



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

ESTUDO DE EROSÃO DO TIPO RAVINA NO LITORAL SUL DA PARAÍBA

Amanda Maria Cavalcante Lopes - 11221267

João Pessoa – PB

2018

Amanda Maria Cavalcante Lopes - 11221267

ESTUDO DE EROSÃO DO TIPO RAVINA NO LITORAL SUL DA PARAÍBA

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

Professor: Dr. Fábio Lopes Soares

João Pessoa – PB

2018

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

LD64e Lopes, Amanda Maria Cavalcante.
Estudo de erosão do tipo ravina no Litoral Sul da
Paraíba / Amanda Maria Cavalcante Lopes. - João Pessoa,
2018.
65 f. : il.

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

1. Erosão, Ravina, Erodibilidade, Erosividade. I.
Soares, Fábio Lopes. II. Título.

UFPB/BC

FOLHA DE APROVAÇÃO

AMANDA MARIA CAVALCANTE LOPES

ESTUDO DE EROSÃO DO TIPO RAVINA NO LITORAL SUL DA PARAÍBA

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

Profa. Dra. Aline Flávia Nunes Remígio Antunes
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO

Claudino Lins Nóbrega Junior

Prof. Dr. Claudino Lins Nóbrega Junior
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

Aprovada

Ana Cláudia

Profª. Ana Cláudia Fernandes Medeiros Braga
Matrícula Siape: 1668619
Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus pelo dom da vida e por ser meu guia ao longo dos meus dias.

Agradeço também a minha mãe, Gislaine, por todo amor, todo apoio e por tantas renúncias para me proporcionar as condições necessárias para realizar meus sonhos. Aos meus avós e tios por serem meus exemplos de conduta e caráter, e por me incentivarem nessa longa jornada.

Ao meu namorado, Gabriel, por todo amor, companheirismo, e esforço dedicados para tornar essa caminhada mais leve.

Aos meus amigos da graduação, em especial à Ana Carolina, Bárbara, Hennan, Graziela, Jéssica Paloma, Maria Dayana, Monique, Nayane, Rhoana e Wesley, por compartilharem das dificuldades enfrentadas ao longo do curso e por todo auxílio prestado.

Aos meus amigos mais chegados que família, Suely, Brunno, Dilane, Luana, Rokchelane, Dilson, Lívia, Wallison e Gabriela, por entenderem minhas ausências e por vibrarem comigo as minhas conquistas.

Aos colegas Francisco Hemerson e Bruno Ferreira por contribuírem diretamente com a realização deste trabalho.

Ao meu orientador, o professor Dr. Fábio Lopes, por todos os conhecimentos fornecidos e por toda a disponibilidade em contribuir para o encerramento deste ciclo. À minha banca examinadora formada pela Professora Aline e pelo Professor Claudino Lins pelas proveitosas contribuições para este trabalho.

Por fim, à todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização desse sonho. Gratidão!

RESUMO

O litoral Sul do Estado da Paraíba apresenta diversas zonas de grande fragilidade e vulnerabilidade verificadas a partir dos casos existentes de erosões urbanas. Embora pareça simples a compreensão, o fenômeno da erosão destaca-se pela complexidade de mecanismos envolvidos, fazendo-se necessário compreender a multiplicidade e a inter-relação de fatores condicionantes como o clima, a relevo, o solo, a vegetação. O objetivo desse trabalho foi diagnosticar a susceptibilidade à erosão de uma área localizada no Litoral Sul da Paraíba, bem como compreender a gênese e evolução de um processo erosivo do tipo Ravina, afim de propor soluções viáveis de intervenções futuras no controle, estagnação e/ou contenção da área degradada. O estudo realizado no Distrito de Mata Redonda fundamentou-se inicialmente nas caracterizações físicas, geotécnicas e nas condições de uso e cobertura do solo, cuja metodologia utilizada dividiu-se em: coleta de dados, realização de ensaios em laboratório, análise da área em estudo, estimativa de perdas de solo por erosão e na formulação de propostas de intervenção. Os resultados obtidos das análises qualitativas e quantitativas da área constatam que todos os fatores condicionantes conduzem à conclusão de que a área em estudo apresenta grande potencial erosivo. Foram propostas intervenções integradas de obras de drenagem no distrito e na própria ravina e de proteção superficial, além de manter a preservação da tipicidade da área ocupada, através de soluções que minimizam a remoção de famílias.

Palavras Chave: Erosão, Ravina, Erodibilidade, Erosividade;

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da área em Estudo.....	13
Figura 2. Processos e formas erosivas.....	15
Figura 3. Fatores Condicionantes da Erosão.....	16
Figura 4. Tipos básicos de vertentes que caracterizam o processo erosivo.....	19
Figura 5. Proposta de separação de zonas de erodibilidade utilizando o triângulo textural....	24
Figura 6. Ensaio de desagregação. (a) Sem Resposta; (b) Fraturamento; (c) Abatimento; (d) Dispersão.....	25
Figura 7. Vista da Área estudada (2016).....	29
Figura 8. Feições Erosivas no Distrito de Mata Redonda. (A) Vista Sudoeste da Ravina; (B) Vista Sul da Ravina.....	30
Figura 9. Identificação das Famílias Entrevistadas no perímetro da Ravina.....	30
Figura 10. Gráficos dos dados obtidos no levantamento das condições da comunidade no entorno das feições erosivas. (A) Tempo de Residência no local; (B) Moradores por residência; (C) Presença da distribuição de água; (D) Presença de esgotamento sanitário; (E) Coleta de Lixo; (F) Contato com Educação Ambiental.....	31
Figura 11. Dados de Precipitação Máxima Anual do Município de Alhandra-PB.....	32
Figura 12. Dados de Precipitação Média Mensal do Município de Alhandra-PB.....	33
Figura 13. Erosividade média mensal para o Município de Alhandra.....	34
Figura 14. Identificação dos perfis topográficos.....	34
Figura 15. Perfil Topográfico da Rampa longitudinal da Feição Erosiva.....	35
Figura 16. Deslizamento de encosta com acúmulo de lixo.....	36
Figura 17. Feição Erosiva da erosão de Mata Redonda antes da intervenção.....	37
Figura 18. Feição Erosiva da Ravina de Mata Redonda depois da intervenção realizada pela Prefeitura.....	37
Figura 19. Curva Granulométrica do solo da Feição Erosiva de Mata Redonda.....	40
Figura 20. Determinação do Limite de Liquidez.....	42
Figura 21. Classificação do Solo da Ravina através do triângulo textural.....	45
Figura 22. Amostra de solo submetida ao ensaio de desagregação. (A) Nível da água à 1/3 da altura da amostra; (B) Nível da água à 2/3 da altura da amostra; (C) Submersão Total observada após 24 h.....	46
Figura 23. Evolução da Ravina ao longo dos anos. (A) 2005; (B) 2008; (C) 2016.....	49

Figura 24. Utilização da Feição erosiva como arruamento.	52
Figura 25. Seção Transversal da feição erosiva após o retaludamento..	53
Figura 26. Geogrelha Tridimensional.	53
Figura 27. Aplicação de hidrossemeadura em Talude coberto por Geogrelha.....	54
Figura 28. Técnica de Paliçadas..	55
Figura 29. Esquema da técnica paliçada para a Ravina de Mata Redonda..	55
Figura 30. Vista frontal da Ravina com o sistema de controle de erosão por barramento.	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Classes de erosividade da chuva média anual e mensal.	18
Tabela 2. Faixas de valores para os coeficientes de escoamento segundo os tipos de coberturas do terreno.	20
Tabela 3. Fator CP em para alguns tipos de cobertura do solo.	21
Tabela 4. Erodibilidade dos solos correlacionada com IP e Cu.	23
Tabela 5. Media Mensal e anual da Precipitação em Alhandra com os valores de EI e Fator R, respectivamente.	33
Tabela 6. Dados dos perfis de elevação dos arruamentos.	35
Tabela 7. Determinação do Teor de Umidade.	38
Tabela 8. Resultado do Peneiramento Grosso.	39
Tabela 9. Resultado do Peneiramento Fino.	39
Tabela 10. Dados obtidos através da sedimentação.	40
Tabela 11. Resumo da Granulometria e Sedimentação.	41
Tabela 12. Dados Obtidos no ensaio de Limite de Liquidez.	41
Tabela 13. Determinação do Limite de Plasticidade.	42
Tabela 14. Determinação dos coeficientes de uniformidade e curvatura.	43
Tabela 15. Resumo dos Parâmetros utilizados na Classificação do Solo.	43
Tabela 16. Resumo da classificação de erodibilidade.	45
Tabela 17. Levantamento de fatores topográficos dos piores cenários da Ravina.	50
Tabela 18. Síntese dos Parâmetros para o cálculo da estimativa da perda de solo.	51

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

- ABNT** Associação Brasileira de Normas Técnicas
- ASTM** American Society for Testing and Materials
- Cc** Coeficiente de Curvatura
- CP** Efeito Uso e cobertura do Solo
- Cu** Coeficiente de Uniformidade
- EI** Erosividade Média mensal
- EUPS** Equação Universal de Perdas dos Solos
- IP** Índice de Plasticidade
- K** Erodibilidade
- LL** Limite de Liquidez
- LP** Limite de Plasticidade
- LS** Fator Topografia
- NBR** Norma Brasileira
- R** Erosividade Anual
- SUCS** Sistema Unificado de Classificação dos Solos

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1. JUSTIFICATIVA	12
1.2. OBJETIVOS	13
1.2.1. OBJETIVO GERAL.....	13
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1. EROSÃO	15
2.2. FATORES CONDICONANTES DA EROSÃO.....	16
2.2.1. CLIMA	17
2.2.2. RELEVO	18
2.2.3. USO DO SOLO	19
2.2.4. COBERTURA VEGETAL	20
2.2.5. SOLO.....	22
2.2.6. ERODIBILIDADE E PROPRIEDADES GEOTÉCNICAS DO SOLO.....	23
2.3. AVALIAÇÃO DIRETA DA ERODIBILIDADE.....	24
2.4. USO DE GEOSINTÉTICOS NA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS ERODIDAS.....	25
2.4.1. GEOGRELHAS NO CONTROLE DA EROSÃO.....	26
2.4.2. GEOTÊXTIL NO CONTROLE DA EROSÃO	26
3.METODOLOGIA	27
3.1. COLETA DE DADOS	27
3.2.ENSAIOS DE LABORATÓRIO	27
3.3. ANÁLISE DA ÁREA EM ESTUDO.....	28
3.4.ESTIMATIVA DE PERDA DE SOLO POR EROSÃO.....	28
3.5.FORMULAÇÃO DE PROPOSTA DE INTERVENÇÃO.....	28
4.CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO	29
4.1.CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO	32

4.1.1. CLIMA	32
4.1.2. RELEVO	34
4.2. USO E COBERTURA DO SOLO	36
4.3. CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA	38
4.3.1. TEOR DE UMIDADE	38
4.3.2. GRANULOMETRIA	38
4.3.3. LIMITE DE LIQUIDEZ E LIMITE DE PLASTICIDADE.....	41
4.3.4. COEFICIENTES DE UNIFORMIDADE E CURVATURA.....	43
4.3.5. CLASSIFICAÇÃO DA AMOSTRA	43
4.3.6. AVALIAÇÃO INDIRETA DE ERODIBILIDADE	44
4.4. AVALIAÇÃO DIRETA DE ERODIBILIDADE	46
5. SUSCEPTIBILIDADE A EROSÃO	47
6. ESTIMATIVA DE PERDAS DE SOLO POR EROSÃO	49
7. PROPOSTAS DE RECUPERAÇÃO	52
7.1. PROPOSTA A.....	52
7.2. PROPOSTA B.....	54
7.3. INTERVENÇÕES INTEGRADAS	56
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	57
9. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	58
REFERÊNCIAS	59
ANEXO I.....	63
ANEXO II.....	64

1. INTRODUÇÃO

A região litorânea do Brasil é marcada pelo acentuado crescimento do processo de ocupação, ocasionando diversas mudanças em nível local e regional nas feições ambientais dessas áreas, provocando diversos processos erosivos nas mais diversas partes da costa. O litoral Sul do Estado da Paraíba apresenta diversas zonas de grande fragilidade e vulnerabilidade verificadas a partir dos casos existentes de erosões urbanas.

A erosão pode ser definida como um conjunto de processos pelos quais os materiais da crosta terrestre são degradados, dissolvidos ou desgastados pelos agentes erosivos, tais como os rios, mares, geleiras, vento, chuva, que atuam principalmente no transporte das partículas de um ponto para outro. Particularizando, onde o agente é a água é chamada de *erosão hídrica*.

A ação erosiva costuma ser acelerada através da interferência humana, que altera este processo natural e, em geral, aumenta sua intensidade. Assim, quando a ação antrópica atua com deflagradora ou intensificadora da erosão hídrica, é adotado o termo *erosão hídrica acelerado*.

Embora pareça simples a compreensão, o fenômeno da erosão hídrica destaca-se pela complexidade de mecanismos envolvidos. É preciso, sobretudo, compreender a multiplicidade e a inter-relação de fatores condicionantes como o clima, a relevo, o solo, a vegetação.

Segundo GOMES (2001), a procura por relações entre as propriedades físico-geotécnicas e erodibilidade dos solos e o desenvolvimento de técnicas de ensaios e de critérios de avaliação da erodibilidade constituem os principais objetivos dos trabalhos de pesquisa presentes na literatura técnica. A maioria destes estudos está voltado para a solução de problemas de engenharia geotécnica relacionados à erosão hídrica de solos tropicais e subtropicais.

1.1. JUSTIFICATIVA

O despertar para a temática veio através da constatação de graves problemas de erosão hídrica acelerada verificada em uma área muito próxima à destinada a ocupação no Litoral Sul da Paraíba.

O Distrito de Mata Redonda, pertencente ao Município de Alhandra, é cenário de uma área submetida à 10.210 m² de erosão que vem sendo deflagrada há mais de duas décadas. Contudo, a área devastada só começou a ganhar repercussão no ano de 2010 após o desabamento de uma praça, construída inadequadamente às margens das feições erosivas já existentes, e conseqüentemente tomou proporções críticas à população que reside nas

proximidades. Verifica-se ainda que um grande volume de solo originado nas Ravinas atinge os contribuintes do Rio Sarapó, gerando problemas com assoreamento deste corpo hídrico.

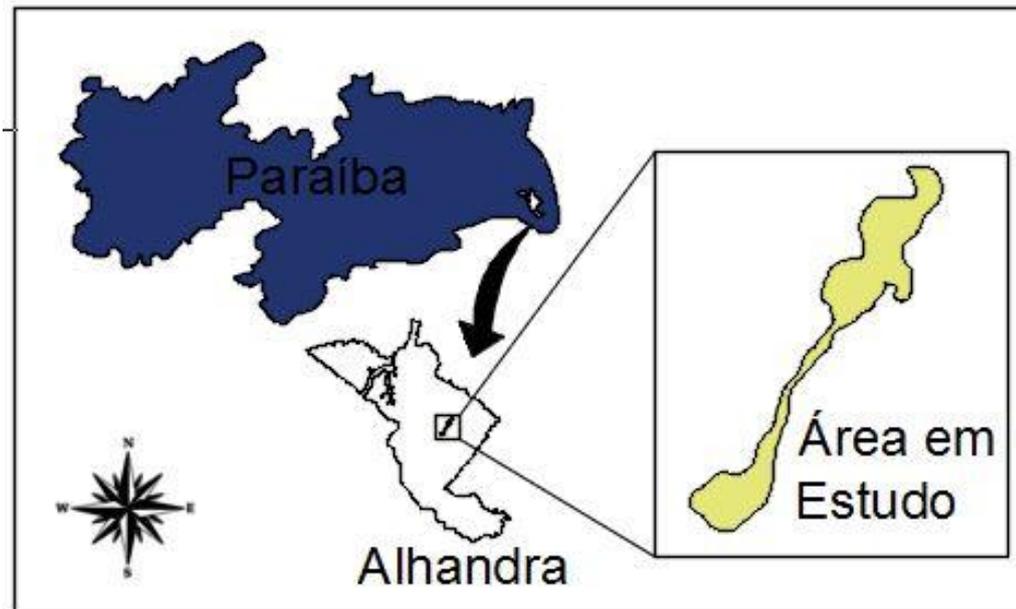


Figura 1. Localização da área em Estudo. Fonte: Elaborado pela Autora.

