ²)	ζ (kg/cm ²)	ε (%)	σ (kg/cm ²)
Lh (Div.)	La1 (Div)	La2 (Div)	La3 (Div)	Média	F (kg)	ε _h (mm)	ε _a (mm)	ε _L (mm)	ε _T				
0,05	0,03	0,03	0,03	0,03	0,43	0,0013	7,6E-05	0,0012	0,000188	31,6673	0,01373	0,00	0,3158
0,10	0,05	0,05	0,05	0,05	0,72	0,0025	0,00013	0,0024	0,00038	31,6654	0,02288	0,00	0,3158
0,15	0,06	0,06	0,06	0,06	0,87	0,0038	0,00015	0,0037	0,000576	31,6635	0,02746	0,01	0,3158
0,20	0,07	0,07	0,07	0,07	1,01	0,0051	0,00018	0,0049	0,000772	31,6615	0,03204	0,01	0,3158
0,25	0,08	0,08	0,08	0,08	1,16	0,0064	0,0002	0,0061	0,000968	31,6596	0,03661	0,01	0,3159
0,30	0,09	0,09	0,09	0,09	1,30	0,0076	0,00023	0,0074	0,001164	31,6576	0,04119	0,01	0,3159
0,35	0,10	0,10	0,10	0,10	1,45	0,0089	0,00025	0,0086	0,00136	31,6557	0,04577	0,01	0,3159
0,40	0,11	0,11	0,11	0,11	1,59	0,0102	0,00028	0,0099	0,001556	31,6537	0,05035	0,02	0,3159
0,50	0,15	0,15	0,15	0,15	2,17	0,0127	0,00038	0,0123	0,00194	31,6499	0,06867	0,02	0,3160
0,60	0,18	0,18	0,18	0,18	2,61	0,0152	0,00046	0,0148	0,002328	31,6460	0,08242	0,02	0,3160
0,70	0,23	0,23	0,23	0,23	3,33	0,0178	0,00058	0,0172	0,002708	31,6422	0,10532	0,03	0,3160
0,80	0,28	0,28	0,28	0,28	4,06	0,0203	0,00071	0,0196	0,003088	31,6384	0,12824	0,03	0,3161
0,90	0,30	0,30	0,30	0,30	4,35	0,0229	0,00076	0,0221	0,00348	31,6345	0,13741	0,04	0,3161
1,00	0,34	0,34	0,34	0,34	4,93	0,0254	0,00086	0,0245	0,003864	31,6307	0,15575	0,04	0,3161
1,20	0,40	0,40	0,40	0,40	5,80	0,0305	0,00102	0,0295	0,00464	31,6230	0,18328	0,05	0,3162
1,40	0,51	0,51	0,51	0,51	7,39	0,0356	0,0013	0,0343	0,005396	31,6154	0,23374	0,06	0,3163
Cisalhamento Direto - Amostra 02 - Carga 15 kg													
LEITURAS					DEFORMAÇÕES					Ac (cm ²)	ζ (kg/cm ²)	ε (%)	σ (kg/cm ²)
Lh (Div.)	La1 (Div)	La2 (Div)	La3 (Div)	Média	F (kg)	ε _h (mm)	ε _a (mm)	ε _L (mm)	ε _T				
0,05	0,02	0,02	0,02	0,02	0,22	0,0013	5,1E-05	0,0012	0,00019	31,6673	0,00688	0,00	0,4737
0,10	0,04	0,04	0,04	0,04	0,44	0,0025	0,00010	0,0024	0,00038	31,6654	0,01376	0,00	0,4737
0,15	0,06	0,06	0,06	0,06	0,65	0,0038	0,00015	0,0037	0,00058	31,6635	0,02064	0,01	0,4737
0,20	0,09	0,09	0,09	0,09	0,98	0,0051	0,00023	0,0049	0,00076	31,6616	0,03097	0,01	0,4738
0,25	0,12	0,12	0,12	0,12	1,31	0,0064	0,00030	0,0060	0,00095	31,6597	0,04129	0,01	0,4738
0,30	0,14	0,14	0,14	0,14	1,53	0,0076	0,00036	0,0073	0,00114	31,6578	0,04818	0,01	0,4738
0,35	0,17	0,17	0,17	0,17	1,85	0,0089	0,00043	0,0085	0,00133	31,6559	0,05851	0,01	0,4738
0,40	0,22	0,22	0,22	0,22	2,40	0,0102	0,00056	0,0096	0,00151	31,6541	0,07572	0,02	0,4739
