

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO  
CENTRO DE EDUCAÇÃO CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA, NATUREZA E DINÂMICA  
DO ESPAÇO - PPGeo

**AUGUSTO ANTONIO CARVALHO CAMPOS**

**CONDICIONANTES DOS PROCESSOS EROSIVOS NA ÁREA URBANA DE  
BURITICUPU-MA: O caso da voçoroca do bairro Santos Dumont**

São Luís - MA

2019

**AUGUSTO ANTONIO CARVALHO CAMPOS**

**CONDICIONANTES DOS PROCESSOS EROSIVOS NA ÁREA URBANA DE  
BURITICUPU-MA: O caso da voçoroca do bairro Santos Dumont**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, Natureza e Dinâmica do Espaço da Universidade Estadual do Maranhão, como requisito para a obtenção do título de mestre em Geografia.

**Orientador:** Prof. Dr. José Fernando Rodrigues Bezerra

São Luís - MA

2019

Campos, Augusto Antonio Carvalho.

Condicionantes dos processos erosivos na área urbana de Buriticupu – MA:  
o caso da voçoroca do bairro Santos Dumont / Augusto Antonio Carvalho  
Campos. – São Luís, 2019.

106 f

Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-Graduação em Geografia, Natureza  
e Dinâmica do Espaço. Universidade Estadual do Maranhão, 2019.

Orientador: Prof. Dr. José Fernando R. Bezerra.

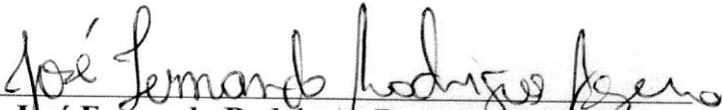
1.Erosão. 2.Voçoroca. 3.Buriticupu. I.Título

CDU: 551.3.053(812.1)

**AUGUSTO ANTONIO CARVALHO CAMPOS**

**Orientador:** Prof. Dr. José Fernando Rodrigues Bezerra

BANCA EXAMINADORA



---

**Prof. Dr. José Fernando Rodrigues Bezerra (Orientador)**  
Universidade Estadual do Maranhão- UEMA



---

**Profa. Dra. Quésia Duarte da Silva**  
Universidade Estadual do Maranhão- UEMA



---

**Prof. Dr. Antonio José Teixeira Guerra**  
Universidade Federal do Rio de Janeiro- UFRJ

*Aos meus pais, Antonio Campos e América Carvalho*

*Ao meu irmão, Victor Campos*

*A minha avó, Iêda Carvalho*

## AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida, saúde, oportunidades, familiares e amigos;

À Universidade Estadual do Maranhão (UEMA) por proporcionar a realização do curso de Mestrado em Geografia;

Ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, Natureza e Dinâmica do Espaço, seus professores colaboradores e funcionários (especialmente à secretária Nana);

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudos durante metade do mestrado;

Ao meu orientador Prof. Dr. José Fernando Rodrigues Bezerra pela contínua ajuda e constante apoio ao longo dessa caminhada;

Ao meu mestre e amigo Prof. Dr. Marcelino Silva Farias Filho, pela ajuda constante da graduação até este momento;

Ao meu mestre e amigo Prof. Dr. Flávio Ataíde, por ter me feito um eterno admirador da Geografia;

Aos colegas de turma de mestrado, pelos bons momentos e proveitosas discussões ao longo destes meses;

Aos colegas de trabalho da escola Upaon-Açu e Antônio Vieira;

Aos meu amigo Jefferson Viana pela ajuda nos trabalhos de campos, elaboração de mapas e troca de conhecimentos ao longo dessa jornada;

Ao Elison André Leal pela ajuda nos trabalhos de campo;

Ao Adriano, pela ajuda na elaboração de mapas;

Ao Ricardo, ao Ivan e à Gilberlene, pela ajuda nas análises de solo;

Ao Thiago, pela ajuda na elaboração dos mapas;

Ao Marco Aurélio, pela colaboração com fotos e informações da área de estudo;

À minha namorada, Jaine Coutinho, pela compreensão, incentivo, ajuda, contribuições técnicas e amizade;

Aos moradores do bairro Santos Dumont, pelas contribuições com suas opiniões e conhecimentos;

À minha família pelo apoio, incentivo e força;

Aos meus amigos;

A todos que aqui não foram citados, mas que contribuíram para a realização deste trabalho e a conquista deste sonho.