Mediante ao histórico, parte-se da hipótese de que a gênese do procedimento de degradação está associada primeiramente à uma predisposição natural do solo à erosão que é potencializada pela ação de agentes erosivos como a chuva e pela ação antrópica.

Este processo erosivo, portanto, tem produzido a degradação e a instabilidade dos taludes, bem como, o comprometimento da segurança dos moradores, gerando uma necessidade de se identificar o potencial erosivo, levando em conta os parâmetros condicionantes envolvidos, visando à formulação de uma proposta de abordagem ao problema segundo um enfoque geotécnico.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GERAL

O objetivo desse trabalho é diagnosticar a susceptibilidade à erosão de uma área localizada no Litoral Sul da Paraíba, bem como compreender a gênese e evolução de um processo erosivo do tipo Ravina, afim de propor soluções viáveis de intervenções futuras no controle, estagnação e/ou contenção da área degradada.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar um diagnóstico do meio físico (clima e relevo) e do uso do solo e cobertura vegetal da área em estudo;
- Estudar o potencial erosivo do solo através de ensaios de caracterização geotécnica;
- Realizar uma estimativa de perdas de solo por erosão;
- Propor soluções viáveis de recuperação e/ou contenção;

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. EROSÃO

A erosão consiste na principal causa da degradação dos solos através do processo de desprendimento e transporte de suas partículas, podendo ser oriunda de fenômenos naturais, atuando como agente benéfico para a formação do próprio solo ou acelerada, sendo provocada pelo homem, devido à destruição do equilíbrio das condições naturais.

O desprendimento de partículas de solo é definido como a liberação de fragmentos dos agregados presentes em sua superfície, provocada por forças aplicadas através de agentes erosivos, como rios, mares, gelo, chuva e vento, onde os dois últimos atuam com maior relevância em regiões tropicais.

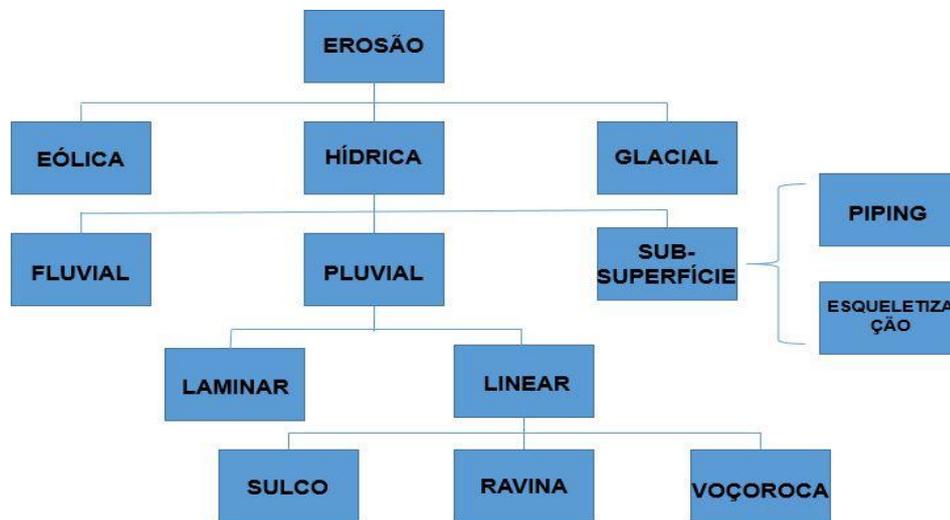


Figura 2. Processos e formas erosivas. Fonte: JESUS, 2013 (modificado pela Autora)

Devido às características da área em estudo será considerada apenas a abordagem da Erosão Hídrica, cujo agente atuante se manifesta na forma de chuva, envolvendo por um lado o impacto das gotas de chuva no solo, sobretudo quando desprotegido da vegetação, promovendo a desagregação e liberação das suas partículas e, por outro, o escoamento superficial das águas, permitindo o transporte das partículas liberadas.

Segundo SALOMÃO (2010), dependendo da forma em que se dá o escoamento superficial ao longo da vertente, pode-se desenvolver uma remoção progressiva e relativamente uniforme dos horizontes superficiais causada por escoamento difuso das águas de chuva, caracterizando a erosão dita laminar, como também pode resultar em pequenas incisões na superfície do terreno causadas por concentração das linhas de fluxo das águas de escoamento superficial, configurando a erosão linear, em seu primeiro estágio, os sulcos.

FOSTER (1981) denotou erosão em sulcos como sendo as fissuras no solo com uma profundidade máxima de 300 mm, que podem evoluir por aprofundamento a ravinas. No entanto, de acordo com SALOMÃO (2010), se o desenvolvimento ocorrer por influência, não somente das águas superficiais, mas também dos fluxos de água subsuperficiais, onde se inclui o lenço freático, identifica-se o processo por voçoroca.

A propensão de um agente causador provocar mais, ou menos, erosão é expresso através de um índice denominado erosividade. Já a predisposição do solo ser mais, ou menos, susceptível à erosão caracteriza-se por erodibilidade. Neste trabalho, será estudado um conjunto de fatores que contribuem para o início e evolução das feições erosivas como Ravinas, investigando quais características favorecem ou desfavorecem o seu desenvolvimento.

2.2. FATORES CONDICONANTES DA EROSÃO

A deflagração do processo erosivo é amplamente retratada na literatura como sendo função das características de elementos climáticos, geomorfológicos, geológicos e da cobertura vegetal. Uma vez desencadeado o processo erosivo, os elementos do meio físico condicionarão a forma e intensidade do desenvolvimento da erosão. A Figura 3 ilustra os fatores condicionantes da erosão associados a cada um desses elementos no âmbito de conjunto.



Figura 3. Fatores Condicionantes da Erosão. Fonte: JESUS, 2013 (modificado pela Autora)

Devido às limitações quanto aos dados disponibilizados da área em estudo, o fator geologia é apresentado apenas para se obter uma abordagem mais completa do tema, no entanto, não será utilizado como indicador da pesquisa em questão.

2.2.1. CLIMA

O clima contribui com o processo erosivo através da ação das chuvas, da intensidade da radiação solar, da direção e força dos ventos e das variações de temperatura.

Segundo JESUS (2013), a precipitação é o elemento mais significativo deste fator condicionante, que atua por meio do impacto das gotas sobre o solo, caindo com velocidade e energia variáveis e por meio do escoamento superficial, favorecendo respectivamente a desagregação e transporte das partículas. Contudo, SALOMÃO (2010) constata que tais atuações são dependentes da distribuição pluviométrica, mais ou menos regular, no tempo e no espaço, e sua intensidade.

Quanto maior a chuva, mais intensos os escoamentos provocados. No entanto, os milímetros precipitados têm efeitos distintos de acordo com sua maior ou menor duração, sendo fatores importantes para a avaliação do processo erosivo. Segundo MOREIRA & PIRES NETO (1998), chuvas mais longas e menos intensas provocam menos danos que chuvas mais curtas e mais intensas.

O conhecimento do potencial de erosão das chuvas (erosividade) é verificado com o auxílio de registros pluviográficos na determinação da energia cinética e a intensidade máxima de precipitação em 30 minutos. Contudo, a escassez de dados tem levado ao desenvolvimento de equações que relacionam os índices de erosividade com a precipitação total e mensal. Essas alternativas, que embora apresentem limitações por não utilizar as intensidades de precipitações, tem proporcionado uma ampliação nas estimativas do potencial erosivo da água.

LOMBARDI NETO & MOLDENHAUER (1992) desenvolveram a seguinte equação baseada na precipitação média mensal e a média anual:

$$EI = 67,355 \times \left(\frac{r^2}{P}\right)^{0,85} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde,

EI é a média mensal do índice de erosividade das chuvas (MJ.mm/.ha.h)

r é a precipitação média mensal (mm)

P é a precipitação média anual (mm)

O fator R ou fator erosividade da chuva, representa de forma numérica o quão determinada chuva pode ser prejudicial ao solo. O cálculo desse fator é o somatório dos valores mensais de erosividade, conforme a Equação 2:

$$R = \sum_1^{12} EI \quad (\text{Equação 2})$$

Para a analisar os resultados de erosividade da chuva utiliza-se a classificação proposta por SANTOS (2008), conforme a Tabela 1.

Tabela 1. Classes de erosividade da chuva média anual e mensal. Fonte: SANTOS, 2008

Classe de erosividade	Valores de erosividade	
	R [MJ.mm. ha ⁻¹ .h ⁻¹ .mês ⁻¹]	EI_{30} [MJ.mm. ha ⁻¹ .h ⁻¹ .ano ⁻¹]
Muito baixa	$R \leq 2500$	$EI_{30} \leq 250$
Baixa	$2500 < R \leq 5000$	$250 < EI_{30} \leq 500$
Média	$5000 < R \leq 7000$	$500 < EI_{30} \leq 700$
Alta	$7000 < R \leq 10000$	$700 < EI_{30} \leq 1000$
Muito alta	$R > 10000$	$EI_{30} > 1000$

Estudos realizados por TAVARES (2011) comprovaram que os índices de erosividade seguem o critério da precipitação com seus valores altos e baixos, sendo suficientes para afirmar que a erosividade da chuva é tanto maior quanto a precipitação que deflagra o processo erosivo.

2.2.2. RELEVO

A contribuição do relevo com o processo erosivo está associada principalmente a declividade, ao comprimento da rampa e à forma da vertente. De acordo com GOMES (2001), terrenos com grandes declividades estão mais sujeitos a erosão pois é maior a velocidade de escoamento da água que se acumulará ao longo do mesmo. Por sua vez, altas declividades associadas a comprimentos extensos de vertente, causam um aumento ainda maior na velocidade da água.

BERTONI & LOMBARDI NETO (1998) realizaram comparativos entre dois terrenos nas mesmas condições de chuva, tipo de solo, tipo de cobertura e manejo, alterando apenas os fatores de comprimento da rampa e declividade, onde obtiveram que a taxa de perda de terra é a mesma para um terreno com 20 metros de comprimento e uma declividade de 20% assim como para um terreno de 180 metros de rampa e 1 % de declividade.

A declividade e o comprimento da rampa são associados através do fator topográfico LS proposto por BERTONI & LOMBARDI NETO (1998), apresentado pela Equação 3. A relação é utilizada na estimativa de perdas de solo por erosão.

$$LS = 0,00984 \times C^{0,63} \times D^{1,18} \quad (\text{Equação 3})$$

Onde,

LS é o fator topográfico (adimensional)

C é o comprimento da rampa (m)

D é o declive (%)

JESUS (2013) destacou que as formas das vertentes influenciam de maneiras distintas a velocidade do escoamento superficial. As vertentes com curvas de nível e perfil côncavos e as vertentes com curvas de nível côncavas e perfil convexo são concentradoras de fluxos superficiais e, portanto, induzem mais facilmente a ocorrência de incisões erosivas. Já as vertentes com curvas de nível e perfil convexos e as de curva de nível convexas e perfil côncavo fazem com que as linhas de fluxo da água sejam dispersadas. A Figura 4 apresenta os tipos de vertentes existentes.

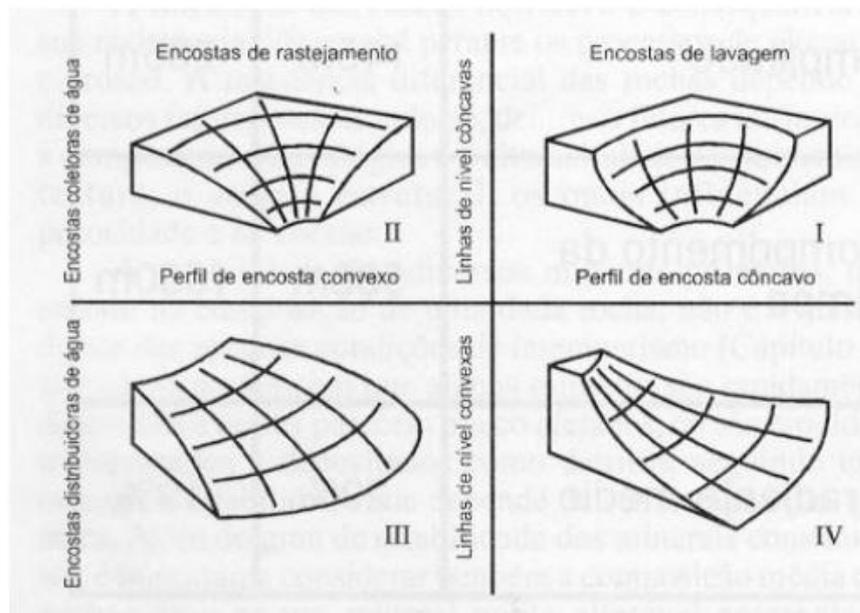


Figura 4. Tipos básicos de vertentes que caracterizam o processo erosivo. Fonte: GOMES, 2001 (modificado de MOREIRA & PIRES NETO, 1998).

2.2.3. USO DO SOLO

Na literatura referente aos estudos sobre erosão, os autores apontam a ocupação humana como um dos fatores mais importantes no que diz respeito a aceleração dos processos erosivos. Contudo, o efeito mais negativo causado pelo homem consiste em promover condições para que se deflagre uma erosão parcial ou total.

O desmatamento para ocupação e implementação de ações de infraestrutura seria a primeira das formas de atuação humana que impactam o meio ambiente, provocando uma perda da proteção natural do terreno. Assim, com a falta de cobertura vegetal, faz-se necessário evitar o fluxo concentrado do deflúvio. Nas áreas rurais, realizando terraceamentos, plantio em curvas de nível, e nas áreas urbanas evitando o sistema de arruamento perpendicular as curvas de nível

do terreno, bem como evitando a ocupação em cabeceiras de drenagem, fundos de vales e áreas muito inclinadas.

De acordo com JESUS (2013), a maioria dos municípios são afetados por erosões lineares causadas, em sua maioria, pela concentração de águas do escoamento superficial sobre as áreas impermeabilizadas, com sistemas de drenagem ineficiente ou inexistente, assim como o lançamento de águas em locais inadequados, como a meia vertente, ou em cabeceiras de drenagem.

2.2.4. COBERTURA VEGETAL

A cobertura vegetal é a defesa natural de um terreno e desempenha funções muito importantes no controle das erosões. Dentre os principais efeitos, BERTONI & LOMBARDI NETO (1998) destacam os seguintes:

- Proteção contra o impacto direto das gotas de chuva
- Dispersão e quebra de energia das águas de escoamento superficial
- Ação das raízes pela produção de poros no solo e consequente aumento da infiltração da água
- Aumento da capacidade de retenção da água pela estruturação do solo por efeito da produção e incorporação de matéria orgânica.

Na Tabela 2 é possível verificar a importância da cobertura vegetal, pois o escoamento superficial tende a ser inferior a 50% em áreas vegetadas, já as superfícies impermeáveis têm até 95% das suas águas escoadas e atuando nos processos erosivos.

Tabela 2. Faixas de valores para os coeficientes de escoamento segundo os tipos de coberturas do terreno. Fonte: OLIVEIRA, 2018 (modificado de JORGE & UEHARA, 1998)

Características da Bacia	Faixa de valores do coeficiente de Escoamento
Superfícies Impermeáveis	90 a 95 %
Florestas e Matas de árvores de folhagem em terrenos com declividades variadas	5 a 50 %

A influência da cobertura vegetal também pode ser observada na determinação de perdas de solo por erosão através de dois fatores:

- a) Uso e manejo do solo (C) - consiste na relação entre as perdas de solo de um terreno cultivado em determinadas condições e as perdas de solo de um terreno mantido completamente descoberto.

- b) Prática conservacionista (P) - que consistem da relação entre a intensidade esperada de perdas de solo por erosão, com determinada prática conservacionista, e aquelas quando a cultura está planta no sentido do declive (morro abaixo).