0,50	0,30	0,30	0,30	0,30	3,27	0,0127	0,00076	0,0119	0,00188	31,6505	0,10327	0,02	0,4739
0,60	0,38	0,38	0,38	0,38	4,14	0,0152	0,00097	0,0143	0,00225	31,6468	0,13082	0,02	0,4740
0,70	0,48	0,48	0,48	0,48	5,23	0,0178	0,00122	0,0166	0,00261	31,6432	0,16526	0,03	0,4740
0,80	0,61	0,61	0,61	0,61	6,65	0,0203	0,00155	0,0188	0,00296	31,6397	0,21005	0,03	0,4741
0,90	0,71	0,71	0,71	0,71	7,74	0,0229	0,00180	0,0211	0,00332	31,6362	0,24451	0,04	0,4741
1,00	0,83	0,83	0,83	0,83	9,04	0,0254	0,00211	0,0233	0,00367	31,6326	0,28586	0,04	0,4742
1,20	0,94	0,94	0,94	0,94	10,24	0,0305	0,00239	0,0281	0,00442	31,6251	0,32383	0,05	0,4743
1,40	0,90	0,90	0,90	0,90	9,81	0,0356	0,00229	0,0333	0,00524	31,6170	0,31013	0,06	0,4744
Cisalhamento Direto - Amostra 03 - Carga 20 kg													
LEITURAS					DEFORMAÇÕES					Ac (cm ²)	ζ (kg/cm ²)	ε (%)	σ (kg/cm ²)
Lh (Div.)	La1 (Div)	La2 (Div)	La3 (Div)	Média	F (kg)	ε _h (mm)	ε _a (mm)	ε _L (mm)	ε _T				
0,05	0,07	0,07	0,07	0,07	0,76	0,0013	0,00018	0,0011	0,000172	31,6675	0,02408	0,00	0,6316
0,10	0,09	0,09	0,09	0,09	0,98	0,0025	0,00023	0,0023	0,000364	31,6656	0,03097	0,00	0,6316
0,15	0,13	0,13	0,13	0,13	1,42	0,0038	0,00033	0,0035	0,000548	31,6638	0,04473	0,01	0,6316
0,20	0,18	0,18	0,18	0,18	1,96	0,0051	0,00046	0,0046	0,000728	31,6620	0,06194	0,01	0,6317
0,25	0,23	0,23	0,23	0,23	2,51	0,0064	0,00058	0,0058	0,000908	31,6602	0,07915	0,01	0,6317
0,30	0,29	0,29	0,29	0,29	3,16	0,0076	0,00074	0,0069	0,001084	31,6584	0,09980	0,01	0,6317
0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	3,81	0,0089	0,00089	0,0080	0,00126	31,6567	0,12045	0,01	0,6318
0,40	0,41	0,41	0,41	0,41	4,47	0,0102	0,00104	0,0091	0,001436	31,6549	0,14111	0,02	0,6318
0,50	0,51	0,51	0,51	0,51	5,56	0,0127	0,0013	0,0114	0,001796	31,6513	0,17555	0,02	0,6319
0,60	0,59	0,59	0,59	0,59	6,43	0,0152	0,0015	0,0137	0,002164	31,6476	0,20311	0,02	0,6320
0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	7,63	0,0178	0,00178	0,0160	0,00252	31,6441	0,24100	0,03	0,6320
0,80	0,76	0,76	0,76	0,76	8,28	0,0203	0,00193	0,0184	0,002896	31,6403	0,26169	0,03	0,6321
0,90	0,91	0,91	0,91	0,91	9,91	0,0229	0,00231	0,0205	0,003236	31,6369	0,31337	0,04	0,6322
1,00	0,99	0,99	0,99	0,99	10,79	0,0254	0,00251	0,0229	0,003604	31,6333	0,34096	0,04	0,6322
1,20	0,95	0,95	0,95	0,95	10,35	0,0305	0,00241	0,0281	0,00442	31,6251	0,32727	0,05	0,6324
1,40	0,94	0,94	0,94	0,94	10,24	0,0356	0,00239	0,0332	0,005224	31,6171	0,32391	0,06	0,6326