*“[...] Foi o começo da vida de geógrafo: ler e interpretar a paisagem, ter a noção da sequência dos cenários de um determinado espaço, passou a ser uma constante em toda a minha vida”.*

Aziz Ab' Saber

## LISTRA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização do município de Buriticupu .....	19
Figura 2 - Localização da voçoroca Santos Dumont .....	21
Figura 3 - Pontos de coleta das amostras de solo .....	34
Figura 4 - Coleta das amostras de solo.....	35
Figura 5 - Teste de infiltração.....	36
Figura 6 - Procedimentos da análise granulométrica .....	39
Figura 7 - Triângulo de classificação textural .....	41
Figura 8 - Procedimentos para densidade do solo, densidade de partículas e porosidade.....	41
Figura 9 - Análises morfológicas dos solos .....	45
Figura 10 - Tipos de estrutura dos solos .....	46
Figura 11 - Mapa de geologia.....	49
Figura 12 - Material de origem em alto grau de intemperização .....	50
Figura 13 - Mapa de solos.....	53
Figura 14 - Resultados dos testes de infiltração (período chuvoso).....	55
Figura 15 - Resultados dos testes de infiltração (período seco).....	56
Figura 16 - Climograma do município de Buriticupu-MA .....	61
Figura 17 - Erosividade na Bacia do Mearim-MA .....	63
Figura 18 - Mapa hipsométrico de Buriticupu .....	65
Figura 19 - Mapa de declividade de Buriticupu .....	67
Figura 20 - Perfil topográfico da vertente .....	68
Figura 21 - Dimensões da voçoroca do bairro Santos Dumont e indicação da área de risco.....	69
Figura 22 - Geometria e declividades em encostas retilínea, convexa e côncava ....	70
Figura 23 - Relevo com alta declividade, extenso comprimento de rampa e forma côncava.....	71
Figura 24 - Expansão da área urbana de Buriticupu .....	73

Figura 25 - Vista aérea da voçoroca com indicação do sentido de escoamento superficial das águas pluviais e servidas para as bordas ativas da feição erosiva ...	76
Figura 26 - Processo de ravinamento em rua localizada próxima à voçoroca .....	77
Figura 27 - Despejo de efluentes no interior da voçoroca .....	79
Figura 28 - Ruas com problemas de pavimentação e direcionamento de esgoto doméstico ao rebordo erosivo .....	79
Figura 29 - Pecuária extensiva .....	81
Figura 30 - Sulcos causados pelo trânsito do gado .....	82
Figura 31 - Local de produção de carvão vegetal (borda da voçoroca) .....	84

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Quadro de tempo de sedimentação da argila.....	40
Quadro 2 - Granulometria dos solos .....	55
Quadro 3 - Síntese dos resultados da granulometria .....	55
Quadro 4 - Resultado das análises em amostras indeformadas .....	54
Quadro 5 - Síntese dos resultados das análises morfológicas.....	57
Quadro 6 - Atributos químicos dos solos.....	58
Quadro 7 - Relação entre perdas de solos e comprimento da vertente .....	69

## LISTA DE SIGLAS

CPRM	- Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais
CTC	- Capacidade de Troca Catiônica
EMBRAPA	- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EUPS	- Equação Universal de Perdas de Solo
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	- Instituto Nacional de Meteorologia
IPT	- Instituto de Pesquisas Tecnológicas
LADA	- Land Degradation Assessment in Dryland
SRTM	- Shuttle Radar Topography Mission
TFSA	- Terra Fina Seca ao Ar
VIB	- Velocidade de Infiltração Básica

## RESUMO

Uma das problemáticas mais significativas na atualidade relacionada aos solos é a erosão. Este fenômeno apesar do seu caráter natural tem sido intensificado consideravelmente por diversas atividades humanas irregulares, sobretudo nos espaços urbanos. No município de Buriticupu, situado na mesorregião Oeste do estado do Maranhão, observa-se principalmente nas últimas décadas, a presença e o agravamento dos processos erosivos. A pesquisa objetivou analisar os condicionantes dos processos erosivos, mais especificamente da voçoroca situada no Bairro Santos Dumont, periferia da cidade. Também teve por objetivo caracterizar os solos degradados por erosão e relacionar os elementos naturais às ações antrópicas enquanto condicionantes do voçorocamento. Como procedimentos metodológicos, adotou-se as etapas de pesquisa bibliográfica, pesquisa de campo, análises laboratoriais e interpretação dos dados. Os condicionantes naturais considerados foram: a geologia, os solos, o clima e o relevo. Já os antrópicos foram: o processo de expansão da área urbana do município, o tipo de infraestrutura (arruamentos, drenagem e residências) e as atividades econômicas causadoras de degradação do meio. A área de estudo apresenta relevo irregular com vertentes com alta declividade; clima marcado elevada pluviosidade, concentrada nos primeiros meses do ano; solos com deficiências nutricionais, com textura arenosa-siltosa e baixa estruturação e geologia sedimentar formada por rochas pouco consolidadas. Tais condições ambientais geram uma elevada suscetibilidade da cobertura pedológica aos processos erosivos. Além disto, há um significativo incremento causado por ocupações urbanas mal planejadas com fortes deficiências de infraestrutura e por atividades econômicas inadequadas e degradantes, como a pecuária extensiva e o extrativismo (mineral e vegetal). Todos estes elementos integrados configuram-se como condicionantes dos processos erosivos por voçorocamento na área de estudo.