De acordo com WISCHMEIER & SMITH (1978) os fatores C e P estão significativamente relacionados, devendo ser analisado de maneira associada. O efeito combinado das variáveis cobertura e manejo do solo é representado pelo fato CP. STEIN (1987) *et al*, classificaram os valores de CP em função do tipo de ocupação e do porte e densidade da cobertura vegetal, como estabelecido na Tabela 3.

Tabela 3.Fator CP em para alguns tipos de cobertura do solo. Fonte: STEIN,1987(modificado pela autora)

GRUPO	CATEGORIA	CP
1. Vegetação de porte alto a médio, cobertura total do terreno	1a. Floresta	0,00004
	1b.Vegetação secundária	0,00004
	1c. Cerradão	0,00004
	1d. Reflorestamento	0,00001
2. Vegetação de porte médio a baixo, cobertura total do terreno	2a. Cobertura residual	0,0007
	2b. Cerrado	0,0007
	2c. Cultura permanente	0,02
	2d. Cana-de-açúcar	0,05
3. Vegetação de porte médio a baixo, cobertura parcial do terreno	3a. Cobertura residual	0,25
	3b. Cultura perene	0,25
4. Vegetação de porte baixo a rasteiro, cobertura total do terreno	4a. Cobertura residual	0,01
	4b. Pastagem	0,01
	4c. Cultura temporária	0,2
	4d. Campo cerrado	0,01
	4e. Campo natural	0,01
5. Vegetação de porte baixo a rasteiro, cobertura parcial do terreno	5a. Cobertura residual	0,01
	5b. Pastagem	0,01
	5c. Cultura temporária	0,02
6. Ocupações naturais diversas	6a. Várzea	0
	6b. Espelho d'água	0
7. Ocupações antrópicas diversas	7a. Área urbanizada	0
	7b. Estrada	0

Na Tabela de fatores CP os grupos estão relacionados ao porte e ao grau de cobertura proporcionado pelo tipo de vegetação que é apontado na categoria. A vegetação de grande a médio porte detém baixo valor de CP e quanto menor o porte da vegetação e o grau de cobertura, maior a perda de solo e consequentemente os valores do fator.

2.2.5. SOLO

O solo constitui o principal fator natural relacionado à erosão, por influenciar e sofrer a ação dos processos erosivos. BERTONI & LOMBARDI NETO (1998) constatam que o potencial do solo à erosão, denominado erodibilidade, se dá devido às propriedades do solo, ocasionando que uns solos erodiam mais que outros. Dentre as características de solo que intervêm na erodibilidade, destacam-se neste estudo: a cor, a textura, a porosidade; que contribuem diretamente para maior, ou menor, resistência dos solos frente ao processo erosivo.

A cor do solo fornece informações que permitem uma relação com a susceptibilidade a erosão, a partir da interpretação em termos de constituintes (matéria orgânica, carbonato de cálcio, ferro e etc) e de mecanismos como atividades biológicas, animais e vegetais, regimes hídricos e etc.

Conforme OLIVEIRA (2018) *apud* SILVA (2007), os solos mais escuros tendem a ser enriquecidos de matéria orgânica, conferindo maior estabilidade aos agregados do solo e menor susceptibilidade à erosão, enquanto os solos mais claros são mais secos, onde o crescimento da vegetação é inibido pela pouca umidade, aumentando assim, o risco à erosão.

A textura, ou seja, tamanho das partículas intervêm através do potencial de infiltração e absorção da água da chuva. Contudo, deve-se destacar que as partículas não são igualmente deslocadas pela ação da água, diferenciam-se pela natureza das energias resistentes.

A porosidade está diretamente associada com a estrutura do solo, ou seja, como se arranjam as partículas, que semelhante à textura, intervêm na capacidade de infiltração e absorção da água. Diz respeito à relação entre a sua massa total e volume, e constitui-se de efeito inversamente proporcional à densidade do solo. Sendo assim, um aumento da densidade de uma partícula resulta na diminuição de macro poros; em função disso, o solo torna-se mais erodível.

De acordo com GUERRA & BOTELHO (1996, P.101), as frações granulométricas que apresentam maior potencial erosivo são as que não possuem muita coesão ou peso suficiente para combater a água, como a areia fina e os siltes. Consequentemente, as partículas que possuem coesão, são mais resistentes aos processos erosivos, como as argilas, principalmente quando combinadas com matéria orgânica formando agregados estáveis. Mas também, há aquelas frações granulométricas cujos diâmetros são mais elevados e apresentam um peso maior que dificulta a ação da água e concorrem para uma alta resistência a erosão, como as areias grossas.

2.2.6. ERODIBILIDADE E PROPRIEDADES GEOTÉCNICAS DO SOLO

Estudos realizados por MEIRELES (1967) *et all*, destacam a erodibilidade dos solos de acordo com os seguintes comportamentos:

- Solos cujo $L \leq 21,00\%$, $IP \leq 8,00\%$ e $\% \text{ passa } \#200 \leq 20,00\%$ são fortemente erodíveis.
- Solos em que $20,00\% \leq \% \text{ passa } \#200 \leq 40\%$ são passíveis de forte erosão
- Solos em que $\% \text{ passa } \#200 \geq 40\%$ são considerados pouco erodíveis.

Outra avaliação de erodibilidade foi proposta por SANTOS (2001), a partir da relação dos solos com o índice de Plasticidade (IP) e Coeficiente de Uniformidade (Cu):

Tabela 4. Erodibilidade dos solos correlacionada com IP e Cu. Fonte: OLIVEIRA, 2018 (modificado de SANTOS, 2001)

IP	Erodibilidade	Cu	Erodibilidade
IP>15	Boa resistência a erosão	Cu<5	Solos erodíveis
15>IP>6	Média resistência a erosão	5<Cu<15	Solos de média erodibilidade
IP<6	Baixa resistência a erosão	Cu>15	Solos de baixa erodibilidade

MANNIGEL (2002) *et all*, propuseram uma relação entre erodibilidade e propriedades geotécnicas do solo através da Equação 4, denominada expressão de Boyoucos:

$$\text{Fator } K = \frac{(\% \text{ areia} + \% \text{ silte})}{(\% \text{ argila})} / 100 \quad (\text{Equação 4})$$

Onde,

Fator K é o fator erodibilidade do solo;

% areia, % silte e % argila representam as porcentagens das respectivas frações no solo em estudo;

Os valores do fator de erodibilidade foram classificados em seis faixas, com o objetivo da mensuração mais detalhada da correlação proposta. Assim:

- $K > 0,06 \text{ t.ha.h/ha.MJ.mm}$ o fator de erodibilidade é extremamente alto
- $0,06 < K < 0,045 \text{ t.ha.h/ha.MJ.mm}$ o fator de erodibilidade é muito alto
- $0,03 < K < 0,045 \text{ t.ha.h/ha.MJ.mm}$ o fator de erodibilidade alto
- $0,015 < K < 0,03 \text{ t.ha.h/ha.MJ.mm}$ o fator de erodibilidade médio
- $0,009 < K < 0,015 \text{ t.ha.h/ha.MJ.mm}$ o fator de erodibilidade baixo
- $K < 0,009 \text{ t.ha.h/ha.MJ.mm}$ o fator de erodibilidade é muito baixo

ARAÚJO (2013), apresentou uma proposta de separação de zonas de erodibilidade utilizando o triângulo textural. O gráfico indica uma tendência de concentração dos solos muito erodíveis na região de mais de 50% de areia e menos de 50% de argila, conforme a Figura 5.

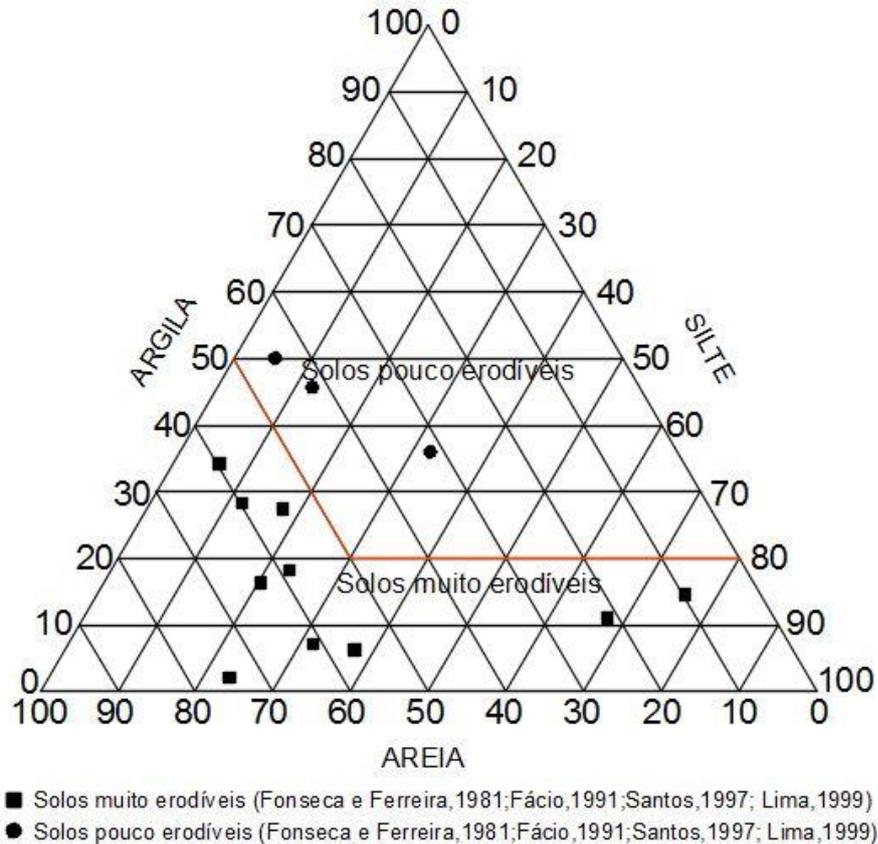


Figura 5. Proposta de separação de zonas de erodibilidade utilizando o triângulo textural. Fonte: ARAÚJO, 2013 (modificado pela autora)

2.3. AVALIAÇÃO DIRETA DA ERODIBILIDADE

As avaliações diretas da erodibilidade, em sua maioria, consistem em submeter amostras de solo, sob condições normais, a simulações de escoamento e submersão em água.

O ensaio de desagregação, trata-se de uma das mais simples avaliações diretas da erodibilidade, cujo objetivo é a verificação da estabilidade de uma amostra indeformada quando imersa em água destilada.

De acordo com CHUQUIPIONDO (2007), o ensaio de desagregação pode ser realizado por dois métodos: Método da Imersão Parcial, que consiste na imersão realizada de maneira gradativa, aumentando o nível sucessivamente para 1/3, 2/3 até a submersão total da amostra, mantendo-se um intervalo de 15 minutos entre cada uma destas fases; e no Método da Imersão Total, que consiste em manter o nível na altura da base por 30 min e depois desse tempo, o nível é aumentado até a imersão, onde é deixado por 24h.

LIMA (2003) destaca que o resultado do ensaio é puramente qualitativo, no entanto, a relação entre o potencial de desagregação e a erodibilidade, fica bem evidente. Além da verificação de desagregabilidade, pode ser realizada a classificação quanto à reação a inundação de acordo com os seguintes comportamentos:

- Sem Resposta: quando a amostra mantém a forma e tamanhos originais;
- Fraturamento: quando a amostra se quebra em fragmentos, mantendo a forma original das faces externas;
- Abatimento (Slumping): quando a amostra se desintegra formando uma pilha de material desestruturado;
- Dispersão: quando as paredes da amostra se tornam difusas com o surgimento de uma “nuvem” coloidal que cresce à medida que a amostra dissolve

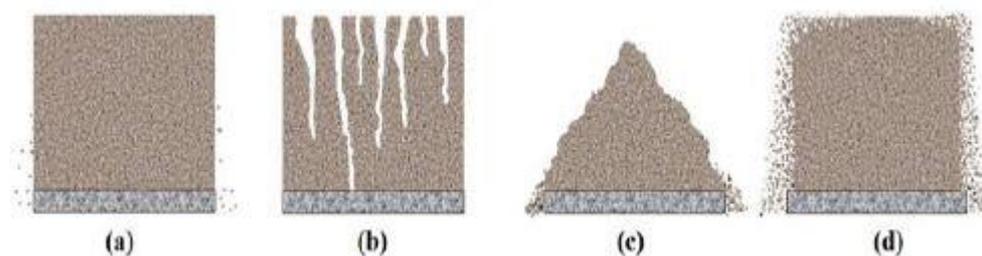


Figura 6. Ensaio de desagregação. (a) Sem Resposta; (b) Fraturamento; (c) Abatimento; (d) Dispersão. Fonte: QUIRINO, 2014

2.4. USO DE GEOSSINTÉTICOS NA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS ERODIDAS

As recuperações de áreas erodidas geralmente são propostas através da associação de sistemas de drenagem, regularização e proteção superficial das áreas de taludes. Nesta perspectiva, surgem alternativas de materiais naturais que detém as principais funções buscadas para o controle da erosão, os geossintéticos.

Os geossintéticos são produtos industrializados onde pelo menos um de seus componentes é fabricado com polímeros sintéticos ou naturais e que são largamente utilizados para solucionar problemas de geotecnia. Segundo FREIRE (2016), estes produtos conseguem atender necessidades de controle a erosão devido as suas propriedades mecânicas e hidráulicas que lhes permitem suportar solicitações extremas, sendo eficiente mesmo em solos em que as condições locais (declividade, tipo de solo, regime pluviométrico, uso e ocupação dos terrenos, etc) se mostram adversas e potencialmente deflagradoras de processos erosivos.

Os geossintéticos utilizados no controle da erosão podem ser temporários ou permanentes. Os materiais temporários são totais ou parcialmente degradáveis sendo utilizados para possibilitar condições favoráveis para o restabelecimento vegetal, até que a vegetação desenvolva-se sem auxílio do material à exemplo de georredes e geogrelhas.

Segundo MARQUES (2004) *apud* FREIRE (2016), os materiais permanentes subdividem-se em geocompostos constituídos por materiais não degradáveis, tendo como exemplo as geomantas e as geocélulas que são utilizadas associadas à vegetação para o controle da erosão, e em sistemas semiflexíveis articulados ou armados como o geotêxtil.

2.4.1. GEOGRELHAS NO CONTROLE DA EROSÃO

A geogrelha é uma estrutura em forma de grelha com função predominante de reforço, cujas aberturas permitem a interação do meio em que estão confinadas. É recomendada para contribuição da proteção da superfície de solos arenosos, silto-arenosos, solos saprolíticos com predominância de material silteoso, e de taludes íngremes, pois garante o reforço do solo viabilizando o recebimento da vegetação.

Geralmente são associadas à revegetação por hidrossemeadura garantindo um entrelaçamento que origina um tapete reforçado e homogêneo, e confere uma excelente estabilidade superficial. Além de ajudar a dissipar as águas das chuvas, reduzindo o seu impacto na superfície do talude, e praticamente eliminar ravinamentos quando a vegetação está na fase de germinação.

2.4.2. GEOTÊXTIL NO CONTROLE DA EROSÃO

Segundo FARIAS (2005), o geotêxtil desempenha duas funções básicas: contenção do solo erodido, ou sujeito a possíveis erosões, e filtração/ drenagem, permitindo o escoamento das águas de infiltração. Além destas funções, deve-se destacar a elevada deformabilidade e a baixíssima degradabilidade do geotêxtil, ressaltando-se que a deformabilidade e resistência mecânica do geotêxtil constituem-se em características de grande importância, pela possibilidade de movimentação e acomodações a recalques de obras de terra.

É usualmente utilizado como barreira de sedimentos associadas a hastas de madeira e metal, executadas em série, promovendo o assoreamento dos barramentos e diminuindo a declividade da feição erosiva ao mesmo tempo que permite a ascensão do seu fundo.

3.METODOLOGIA

O estudo realizado no Distrito de Mata Redonda fundamenta-se inicialmente nas caracterizações físicas, geotécnicas e nas condições de uso e cobertura do solo, cuja metodologia utilizada dividiu-se em quatro passos: a coleta de dados, a realização de ensaios em laboratório, análise da área em estudo, a estimativa de perdas de solo por erosão e a formulação de proposta de intervenção.

3.1. COLETA DE DADOS

Nessa etapa foi realizada a visita de campo onde foram coletadas as amostras do solo mais representativas da ravina para serem executados os ensaios de caracterização geotécnica. Foram retiradas amostras de solo indeformadas para a realização do ensaio de desagregação e amostras de solo deformadas para a utilização nos ensaios de granulometria, limite de liquidez e limite de plasticidade.

Ainda nesta etapa foi realizado os levantamentos das feições erosivas, bem como os registros através de imagens fotográficas, posteriormente complementadas por bases de dados através de imagens de satélite.

Fez-se necessário também a realização da captura de imagens através de drone para a utilização no estudo da topografia do terreno que estão incluídas as feições erosivas, bem como a avaliação das altitudes e inclinações verificadas na Ravina.

Por fim, foi aplicado um questionário com as famílias do perímetro da área erodida, em busca de uma caracterização representativa para o entendimento da ação antrópica na deflagração e aceleração do processo erosivo.

3.2.ENSAIOS DE LABORATÓRIO

Algumas correlações entre o solo e a erosão exigem a caracterização geotécnica através de ensaios de laboratório, como Limite de Liquidez normatizado pela NBR 6469 (ABNT,1984a), Limite de Plasticidade normatizado pela NBR 7180 (ABNT,1984b), Granulometria normatizado pela NBR 7180 (ABNT,1984d), consistindo em uma avaliação de susceptibilidade a erosão indireta. Sendo assim, realizou-se também o ensaio de desagregação, que consiste em uma avaliação direta a fim de confrontar os dois métodos.

No ensaio de Limite de Liquidez foi determinado o teor de umidade sobre o qual o solo adquiriu o comportamento líquido. Este limite é definido através do auxílio do aparelho

Casagrande, no qual se estabeleceu o teor de umidade, que com 25 golpes, uniu as bordas inferiores de uma ranhura aberta (1 cm de comprimento), feita com um cinzel de dimensões padronizadas.

No ensaio de Limite de Plasticidade determinou-se o valor da umidade sobre o qual o solo adquiriu comportamento semi-sólido, limite este no qual o solo passou a se quebrar em pequenas peças quando moldado em bastões de 3mm de diâmetro e que também conferiram o menor teor de umidade em que o solo se comportou plasticamente.

A análise granulométrica foi determinada a partir do peneiramento de partículas retidas até a peneira 200 e pelo processo de sedimentação das partículas passantes da mesma peneira.

O ensaio de desagregação, por se tratar de um ensaio não normatizado, foi realizado segundo as metodologias já utilizadas em outros estudos, executando a imersão total da amostra indeformada por 24h, observando o comportamento quando em contato com a água.

3.3. ANÁLISE DA ÁREA EM ESTUDO

Nesta etapa foi realizada a junção das informações obtidas nas etapas anteriores e realizadas as caracterizações da área em estudo, além da compilação dos dados de ensaios e transformação em indicadores de erodibilidade, e assim, executadas as correlações entre as propriedades inerentes ao solo e o potencial erosivo.

Por fim, foi realizada a análise qualitativa dos parâmetros que contribuem ou dificultam no processo erosivo, culminando na compreensão da gênese e evolução da ravina e no diagnóstico de susceptibilidade à erosão.

3.4. ESTIMATIVA DE PERDA DE SOLO POR EROSÃO

A estimativa de perda de solo por erosão, foi realizada através da aplicação da Equação Universal de Perdas de Solo, mediante o cálculo dos fatores de erosividade (K), erodibilidade (R), fator topografia (LS) e o fator CP (uso e manejo do solo), segundo as equações determinantes. A avaliação dos dados permite analisar a evolução das feições erosivas.

3.5. FORMULAÇÃO DE PROPOSTA DE INTERVENÇÃO

De posse da estimativa da perda de solo, foi realizado o estudo das alternativas de soluções de recuperação da área erodida possíveis de serem implantadas, com o objetivo de se escolher a melhor solução técnica para a obra, considerando sobretudo a viabilidade de ações a serem tomadas com os moradores do perímetro da Ravina.

4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO

A área estudada está localizada no Distrito de Mata Redonda, pertencente ao Município de Alhandra, Litoral Sul da Paraíba e está compreendida entre as coordenadas $7^{\circ}20'55.57''S$ $34^{\circ}56'35.75''O$ e $7^{\circ}20'45.06''S$ $34^{\circ}56'29.25''$.

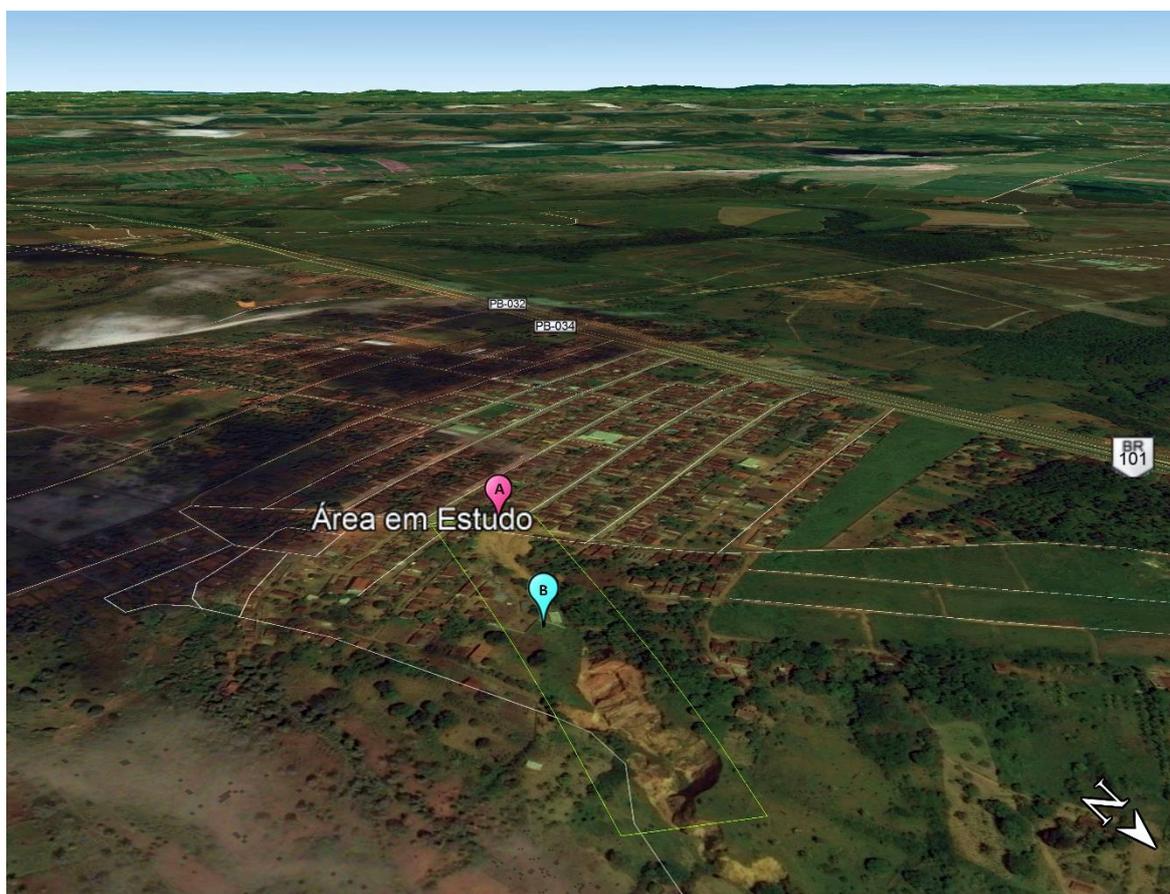


Figura 7. Vista da Área estudada (2016). Fonte: GOOGLE EARTH, 2018 (modificado pela Autora)

As feições erosivas, ilustradas na Figura 8, são delimitadas em boa parte de seu perímetro pela ocupação de moradores. No levantamento realizado na etapa de coleta de dados foram cadastradas informações de 25 famílias, localizadas nas imediações definidas na Figura 9. Os dados da pesquisa, apresentados na Figura 10, corroboram o desprovimento de condições de infraestrutura necessárias para a redução do processo erosivo, além de afirmarem a potencialização da ação antrópica, evidenciando a deflagração acelerada da erosão.



Figura 8. Feições Erosivas no Distrito de Mata Redonda. (A) Vista Sudoeste da Ravina; (B) Vista Sul da Ravina.
 Fonte: Registro feito Autora, 2018



Figura 9. Identificação das Famílias Entrevistadas no perímetro da Ravina. Fonte: GOOGLE EARTH, 2018
 (modificado pela Autora)

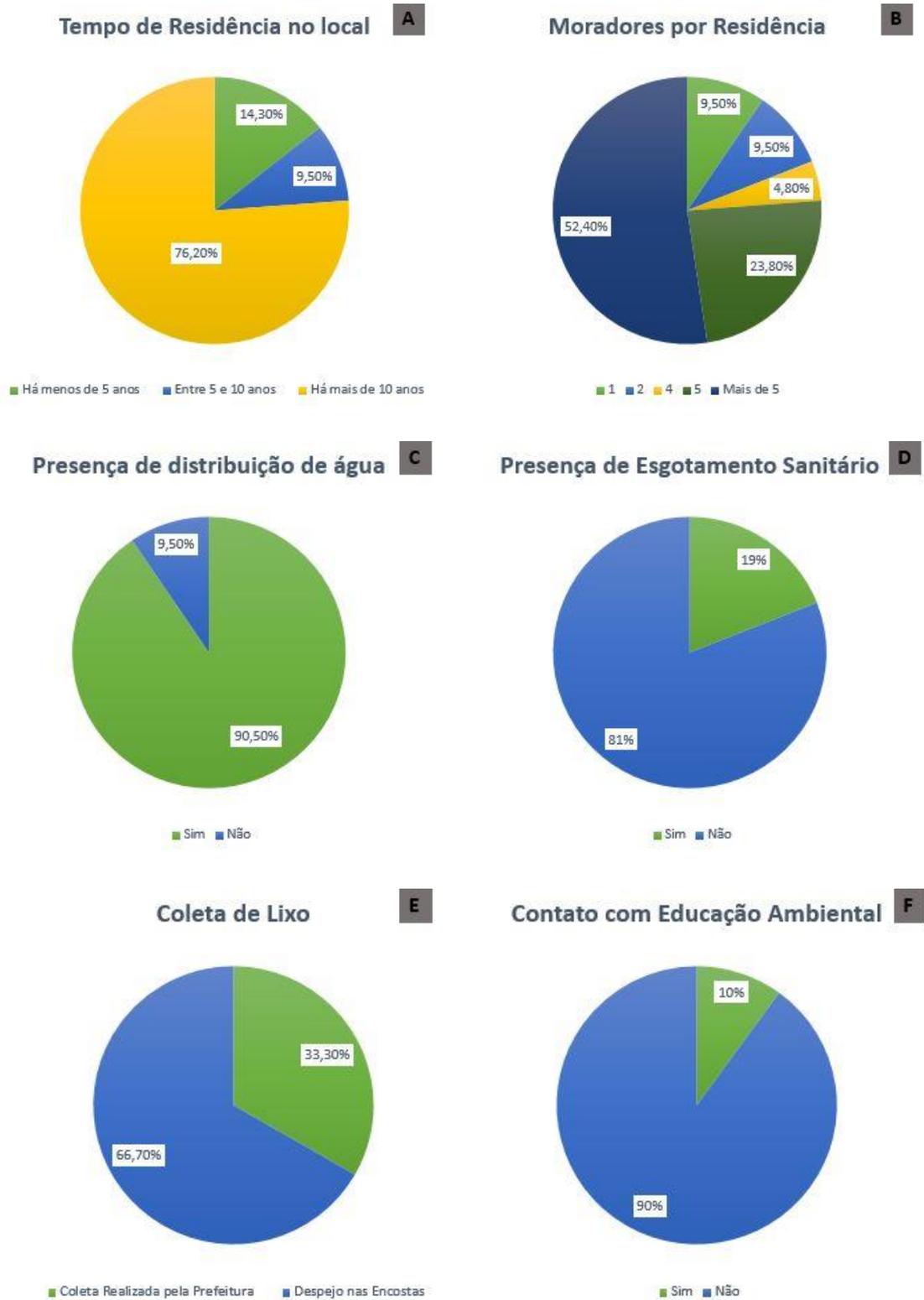


Figura 10. Gráficos dos dados obtidos no levantamento das condições da comunidade no entorno das feições erosivas. (A) Tempo de Residência no local; (B) Moradores por residência; (C) Presença da distribuição de água; (D) Presença de esgotamento sanitário; (E) Coleta de Lixo; (F) Contato com Educação Ambiental. Fonte: Elaborado pela Autora.

4.1. CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO

4.1.1. CLIMA

As feições erosivas da área em estudo evidenciam o agente determinante da problemática, a ação pluvial. A localização da Ravina, região litorânea do Estado, favorece os altos índices pluviométricos.

Por se tratar de um clima tropical chuvoso com verão seco, também conhecido por clima tropical semi-úmido, segundo a classificação climática de Köppen-Geiger, tal designação é determinada pela temperatura e precipitação, onde, todos os meses do ano têm temperatura média mensal superior a 18°C e pelo menos um dos meses do ano tem precipitação média total inferior a 60 mm.

Segundo dados de precipitações máximas pluviométricas anuais referentes aos últimos 20 anos obtidos pela AESA-PB, ilustrados na Figura 11, o Município de Alhandra se encontra entre os 10 mais chuvosos do Estado, nos referidos anos, e ocupa as primeiras posições em sua maioria.

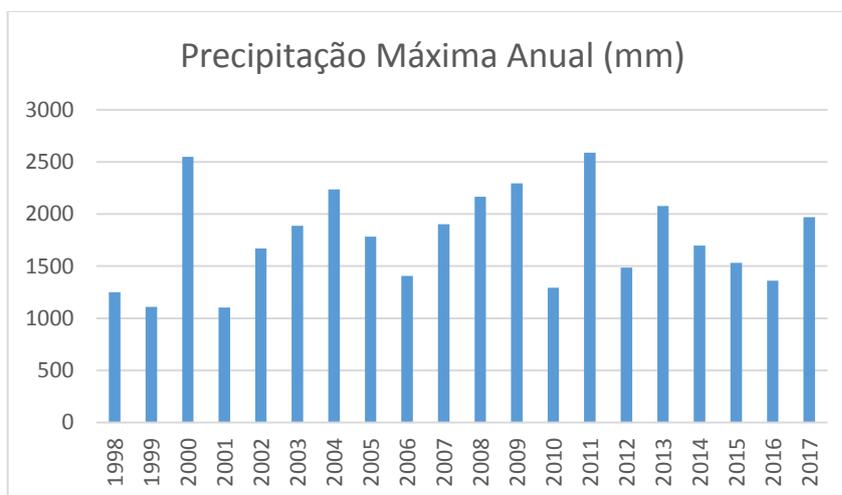


Figura 11. Dados de Precipitação Máxima Anual do Município de Alhandra-PB. Fonte: Elaborado pela Autora, segundo os dados da AESA-PB

Verificou-se também como se dá a distribuição pluviométrica nos meses do ano. Foram utilizados dados do Departamento de Ciências Atmosféricas da UFCG, mediante uma série histórica de 43 anos, cujo produto é a precipitação média mensal do Município de Alhandra, apresentada na Figura 12, caracterizando altas precipitações nos meses de Março a Julho, que correspondem a 70,72% da precipitação total ocorrida.

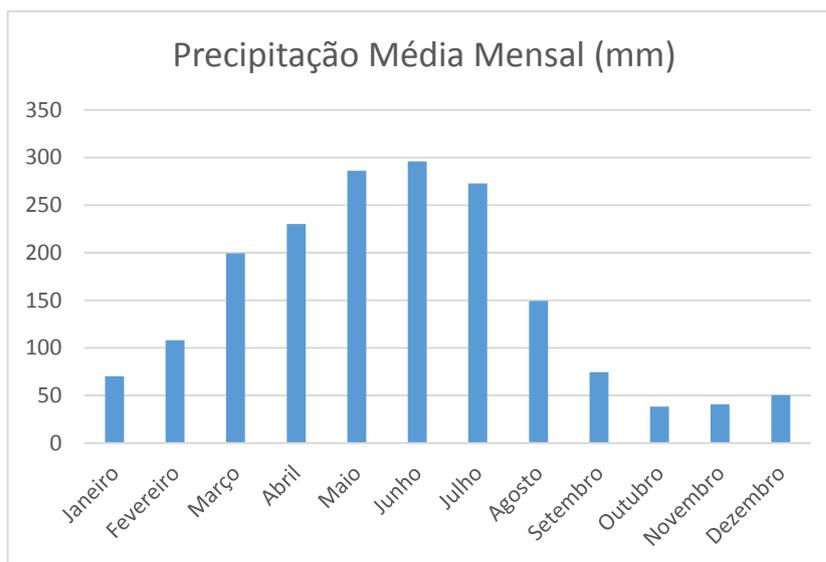


Figura 12. Dados de Precipitação Média Mensal do Município de Alhandra-PB. Fonte: Elaborado pela Autora, segundo os dados do Departamento de Ciências Atmosféricas da UFCG.

A Tabela 5 apresenta os valores calculados dos índices de erosividade mensais e do Fator R.

Tabela 5. Média Mensal e anual da Precipitação em Alhandra com os valores de EI e Fator R, respectivamente. Fonte: Elaborada pela Autora, segundo os dados do Departamento de Ciências atmosféricas da UFCG.

Meses	Médias Mensais (m)	EI (MJ.mm/ha.h)	R (MJ.mm/ha.h)
Janeiro	70,1	156,99	8659,50
Fevereiro	108,2	328,36	
Março	199,4	928,31	
Abril	230,1	1184,19	
Maio	286,1	1714,91	
Junho	295,8	1814,93	
Julho	272,8	1581,60	
Agosto	149,3	567,63	
Setembro	74,6	174,51	
Outubro	38,4	56,43	
Novembro	40,6	62,04	
Dezembro	50,4	89,60	
Anuais	1815,8	8659,50	

De acordo com a análise dos dados calculados, os meses de março a julho apresentam os maiores índices de erosividade, seguindo o critério da precipitação com seus valores de altos e baixos, corroborando os estudos realizados por TAVARES (2011), como ilustrado na Figura 13.

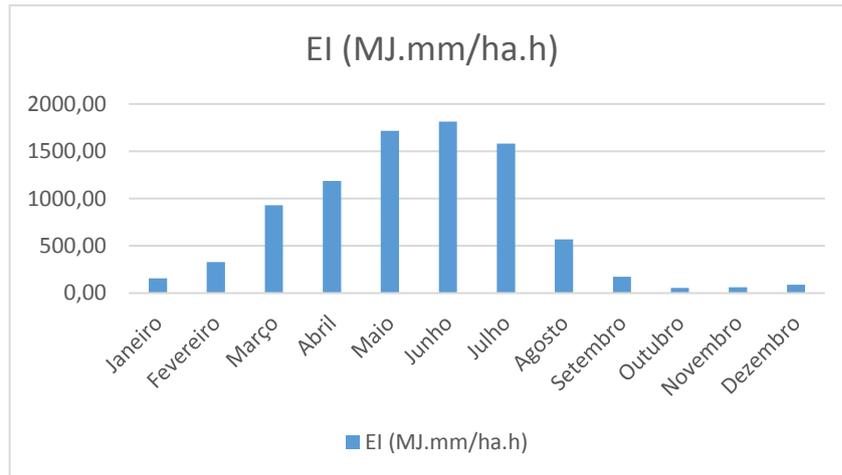


Figura 13. Erosividade média mensal para o Município de Alhandra. Fonte: Elaborada pela Autora.

Alhandra enquadra-se como sendo uma cidade de alta erosividade, uma vez que o fator erosividade (R) encontrado foi de 8659 MJ.mm/ha.h.

4.1.2. RELEVO

Em uma análise inicial, relativa à visita de campo à área em estudo, foi possível a observação do relevo em que está inserida à Ravina, marcado por uma declividade da região, que favorece o escoamento no sentido da feição erosiva.

No estudo em questão utiliza-se os arruamentos para verificação dos perfis de elevação, de modo a obter os parâmetros topográficos geralmente considerados em estudos sobre erosão. A Figura 14 ilustra a identificação de cada perfil.



Figura 14. Identificação dos perfis topográficos. Fonte: GOOGLE EARTH, 2018 (modificado pela Autora)

Com o auxílio do sistema de satélite foi realizada a demarcação e consequente determinação dos comprimentos e inclinações que contribuem para uma maior velocidade do escoamento. Os dados obtidos foram apresentados na Tabela 6

Tabela 6. Dados dos perfis de elevação dos arruamentos. Fonte: GOOGLE EARTH, 2018 (modificado pela Autora)

FATORES TOPOGRÁFICOS DOS ARRUAMENTOS								
Perfil	1	2	3	4	5	6	7	8
Comprimento (m)	449	282	533	571	509	670	703	745
Inclinação (%)	2,7	3,5	2,8	2,7	2,5	2,2	2	2,4

Assim, tem-se a partir das médias dos dados obtidos através dos perfis, uma rampa equivalente de contribuição para o escoamento, de 557,75 m de comprimento e 2,6% de inclinação. Vale salientar que nesta primeira análise estão sendo considerados apenas os dados que afloram na cabeceira da encosta.

Na segunda análise é realizada uma averiguação do perfil topográfico da rampa onde está inserida a feição erosiva, ilustrado na Figura 15.



Figura 15. Perfil Topográfico da Rampa longitudinal da Feição Erosiva. Fonte: GOOGLE EARTH, 2018.

A rampa tem aproximadamente 357 metros de extensão e uma inclinação de 12,9 %, conferindo um desnível de 46 metros de altura entre a porção mais alta e a mais baixa, o que significa uma alta contribuição na velocidade para o escoamento.

Quanto à classificação da vertente foi observada a presença de dois tipos de formas ao longo Ravina. Na parte onde já foram realizadas intervenções através de aterramento e compactação de solo, apresenta uma vertente do tipo III, que permitem a dispersão dos fluxos de água. No entanto, a maior parte da erosão caracteriza-se como vertente do tipo I, que são concentradoras do fluxo superficial e induzem as ocorrências erosivas.

4.2. USO E COBERTURA DO SOLO

As principais formas de uso do solo identificadas no entorno da área erodida são o arruamento e a ocupação, não havendo a constatação de atividades de agricultura. No entanto, destaca-se os efeitos que influenciam a deflagração do processo erosivo:

O arruamento produz impactos através do aumento do coeficiente de escoamento caracterizado pela impermeabilização do solo mediante a execução de calçamentos, interferindo na infiltração das chuvas. Consequentemente, relaciona-se a ausência ou ineficiência de sistemas de drenagens, favorecendo o curso não controlado das águas.

A ocupação torna-se um problema quando se trata de áreas inadequadas para habitação, aliada à falta da percepção de risco e à dificuldade de acesso a serviços básicos, potencializando o risco de inundação e instabilização das encostas. Como ilustrado na Figura 10, uma quantidade expressiva dos moradores do perímetro não tem acesso ao conjunto de atividades que englobam o saneamento básico.

O acesso restrito à limpeza urbana atrelado a falta de conhecimento e contato com educação ambiental é um dos fatores mais marcantes da ação antrópica do estudo em questão. O acúmulo de lixo além de comportar-se de forma a reter água, aumenta o peso na encosta, provocando sua desestabilização. Figura 16 apresenta um caso observado da feição erosiva do Distrito de Mata Redonda sob ocorrência de deslizamento mediante o acúmulo de lixo.



Figura 16. Deslizamento de encosta com acúmulo de lixo. Fonte: Registrado pela Autora.

A ausência de esgotamento sanitário ocasiona o lançamento diário das águas servidas na superfície do solo, tornando propícia a formação do processo erosivo do terreno. Associado a isto, a ocorrência das fossas sépticas, solução utilizada expressivamente nas residências levantadas, contribuem negativamente pois não possuem nenhuma superfície impermeabilizante, possibilitando a formação de bolsões de solo saturado e comprometendo as condições de estabilidade do talude.

No que diz respeito a cobertura vegetal, foi analisado duas áreas marcantes. Nas feições erosivas onde já ocorreram intervenções paliativas, percebe-se que a mudança na forma, além de colaborar na inclinação da porção tida como mais crítica, propiciou o escoamento disperso das águas e contribuiu para a vegetação. Observa-se nesta cobertura vegetal de pequeno e médio porte, desfavorecendo a deflagração do processo erosivo. A Figura 17 e a Figura 18 ilustram a região citada antes e depois de ser realizada a intervenção, respectivamente.



Figura 17. Feição Erosiva da erosão de Mata Redonda antes da intervenção. Fonte: Portal do Litoral PB, 2016



Figura 18. Feição Erosiva da Ravina de Mata Redonda depois da intervenção realizada pela Prefeitura. Fonte: Registrado pela Autora.

A segunda vertente marcante é a caracterizada como forma do tipo I, cujas inclinações das encostas chegam a aproximadamente 90° com o chão, desfavorecendo o fluxo disperso e por sua vez o crescimento da vegetação. Assim, tem-se uma região significativa sem cobertura vegetal, configurando uma área sem barreiras para o fluxo do escoamento, nem a contribuição da infiltração da água no solo através das raízes, sendo, portanto, fortemente susceptível à erosão.

4.3. CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA

4.3.1. TEOR DE UMIDADE

Para a determinação do teor de umidade, foi inserida uma parte da amostra de solo na capsula 24 e determinado o peso Cápsula + solo úmido, referente ao solo sob condições normais de umidade. Em seguida, esse material foi levado para a estufa, onde passou 24h e posteriormente pesado, para a determinação do peso da Cápsula + solo seco.

A partir destes dados foi realizado o cálculo da diferença da massa total antes e depois de ir para estufa, obtendo a quantidade percentual de água existente na amostra. O resultado da Tabela 7 mostra que o solo é consideravelmente úmido. Esse resultado pode ser justificado pela ocorrência de chuvas no dia da coleta da amostra de solo, que foi realizada no dia 13 de outubro de 2018.

Tabela 7. Determinação do Teor de Umidade. Fonte: Elaborado pela Autora.

Determinação do Teor de Umidade		
Cápsula	Nº	24
Cápsula + solo úmido	g	77,220
Cápsula + solo seco	g	77,060
Tara da cápsula	g	27,220
Peso da água	g	0,160
Peso do solo	g	49,840
Teor de umidade	W (%)	0,32

4.3.2. GRANULOMETRIA

A realização do ensaio foi feita com 2000 g de solo que inicialmente foram levados para estufa e posteriormente realizados os procedimentos. A amostra de solo foi passada na peneira

#10, onde o material retido foi lavado e submetido ao peneiramento grosso, cujos dados estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8. Resultado do Peneiramento Grosso. Fonte: Elaborado pela Autora

PENEIRAMENTO GROSSO					
Peneira	Material Retido			% passa	Peneira
	Massa	% Am.	% Am.	Amostra	(mm)
	(g)	Total	Acum.	Total	
1 1/2pol	0,00	0,00	0,00	100,00	38,1
1 pol	0,00	0,00	0,00	100,00	25,4
3/4pol	0,00	0,00	0,00	100,00	19,1
3/8pol	0,00	0,00	0,00	100,00	9,5
Nº 4	7,87	0,39	0,39	99,61	4,8
Nº 10	49,20	2,47	2,86	97,14	2,0

O material passante da peneira #10 foi submetido ao peneiramento fino, cujos dados se encontram na Tabela 9.

Tabela 9. Resultado do Peneiramento Fino. Fonte: Elaborado pela Autora

PENEIRAMENTO FINO						
Peneira	Material Retido			% passa	% passa	Peneiras
	Massa	% Am.	% Am.	Amostra	Amostra	
Nº	(g)	Parcial	Acum.	Parcial	Total	(mm)
16	8,090	8,116	8,116	91,884	89,25	1,20
30	15,880	15,931	24,047	75,953	73,78	0,60
40	15,090	15,138	39,185	60,815	59,07	0,42
50	13,650	13,694	52,879	47,121	45,77	0,30
100	8,190	8,216	61,096	38,904	37,79	0,15
200	10,030	10,062	71,158	28,842	28,02	0,074

Para uma maior completude da análise granulométrica foi realizado o processo de sedimentação. A Tabela 10 reúne os valores das leituras dos densímetros, e os cálculos realizados para a altura de queda das partículas e por fim os diâmetros dos grãos.

Tabela 10. Dados obtidos através da sedimentação. Fonte: Elaborado pela Autora

SEDIMENTAÇÃO				Massa de solo utilizada - g:		30,0963	
Massa Específica dos Grãos de Solo(g/cm ³)				2,69		Peneira utilizada:	
						100	
Data	Hora da Leitura	Tempo Leitura (min)	Leitura Densim. Mg/cm ³	Temperatura °C	Altura Queda cm	Diâmetro	%
						mm	Amostra Total
19/10/2018	00:09:00	0,5	1,009	25	16,39865	0,07059	13,32674
19/10/2018	00:09:01	1	1,008	25	16,39880	0,04992	11,84599
19/10/2018	00:09:02	2	1,008	25	16,39880	0,03530	11,84599
19/10/2018	00:09:04	4	1,007	25	15,79543	0,02450	10,36524
19/10/2018	00:09:08	8	1,006	25	15,79558	0,01732	8,88450
19/10/2018	00:09:15	15	1,006	25	15,79558	0,01265	8,88450
19/10/2018	00:09:30	30	1,005	25	15,79573	0,00894	7,40375
19/10/2018	00:10:00	60	1,005	25	15,79573	0,00632	7,40375
19/10/2018	00:11:00	120	1,005	25	15,79573	0,00447	7,40375
19/10/2018	00:13:00	240	1,005	25	15,79573	0,00316	7,40375
20/10/2018	00:09:00	1500	1,004	25	15,79588	0,00126	5,92300

A partir da determinação das dimensões das partículas do agregado e respectivas porcentagens de ocorrência, tem-se o produto dos dados, a distribuição granulométrica apresentada na Figura 19.

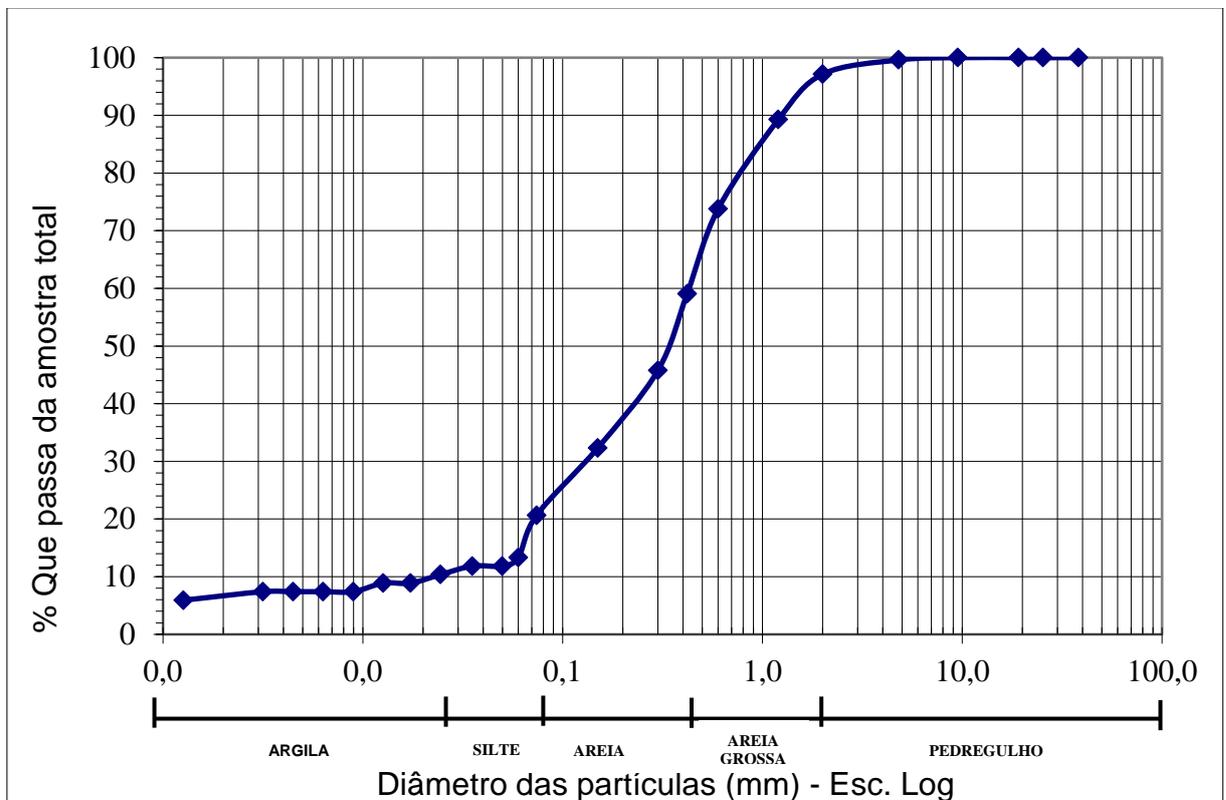


Figura 19. Curva Granulométrica do solo da Feição Erosiva de Mata Redonda. Fonte: Elaborada pela Autora

Segundo as determinações propostas pela NBR 6502 (ABNT, 1995), os grãos podem ser enquadrados em faixas granulométricas, são elas:

- Pedregulho- Grãos acima de 2,0 mm;
- Areia grossa- Grãos compreendidos entre 2,0 e 0,42 mm
- Areia Fina- Grãos compreendidos entre 0,42 e 0,075 mm
- Silte- Grãos compreendidos entre 0,075 e 0,002 mm
- Argila- Grãos abaixo de 0,002mm

Na Tabela 11 é apresentado o resumo da classificação da amostra nas faixas granulométricas, onde foi possível designar a configuração do solo em estudo, possibilitando a determinação geral de suas características físicas.

Tabela 11. Resumo da Granulometria e Sedimentação. Fonte: Elaborada pela Autora

Resumo da Granulometria e Sedimentação – DNER (%)	
Pedregulho	2,86
Areia Grossa	38,06
Areia Fina	31,06
Silte	21,101
Argila	6,923

4.3.3. LIMITE DE LIQUIDEZ E LIMITE DE PLASTICIDADE

A determinação do Limite de Liquidez (LL) foi realizada a partir dos registros dos golpes necessários para unir as ranhuras no solo moldado. A Tabela 12 apresenta os dados obtidos do ensaio.

Tabela 12. Dados Obtidos no ensaio de Limite de Liquidez. Fonte: Elaborado pela Autora.

LIMITE DE LIQUIDEZ (LL)						
Cápsula	N.º	O51	O52	O53	O54	O55
Golpes	g	10	19	30	39	49
Peso Bruto Úmido	g	18,14	20,62	24,18	20,51	21,68
Peso Bruto Seco	g	15,88	17,94	20,85	17,97	19,07
Peso da Cápsula	g	7,41	7,51	6,95	7,15	7,31
Peso da Água	g	2,26	2,68	3,33	2,54	2,61
Peso do Solo Seco	g	8,47	10,43	13,90	10,82	11,76
Umidade	%	26,68	25,70	23,96	23,48	22,19

A partir destes dados foi elaborado o gráfico, apresentado na Figura 20, relacionando os números de golpes e os teores de umidades. Os pontos plotados no gráfico dão origem a uma

reta e o ponto da abcissa equivalente a 25 golpes determina no eixo das ordenadas o teor de umidade que é o limite de liquidez. Assim, tem-se para o solo em estudo o LL igual a 24,5%.

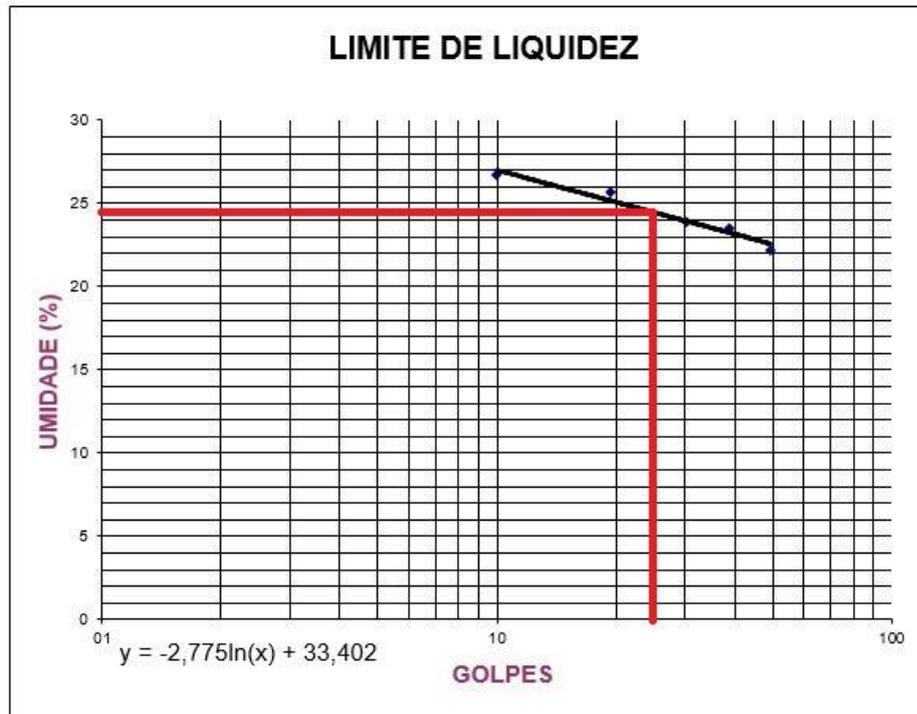


Figura 20. Determinação do Limite de Liquidez. Fonte: Elaborada pela Autora

Para a determinação do Limite de Plasticidade (LP), foram moldados cilindros cujas dimensões são predeterminadas pela NBR 7180, e o processo repetido até que ocorresse a fragmentação da amostra, e, portanto, realizada a pesagem, cujos dados estão determinados na Tabela 13.

Tabela 13. Determinação do Limite de Plasticidade. Fonte: Elaborada pela Autora.

LIMITE DE PLASTICIDADE (LP)						
Cápsula	N.º	O56	O57	O58	O59	O60
Peso Bruto Úmido	g	9,14	8,76	9,42	8,63	8,56
Peso Bruto Seco	g	8,96	8,49	9,22	8,36	8,33
Peso da Cápsula	g	7,57	6,88	7,86	6,87	6,87
Peso da Água	g	0,18	0,27	0,20	0,27	0,23
Peso do Solo Seco	g	1,39	1,61	1,36	1,49	1,46
Umidade	%	12,95	16,77	14,71	18,12	15,75

Assim, o cálculo do Limite de Plasticidade é realizado utilizando no mínimo 3 pontos cujas umidades estão entre o limite de 5% para mais e para menos do valor da média das umidades encontradas. Assim, para o solo em estudo obteve-se um LP de 15,7%.

Definidos os LL e LP, realiza-se o cálculo do Índice de Plasticidade (IP), que representa fisicamente a quantidade de água que seria necessário acrescentar ao solo para que ele passasse

do estado plástico para o estado líquido. Assim, o IP da amostra de solo em estudo é igual a 8,7%.

4.3.4. COEFICIENTES DE UNIFORMIDADE E CURVATURA

O coeficiente de uniformidade (Cu) é um parâmetro que pode ser encontrado a partir da curva de distribuição granulométrica, sendo definido pela razão D_{60}/D_{10} . Onde D_{60} é o diâmetro para o qual 60% das partículas do solo possuem diâmetros inferiores a ele e D_{10} analogamente. Indica uniformidade. Quanto maior o coeficiente, mais uniforme é o solo.

O coeficiente de curvatura (Cc) é o parâmetro que indica as discontinuidades ou concentrações dos tamanhos dos grãos. É obtido através da relação $(D_{30})^2/(D_{60} \times D_{10})$. Solos bem graduados apresentam $1 < Cc < 3$.

A Tabela 14 apresenta os valores dos parâmetros para o cálculo dos coeficientes e seus respectivos valores.

Tabela 14. Determinação dos coeficientes de uniformidade e curvatura. Fonte: Elaborada pela Autora

Cálculo dos coeficientes Cu e Cc				
D ₁₀	D ₃₀	D ₆₀	Cu	Cc
0,02	0,14	0,43	3,07	2,28

4.3.5. CLASSIFICAÇÃO DA AMOSTRA

A identificação da amostra foi realizada a partir da entrada dos parâmetros obtidos, no Sistema de Classificação Unificada dos solos-SUCS/ASTM (Anexo I). A Tabela 15 apresenta o resumo da classificação.

Tabela 15. Resumo dos Parâmetros utilizados na Classificação do Solo. Fonte: Elaborada pela Autora.

Parâmetros Utilizados na Classificação do Solo						
(%) que passa #200	(%) que passa #4	Cu	Cc	LL (%)	IP (%)	Classificação
28	99,61	3,07	2,28	24,5	8,7	SP

O solo foi caracterizado como areia mal graduada com silte.

4.3.6. AVALIAÇÃO INDIRETA DE ERODIBILIDADE

O conhecimento das propriedades geotécnicas e a classificação do solo permitem o estabelecimento da correlação destes parâmetros com o potencial erosivo (erodibilidade). Serão realizadas as correlações segundo os autores citados na Seção 2.2.6.

a) Meireles (1967)

Segundo a proposta sugerida por MEIRELES (1967), o potencial erosivo do solo é qualificado através da relação das porcentagens de solo passantes na peneira 200 com o limite de liquidez e o índice de plasticidade. Assim, o solo da ravina foi classificado como passível de forte erosão.

b) Santos (2001)

Na classificação de SANTOS (2001) são utilizados como parâmetros de correlação com a erodibilidade o índice de plasticidade e o coeficiente de uniformidade. O solo em estudo foi considerado erodível através das faixas do Índice de Plasticidade e pelas delimitações do Coeficiente de Uniformidade foi tido como solo de baixa resistência à erosão.

c) Mannigel (2002)

A classificação proposta por MANNIGEL (2002) é realizada a partir do enquadramento do potencial erosivo do solo calculado a partir das porcentagens de argila, areia e silte obtidas na análise granulométrica. O valor do fator erodibilidade calculado foi de 0,13 t.ha.h/ha.MJ.mm que correspondeu a faixa que caracteriza uma erodibilidade extremamente alta.

d) Araújo (2013)

A correlação realizada por ARAÚJO (2013) é feita através do triângulo textural, onde foi inserido as frações de argila, silte e areia presentes na amostra, obtendo a classificação quanto ao potencial à erosão. A Figura 21, ilustra que o solo da Ravina foi classificado como muito erodível.

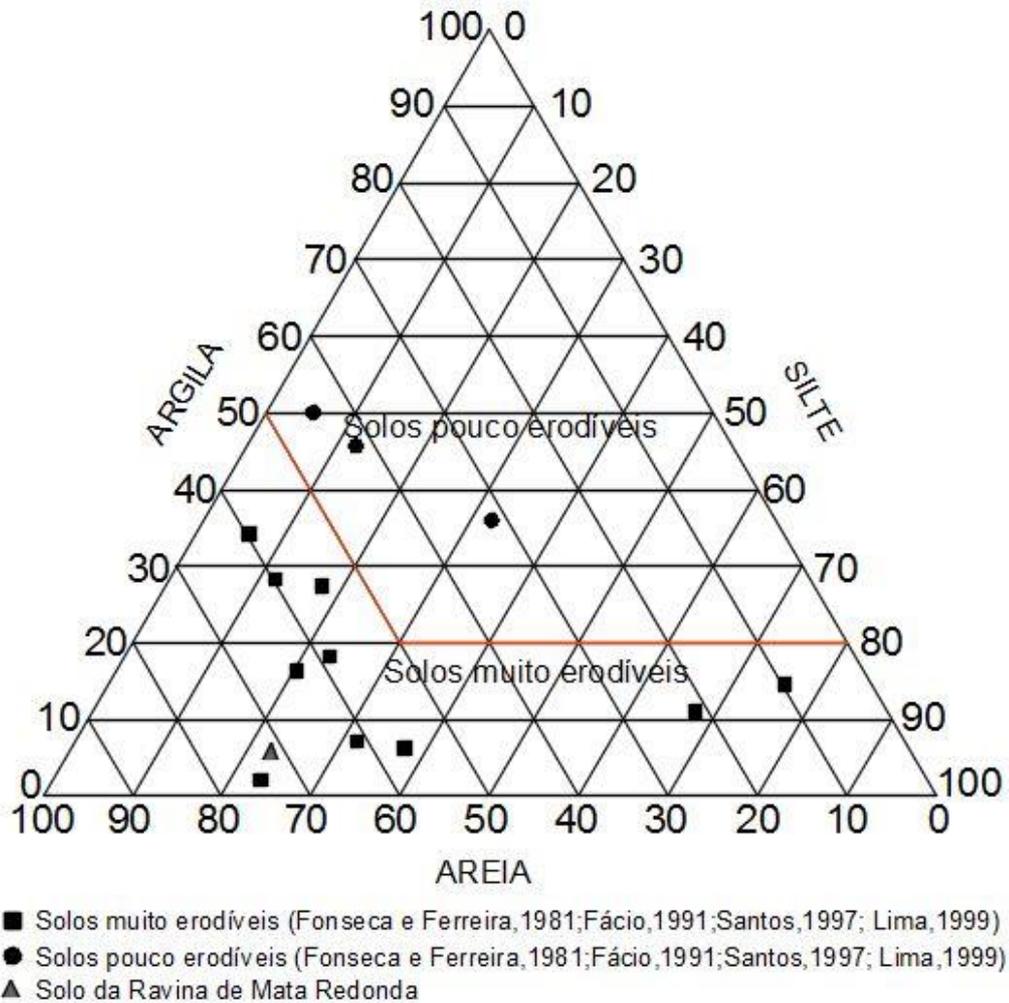


Figura 21. Classificação do Solo da Ravina através do triângulo textural. Fonte: ARAÚJO, 2013 (modificado pela Autora)

A Tabela 16 sintetiza os resultados obtidos das avaliações indiretas da erodibilidade propostas pelos 4 autores.

Tabela 16. Resumo da classificação de erodibilidade. Fonte: Elaborada pela Autora.

RESUMO DA AVALIAÇÃO INDIRETA DE ERODIBILIDADE				
AUTOR	MEIRELES (1967)	SANTOS (2001)	MANNIGEL (2002)	ARAÚJO (2013)
PARÂMETRO	%passa#200 LL e IP	LL E Cu	% areia, silte e argila	Triângulo Textural
CLASSIFICAÇÃO	Muito Erodível	Erodível/ Baixa Resist. a erosão	Muito Erodível	Muito Erodível

4.4. AVALIAÇÃO DIRETA DE ERODIBILIDADE

A avaliação direta da erodibilidade foi realizada através do ensaio de desagregação, com base na proposta de QUIRINO (2014) *et all*, para verificar o potencial erosivo do solo quando submetido a imersão em água destilada. A Figura 22 ilustra a situação da amostra indeformada no processo de imersão e após 24h da realização do ensaio.

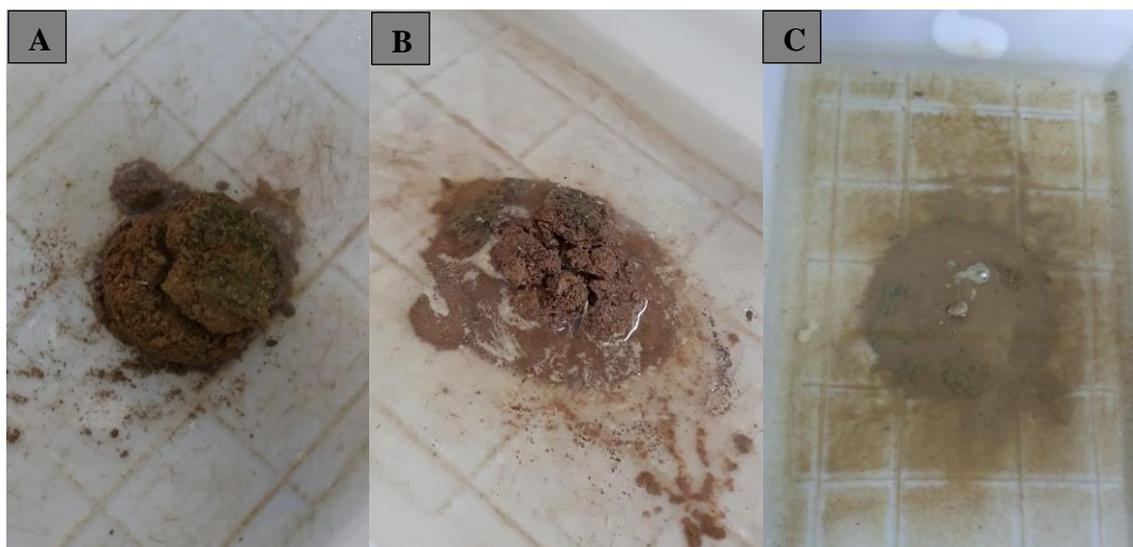


Figura 22. Amostra de solo submetida ao ensaio de desagregação. (A) Nível da água à 1/3 da altura da amostra; (B) Nível da água à 2/3 da altura da amostra; (C) Submersão Total observada após 24 h Fonte: Registrada pela Autora.

A amostra submetida a imersão parcial à um 1/3 de sua altura apresentou uma fratura na face superior e um deslocamento gradativo da porção destacada (Figura 22-A). Quando o nível da água atingiu 2/3 foi observado uma saturação do solo configurando uma perda da forma original da amostra (Figura 22-B). Ao final do ensaio, passadas 24 horas, o comportamento da amostra foi classificado como abatimento (Figura 22-C), pois houve uma desintegração formando uma pilha de material desestruturado, sendo um forte indício da perda de resistência do solo e, conseqüentemente, uma alta susceptibilidade ao agente erosivo.

5. SUSCEPTIBILIDADE A EROSÃO

Mediante a caracterização da área em estudo e a observação de todos os fatores condicionantes do processo erosivo, puderam ser realizados diagnósticos de susceptibilidade a erosão a partir de cada parâmetro avaliado.

- **Clima:** Foi observada a presença de altos índices pluviométricos na área em estudo. As análises dos dados permitiram concluir que os meses mais chuvosos (março a julho) são os de maior índice de erosividade e o fator K do Município de Alhandra calculado em 8659 MJ.mm/ha.h configura uma expressiva contribuição das chuvas para o processo erosivo.
- **Relevo:** Foi constatado através da configuração topográfica da região que há uma grande rampa que antecede a feição erosiva com 557,75 m de comprimento e inclinação de 2,6% propiciando um acréscimo na velocidade e a concentração dos fluxos do escoamento. Assim como a rampa em que está incluída a feição erosiva, cujo o comprimento é de 357 metros e a inclinação de 12,9%. Além de dispor de uma grande área configurada como vertente do tipo I, favorecendo a erosão.
- **Uso do Solo:** A ocupação associada a ausência ou ineficiência de alguns serviços básicos de infraestrutura permitem a condução descontrolada dos fluxos de escoamento de águas pluviais e servidas, além dos lançamentos dos despejos sólidos indevidamente jogados nas encostas, contribuem para um agravamento do processo erosivo.
- **Cobertura do Solo:** Foram verificadas duas áreas, uma em que a presença de vegetação de pequeno e médio porte é densa e outra expressiva em que há ausência da vegetação. Foi realizada uma relação direta entre este fator e a inclinação da encosta e percebeu a grande susceptibilidade das áreas não vegetadas e iminentemente verticais.
- **Solo:** Na análise das propriedades inerentes ao solo verificadas segundo 4 autores, todas apontaram para a baixa resistência do solo à erosão, confirmando a hipótese inicial de que o solo por si só já apresenta acentuado potencial erosivo.

- **Avaliação Direta de Erodibilidade:** A avaliação apresentou um forte indício da perda de resistência do solo, configurando uma alta susceptibilidade ao agente erosivo. Assim, corroborou com as análises em separado dos fatores condicionantes, que manifestam resultados representativos da susceptibilidade a erosão da área em estudo.

Num panorama geral, as propriedades intrínsecas ao solo propiciam um alto potencial erosivo, que atrelados a elevados índices pluviométricos e ao potencial erosivo da chuva, a uma extensa área com déficit de cobertura vegetal e topografia favorável a concentração do fluxo de escoamento proporcionam o surgimento e evolução do processo erosivo linear.

6. ESTIMATIVA DE PERDAS DE SOLO POR EROSÃO

O estudo realizado da Ravina confirmou a predisposição natural do solo à erosão, que vem sendo potencializada pela ação de agentes erosivos como a chuva, pela ação antrópica e pelos demais fatores condicionantes estudados, configurando uma perda expressiva dos solos e uma invasão cada vez maior das áreas ocupadas. A Figura 23 apresenta a evolução do processo erosivo ao longo dos anos.

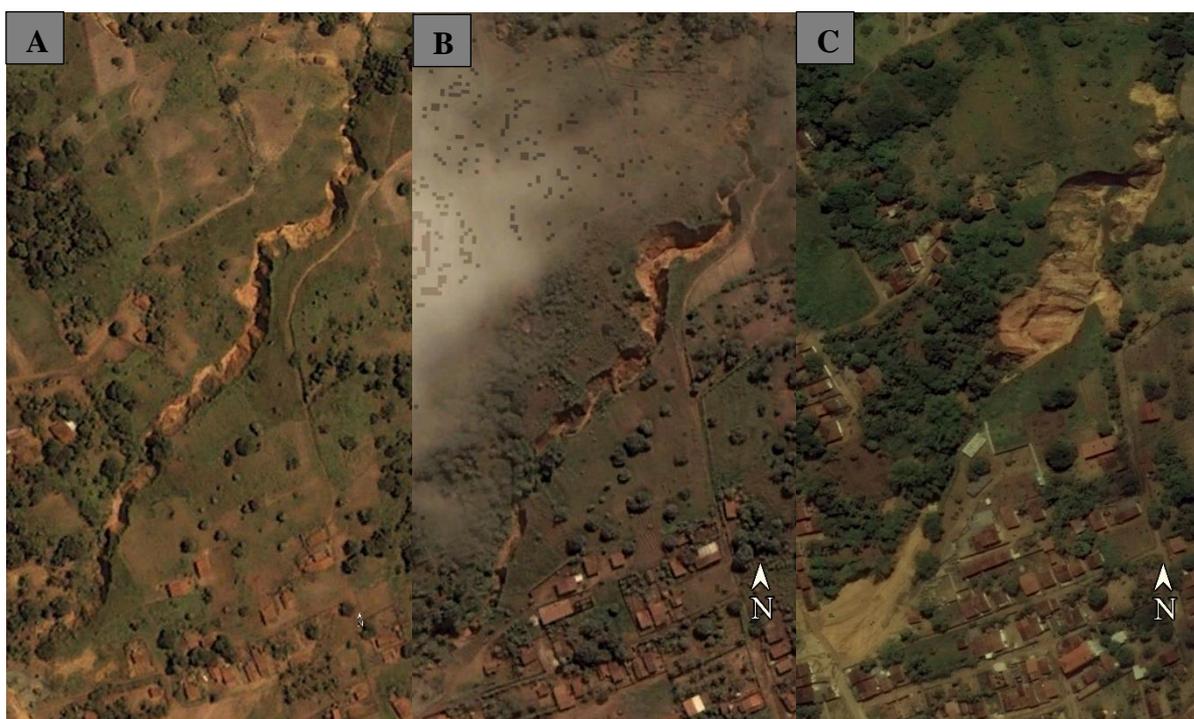


Figura 23. Evolução da Ravina ao longo dos anos. (A) 2005; (B) 2008; (C) 2016. Fonte: GOOGLE EARTH, 2018

As avaliações quantitativas das perdas de solo permitem estabelecer projeções futuras do processo erosivo da Ravina, bem como, possibilitam a mensuração dos danos quando modificados os parâmetros condicionantes, de modo a estabelecer intervenções que contribuiriam positivamente para o processo erosivo.

A estimativa de perdas do solo será calculada através da Equação Universal de Perdas dos Solos (E.U.P.S) proposta por WISCHMEIER & SMITH (1978), que consiste no modelo mais utilizado para exprimir a ação dos principais fatores que exercem influência no processo desagregação do solo por erosão hídrica.

$$A = K \times R \times LS \times CP \quad (\text{Equação 5})$$

Onde,

A é a perda do solo (t/ha.ano)

R é o fator erosividade das chuvas (MJ.mm/ha.ano)

K é o fator erodibilidade do solo (t.h/MJ. Mm)

LS é o fator topográfico (adimensional)

CP é o fator uso e manejo do solo (adimensional)

Os fatores erosividade (R) e erodibilidade (K) foram calculados nas seções 4.1.1 e 4.4.5, respectivamente, completando as caracterizações da área em estudo. Para o fator LS, foi feita uma investigação das curvas de nível realizadas a partir da fotogrametria com auxílio de drone (ANEXO II) e para a simplificação do processo foram analisados os piores cenários e levantados os dados na Tabela 16, afim de obter um valor médio do fator. O parâmetro LS calculado foi de 17,20.

Tabela 17. Levantamento de fatores topográficos dos piores cenários da Ravina. Fonte: Elaborada pela Autora.

CÁLCULO DO LS				
DIF. DE COTA (m)	DIST HORIZONTAL (m)	RAMPA (m)	DECLIVIDADE (%)	LS
24,00	28,44	37,22	84,38	18,01
22,00	27,62	35,31	79,66	16,28
23,00	26,70	35,24	86,14	17,83
37,00	25,53	44,95	144,92	38,40
19,00	23,67	30,35	80,28	14,93
21,00	24,09	31,96	87,17	17,00
19,00	20,69	28,09	91,85	16,67
21,00	25,87	33,32	81,18	16,05
17,00	18,31	24,98	92,87	15,69
11,00	11,39	15,84	96,57	12,33
10,00	11,45	15,20	87,34	10,67
11,00	11,18	15,68	98,39	12,53

O fator CP foi identificado a partir da Tabela 3, e pelas caracterizações de uso e cobertura do solo identificadas na visita de campo, adotou-se o Grupo 3, Categoria 3.a, cujo fator CP é de 0,25. Na Tabela 18 apresenta-se a síntese dos parâmetros utilizados na equação (E.U.P.S).

Tabela 18. Síntese dos Parâmetros para o cálculo da estimativa da perda de solo. Fonte: Elabora pela Autora.

ESTIMATIVA DE PERDAS DE SOLO				
K	R	LS	CP	A
(t.h/MJ. Mm)	(MJ.mm/ha.h.ano)			(t/ha.ano)
0,13	8659,50	17,20	0,25	4840,53

Assim, estima-se uma perda de solo de 4840, 53 t/ha.ano nas feições erosivas. Como à Ravina compreende uma área de 1,02 hectares, tem-se um total de 4942,20 toneladas de solo desprendidos por ano.

Percebe-se que os altos valores da perda de solo por erosão, são expressivamente influenciáveis pelo fator erosividade, no entanto, este parâmetro é inerente à área em estudo. Assim, as reduções podem ser realizadas através dos parâmetros modificáveis, o fator topográfico e o fator uso e manejo do solo, a partir de intervenções como retaludamento, escalonamento e revegetação, que permitem a alteração das declividades, comprimentos de rampas e cobertura vegetal respectivamente.

7. PROPOSTAS DE RECUPERAÇÃO

As propostas de obras de contenção ou reparações de processos erosivos em áreas ocupadas, na prática, esbarram em diversas dificuldades para serem projetadas e implantadas. Diante deste fato, necessita-se de intervenções que integrem obras de drenagem, proteção superficial, e a preservação da tipicidade da área ocupada, através de soluções adotadas que minimizem a remoção de famílias. Tendo em vista o contexto desta pesquisa, as propostas de intervenções serão definidas apenas conceitualmente.

7.1. PROPOSTA A

A primeira solução trata-se de utilizar das feições erosivas existentes para abrir uma via de acesso à região rural do distrito, similar com a proposta ilustrada na Figura 24.



Figura 24. Utilização da Feição erosiva como arruamento. Fonte: FRANÇA (2017)

Seriam previstas as regularizações das feições, através de retaludamento de corte, objetivando a alteração da forma original do talude pela execução do suavizamento das declividades. Baseado na área de ocupação dos moradores, necessita-se da aplicação de bermas intermediárias, para favorecer a segurança e o espaço pretendido, mediante uma alta verticalização. Nas bermas seriam instalados dispositivos de drenagem do tipo vala, que permitem a captação dos escoamentos ao longo das faixas de taludes. A Figura 25 apresenta a seção transversal da via e dos taludes.

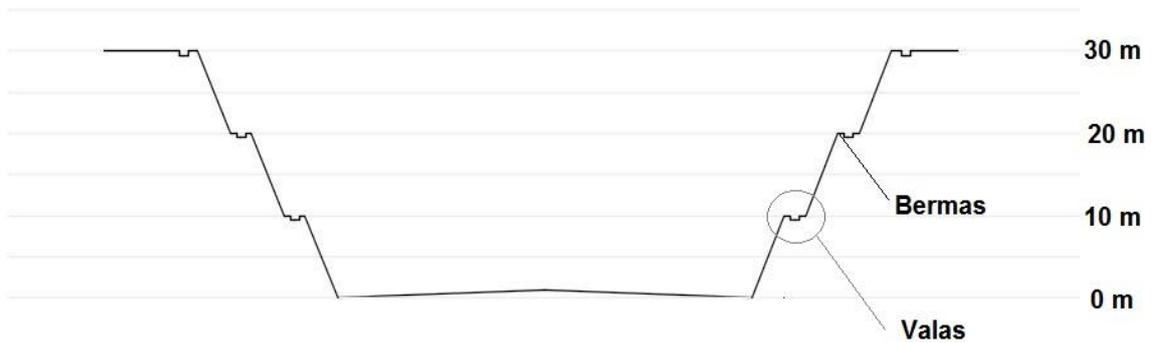


Figura 25. Seção Transversal da feição erosiva após o retaludamento. Fonte: Elaborada pela Autora.

Como os taludes são bastante verticalizados, o restabelecimento da cobertura vegetal de forma natural é dificultado, e a aplicação de hidrossemeadura é inviável sem um sistema de contenção. Assim, opta-se pela implantação de geogrelhas tridimensionais para o recobrimento e controle de erosão. Sua estrutura tridimensional não só garante a boa capacidade de ancoragem e interação com o solo, mas também garante que o material de cobertura não deslize.

A geogrelha sugerida (Figura 26) é uma manta de reforço flexível tridimensional, feita a partir de poliéster de alta resistência e baixa fluência, que previne integralmente a erosão do solo e a cada dia mais aumenta sua atualização na engenharia. A estabilidade da geogrelha é atingida ancorando-a a vala executada na crista de cada talude, não sendo necessárias a instalação de grampos ou tirantes em níveis intermediários na face do corte. Ela é projetada para desempenhar a função de reforço da capa vegetal instalada através da aplicação de hidrossemeadura.



Figura 26. Geogrelha Tridimensional. Fonte: Huesker.

A hidrossemeadura consiste na aplicação de um composto de fertilizantes, sementes, adesivos e matéria orgânica, cujas quantidades e especificidades são determinadas pelas necessidades de correção do solo e de nutrição da vegetação a ser introduzida. Este composto

é aplicado hidraulicamente sobre o terreno formando uma manta espessa capaz de proteger o solo e imediatamente conter a erosão, propiciando a revegetação e garantindo a proteção do talude até que a vegetação se estabeleça.



Figura 27. Aplicação de hidrossemeadura em Talude coberto por Geogrelha. Fonte: GEOSYNTHETICA, 2017.

7.2. PROPOSTA B

A segunda proposta é a utilização de Paliçadas como contenção de sedimentos na Ravina. Trata-se de uma solução de recuperação natural a longo prazo, de baixo custo de implantação, além de não necessitar de mão de obra especializada, podendo ser aplicada pelos próprios moradores da comunidade.

O uso dessa solução na área em estudo pode ser justificado através do alto índice de perda de solo causada pela ação erosiva da chuva, apresentada na Seção 6. Assim, seria utilizado dessa potencial perda de solo na atuação da própria recuperação do processo erosivo.

A paliçada (Figura 28) é uma técnica da bioengenharia utilizada em processos erosivos que consiste na sobreposição de vários troncos de madeira, estacas vivas ou bambu previamente cravadas no terreno com a finalidade de reter os sedimentos e promover uma geometria mais estável para os taludes adjacentes ao processo erosivo.



Figura 28. Técnica de Paliçadas. Fonte: Autor não identificado.

Na área em estudo, seriam executadas as paliçadas transversalmente as feições erosivas, em várias faixas ao longo da Ravina. Os escoamentos superficiais provocados pelas chuvas realizariam a desagregação das partículas do solo, que favorecidas pela topografia do terreno deslocariam-se de encontro aos paramentos, e ao se acumularem, reduziriam a velocidade e o fluxo do precipitado, além de promoverem aterros naturais. A Figura 29 apresenta esquematicamente a execução da paliçada na Ravina de Mata Redonda.

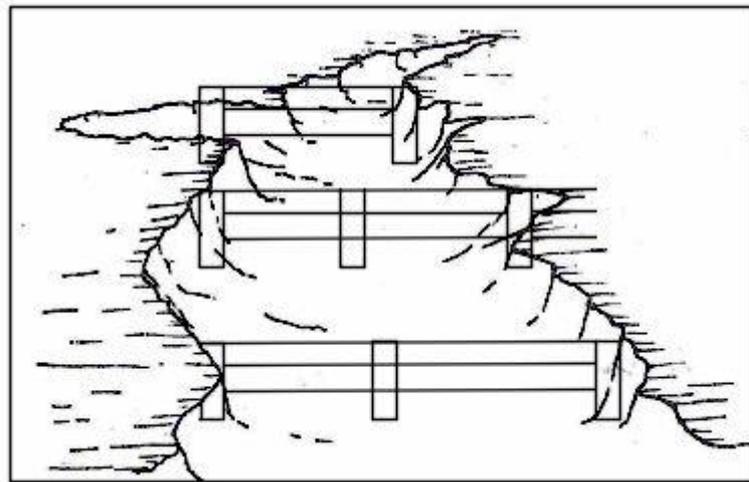


Figura 29. Esquema da técnica paliçada para a Ravina de Mata Redonda. Fonte: Elabora Pela Autora.

Esse processo combinado com o enraizamento de espécies vegetais e a matéria orgânica na superfície desempenham um importante papel durante o crescimento de outras novas plantas, e da estabilização dos aterros de sedimentos, contribuindo de maneira positiva para a recuperação da área que apresenta elevado grau de erosão. Ao longo do tempo as paliçadas iriam sendo encobertas e conseqüentemente seriam realizadas novas estruturas até que a área esteja recuperada.

De maneira similar, essa solução pode ser aprimorada pelo uso de geotêxteis não tecidos associados a hastes metálicas ou de madeira como apresentado na Figura 30.

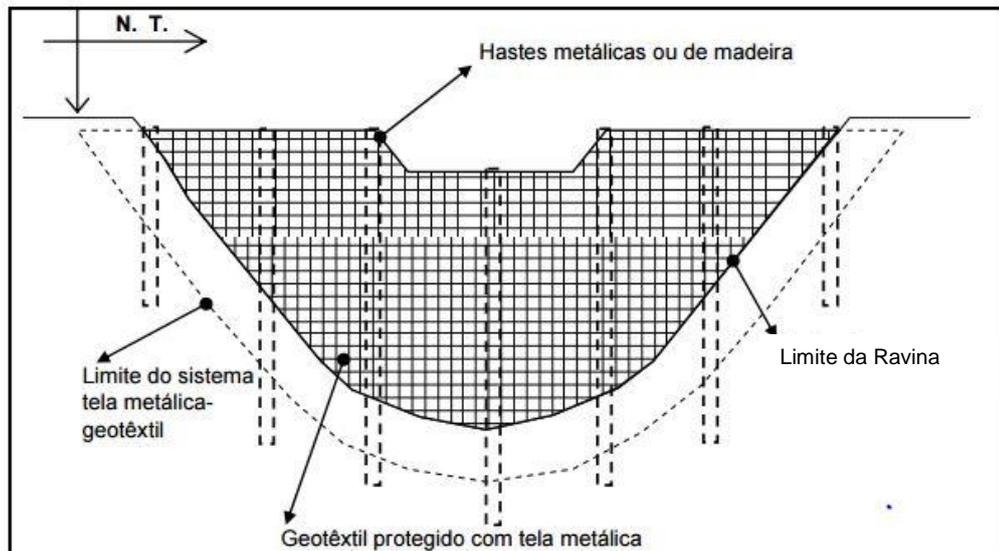


Figura 30. Vista frontal da Ravina com o sistema de controle de erosão por barramento. Fonte: FARIAS,2005

7.3. INTERVENÇÕES INTEGRADAS

Qualquer que seja a solução de controle da erosão adotada, faz-se necessário uma harmonia como o restante da região, evitando a perda da eficácia das medidas adotadas ao longo do tempo pela presença de outros processos deflagradores. Durante o estudo foram notadas algumas intervenções indiretas que reduziram os efeitos erosivos sofridos pela Ravina:

- Criar elementos para o escoamento das águas pluviais e servidas, de modo a evitar sua infiltração nas encostas;
- Realizar limpeza e recuperação de sistemas de microdrenagem, esgotos e acessos existentes.
- Realizar pontos de coleta do Lixo a serem recolhidos pelos órgãos públicos, próximos às áreas onde este serviço foi verificado como inexistente;

Outro aspecto importante, trata-se da abordagem social do problema, sendo necessária a realização de um trabalho de educação ambiental junto à comunidade sensibilizando os moradores para adoção de práticas corretas de destinação do lixo, favorecendo os impactos positivos à saúde e evitando o entupimento de sistemas de drenagem, para que com o tempo os benefícios instalados pela adoção das intervenções não sejam reduzidos pela intensificação de ações antrópicas.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da hipótese inicial traçada para este trabalho foi possível, a partir dos diagnósticos do meio físico (clima e relevo), uso do solo e cobertura vegetal, a constatação de que todos os fatores condicionantes conduzem à conclusão de que a área em estudo apresenta grande potencial erosivo. Além de tudo, a verificação direta da erodibilidade através do ensaio de desagregação permitiu a confirmação de que, as avaliações em separado dos parâmetros manifestam resultados representativos de susceptibilidade a erosão.

O estudo do fator erosividade permitiu a verificação de que os meses de março a julho tendem a ser o período em que ação da chuva é mais danosa para a região, a partir da constatação do crescimento do potencial do agente erosivo proporcional ao crescimento das lâminas precipitadas.

Os ensaios geotécnicos permitiram a avaliação do parâmetro erodibilidade, que é a avaliação do potencial erosivo inerente ao solo. Observou-se que em todas as avaliações adotadas o solo se enquadrou nos piores cenários, evidenciando alta fragilidade.

A estimativa da perda de solos por erosão apontou uma perda anual de 4840,53 t/há.ano, onde a contribuição do fator erosividade é bastante expressiva, no entanto, ele não é passível de alteração, fazendo-se necessária a diminuição dos fatores topográfico e de uso e manejo do solo no controle das perdas de solo por erosão.

Na elaboração de proposta de intervenção buscou a integração de obras de drenagem no distrito e na própria ravina, proteção superficial, e a preservação da tipicidade da área ocupada, através de soluções adotadas que minimizassem a remoção de famílias.

Observou-se a necessidade de um trabalho voltado à comunidade através de ações de mobilização. É de grande importância a apreensão pela população de informações sobre fatores antrópicos prejudiciais à estabilidade das encostas, métodos de remediação e noções de valores socioambientais.

9. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Sugere-se para trabalhos futuros:

- Realizar uma análise da contribuição do agente erosivo na área da Ravina, através do cálculo da eficiência do sistema de drenagem da cidade;
- Fazer a análise de susceptibilidade a erosão através de uma maior variedade de ensaios diretos;
- Verificar outros materiais para serem utilizados como propostas alternativas de recuperação.

REFERÊNCIAS

ABNT-Associação Brasileira de Normas e Técnicas. **Determinação do Limite de Liquidez**. NBR 6459, outubro. 1984a.

_____. **Determinação do Limite de Plasticidade**. NBR 7180, outubro. 1984b.

_____. **Solo-análise granulométrica**. NBR 7180, dezembro. 1984d.

AESA-PB. **Meteorologia-Chuvas**. Disponível em: <<http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/meteorologia-chuvas/>>. Acesso em 21 de Out de 2018.

ARAÚJO, R. C.; CAMPOS, T. M. P.; **Usos dos Ensaio de penetração de cone, desagregação, sucção e resistência à tração para avaliar a erodibilidade**. **GEOTECNIA**, n. 128, p. 67-85, 2013.

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

DCA-UFCG. **Clima, Chuvas-PB**. Disponível em: <<http://www.dca.ufcg.edu.br/clima/chuvapb.htm>>. Acesso em 21/10/2028

CHUQUIPIONDO, I. G. V; **Avaliação da Estimativa do potencial de erodibilidade de solos nas margens de cursos de água: Estudo de caso trecho de vazão reduzida Capim Branco I Araguari Minas Gerais**. Dissertação (Pós-Graduação), Universidade de Minas Gerais, Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, 2007.

FARIAS, R. J. C. (2005). **Utilização de Geossintéticos em Sistemas de Controle de Erosões**. Tese de Doutorado, Publicação G.TD-026/05, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 188 p.

FOSTER, G. R.; MC COOL, D. K.; RENARD, K. G.; MOLDENHAUER, W. C. **Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units**. *Journal Soil Water Conservation*, v. 36, 1981, p. 355-359.

GOMES, F. S; **Estudo da erodibilidade e parâmetros geotécnicos de um solo em processo erosivo**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências. Mestrado em Engenharia Civil, 2001.

GUERRA, A. J. T; BOTELHO, R. G.M. Características e propriedades dos solos relevantes para os estudos pedológicos e análise dos processos erosivos. **Anuário do Instituto de Geociências**- V. 19- 1996

GEOSYNTHETICA; **Reforço de Taludes no controle da erosão**, 2017. Disponível em:<<https://www.geosynthetica.net.br/reforco-de-taludes-e-controle-de-erosao-com-fortrac-3d/>>. Acesso em 29 de Out de 2018

HUESKER. **Geogrelha Fortract 3d**. Disponível em: <<https://www.huesker.com.br/produtos/geossinteticos/geogrelhas/fortrac-3d.html>>. Acesso em 29/10/2018.

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

LIMA, M.C; **Degradação Físico-Química e Mineralógica de maciço junto às voçorocas**. Tese de Doutorado. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Distrito Federal, 2003.

LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W. C. **Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com as perdas de solo em Campinas (SP)**. *Bragantia*, Campinas, v. 51, n. 2, 1992, p.189-196

MANNINGEL et al. Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum**. Maringá, v. 24, n 5, p. 1335-1340, 04, 2002.

MEIRELES, J. M.F; **Erosão de taludes de estradas**. Segunda Jornada Luso-Brasileira de Engenharia Civil. Rio de Janeiro e São Paulo, 1967.

MELO, J. F. G; **Utilização de geossintéticos no controle da erosão**. 2016. 61 f. Trabalho de Conclusão do curso de Engenharia Civil. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2016.

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

OLIVEIRA, F. F.; **Investigação Multidisciplinar de Processos Erosivos Lineares Urbanos: Estudo de caso de uma voçoroca no bairro do Bequimão – São Luís- MA**. 2018. 63 f. Trabalho de Conclusão do curso de Engenharia Civil. Universidade Federal do Maranhão. São Luiz, 2018.

PORTAL DO LITORAL; **Cratera aumenta e ameaça “engolir” rua inteira no distrito de Mata Redonda, em Alhandra, 2016**. Disponível em:<<http://www.portaldolitoralpb.com.br/cratera-aumenta-e-ameaca-engolir-rua-inteira-no-distrito-de-mata-redonda-em-alhandra/>>. Acesso em 03/10/2018.

QUIRINO, G. H. A; MORAIS, L. S; SILVA, P. B; MELO, M. T. S; **Erodibilidade de solos: Comparação entre os Ensaios Inderbitzen Modificado e Slaking Test**. In: COBRAMSEG, 09, 2014, Goiânia. **Anais Eletrônicos**. Goiás, UFG, 2014. Disponível em:<https://www.abms.com.br/links/bibliotecavirtual/cobramseg/2014/599786_80_Erodibilidade_de_Solos_Comparacao_entre_os_Ensaios_Inderbitzen_Modificado_e_Slaking_Test.pdf>. Acesso em 10 de Out 2018.

SALOMÃO, F. X. de T. **Controle e prevenção dos processos erosivos**. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. da; BOTELHO, R. G. M. Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010. P. 229-268.

SANTOS, C. N. (2008). **El Niño, La Niña e a erosividade das chuvas no Estado do Rio Grande do Sul**. Universidade Federal de Pelotas, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Programa de Pós-Graduação em Agronomia.

STEIN, D. P.; DONZELI, A. F.; GIMENEZ, A. F.; PONÇANO, W. L.; LOMBARDI NETO, F. **Potencial de erosão laminar, natural e antrópico na bacia do Peixe Paranapanema.** In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 4., São Paulo, 1987. [Anais] São Paulo: ABGE/DAEE, 1987, p. 105-136

TAVARES, A. L.; MEDEIROS, R. M.; SILVA, V. M. A.; PATRÍCIO, M. C.; MELO, A. S.; **Estimativa do índice da erosividade da chuva no período de 1978 – 2008 Belém – Pa, visando um melhor planejamento urbano de solo.** In: IV SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE CLIMATOLOGIA, 10, 2011, João Pessoa. **Anais eletrônicos.** Campina Grande, UFCG, 2011. Disponível em: <<http://www.sbmet.org.br/sic2011/arq/15064293787751506429378.pdf>> . Acesso em 20 de Out. 2018.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning.** Washington: USDA, 1978. 58 p. (Agriculture Handbook, 537)

ANEXO I

SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO UNIFICADA (USC / ASTM)							
Tipo de Material	Granulometria			Plasticidade		Classificação	
	P ₂₀₀ (%)	P ₄ (%)	C _c , C _u	IP	LL		
Grosso	≤ 5	$(100 - P_4) > (P_4 - P_{200}) : G$ $(100 - P_4) < (P_4 - P_{200}) : S$	$1 \leq C_c \leq 3$ e $C_u > 4$ (para G) $C_u > 6$ (para S) } W Fora destas faixas: P			GW GP SW SP	
	$5 < P_{200} \leq 12$			$7 < IP > 0,73(LL - 20) : C$ $IP \leq 0,73 (LL - 20)$ ou $IP \leq 7$		$7 < IP > 0,73(LL - 20) : C$ $IP \leq 0,73 (LL - 20)$ ou $IP \leq 7$	GW - GC GW - GM GP - GC GP - GM SW - SC SW - SM SP - SC SP - SM
	$12 < P_{200} \leq 50$						
Fino	> 50			$7 < IP > 0,73(LL - 20) : C$ $IP \leq 0,73 (LL - 20)$ ou $IP \leq 4$	$> 50 : H$ $\leq 50 : L$	CH MH ou OH CL ML ou OL CL - ML	
Turfoso	Caracterizado pela cor e odor típicos, partículas fibrosas, fofo, altamente compressível, muito leve e inflamável quando seco, não-plástico. Teste de perda ao fogo (rubro). Limites de consistência antes e depois da secagem. Segundo a NBR 6502, "são solos com grande porcentagem de partículas fibrosas de material carbonoso ao lado de matéria orgânica no estado coloidal".					Pt	

ANEXO II**VISTA TRIDIMENSIONAL DA CURVA DE NÍVEL DA RAVINA DE MATA REDONDA**