**Palavras-chave:** erosão; voçoroca; Buriticupu.

## ABSTRACT

One of the most significant problems currently related to soils is erosion. This phenomenon despite its natural character has been intensified considerably by several irregular human activities, especially in urban spaces. In the municipality of Buriticupu, located in the western mesoregion of the state of Maranhão, the presence and aggravation of erosion processes is observed in the last decades. The research aimed to analyze the conditions of the erosive processes, more specifically of the gully in the Santos Dumont neighborhood, on the outskirts of the city. It also aimed to characterize soils degraded by erosion and to relate the natural elements to the anthropic actions as conditioners of gully. As methodological procedures, the steps of bibliographic research, field research, laboratory analysis and data interpretation were adopted. The natural determinants considered were: geology, soils, climate and relief. The anthropic ones were: the process of expansion of the urban area of the municipality, the type of infrastructure (streets, drainage and residences) and economic activities that cause environmental degradation. The study area has irregular relief with slopes with high slope; climate marked high rainfall, concentrated in the first months of the year; soils with nutritional deficiencies, with sandy-silty texture and low structure and sedimentary geology formed by poorly consolidated rocks. Such environmental conditions generate a high susceptibility of the pedological cover to erosive processes. In addition, there is a significant increase caused by poorly planned urban occupations with severe infrastructure deficiencies and inadequate and degrading economic activities such as extensive livestock and extractivism (mineral and vegetable). All these integrated elements are configured as conditions of the erosion processes by gulling in the study area.

**Keywords:** erosion; gully; Buriticupu.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	15
2. CARACTERIZAÇÃO GERAL E LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	19
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	22
4. METODOLOGIA.....	32
4.1. Revisão de literatura .....	32
4.2. Pesquisa de campo.....	33
4.2.1. Coleta de amostras de solo .....	34
4.2.2. Teste de infiltração.....	35
4.2.3. Entrevistas .....	36
4.3. Análises Laboratoriais.....	37
4.3.1. Atributos físicos.....	37
4.3.2. Atributos químicos .....	43
4.3.3. Atributos morfológicos .....	44
4.4. Elaboração de mapas temáticos .....	47
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	48
5.1. Características ambientais e condicionantes naturais dos processos erosivos por voçorocamento. ....	48
5.1.1. Geologia .....	48
5.1.2. Atributos dos solos e correlações com os processos erosivos .....	51
5.1.3. Clima, erosividade das chuvas e influências nos processos erosivos .....	60
5.1.4. Relevo da área e contribuição à erosão .....	64
5.2. Evolução do espaço urbano de Buriticupu e condicionantes antrópicos dos processos erosivos .....	72
5.2.1. Expansão da área urbana do município de Buriticupu-MA .....	72
5.2.2. Arruamentos, drenagem urbana e contribuição à erosão .....	75
5.2.3. Atividades econômicas degradantes do ambiente .....	80
5.2.4. Percepções dos moradores acerca da voçoroca .....	84
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES .....	88
REFERÊNCIAS .....	90
APÊNDICE .....	106

## 1. INTRODUÇÃO

O solo é um recurso natural formado a partir da atuação de vários processos ambientais ao longo de um determinado tempo. Sendo um substrato para várias formas de vida do planeta Terra, configura-se como um recurso natural de extrema importância para a manutenção das espécies, para a dinâmica ambiental e para o desenvolvimento humano.

Uma das problemáticas mais significativas na atualidade relacionada aos solos é a erosão. Este fenômeno, apesar do seu caráter natural, tem sido intensificado, consideravelmente, por diversas atividades humanas mal planejadas, sobretudo nos espaços urbanos. As perdas relacionadas à erosão geram problemas como a redução da fertilidade dos solos, carreamento de sedimentos aos canais de drenagem e a posterior perda da qualidade das águas, vulnerabilização de diversos grupos populacionais, dentre outros (OLIVEIRA, 1999).

A erosão ligada às atividades antrópicas foi percebida ainda na antiguidade, tendo seus primeiros registros feitos pelos Sumérios (6000 a.C.) que relacionaram o processo de sedentarização do homem com o desgaste do solo, uma vez que se estabeleceu uma relação muito intensa e de dependência entre o homem e o substrato essencial para as atividades agrícolas.

O primeiro momento em que o fenômeno da erosão, seus condicionantes e consequências foi abordado pela comunidade científica internacional, foi na Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente, ocorrida em Estocolmo (Suécia) em 1972. A partir de então, a erosão vem sendo alvo de estudo de diversas áreas do conhecimento, como: a Agronomia, a Geografia, a Geologia e a Engenharia Civil.

No Brasil, diversos trabalhos sobre erosão vêm sendo desenvolvidos em várias cidades, como por exemplo: em São Paulo - São Paulo (MATHIAS; LUPICANNI; MORUZZI, 2018); em Belém - Pará (COSTA; BLANCO, 2018); em Curitiba - Paraná (SOUZA *et. al.*, 2017); em Fortaleza - Ceará (PAULA, 2015)

Garanhuns - Pernambuco (GIRÃO *et. al.*, 2018); dentre outros.

No Maranhão, a preocupação da comunidade científica com a erosão é relativamente recente, mas destacam-se diversos trabalhos muito importantes em diversas áreas do estado, como: em Açailândia (GUERRA; MARÇAL; BOTELHO; GARCIA, 2001); no Baixo Parnaíba (LAGO; ARAÚJO; TELES, 2009); em São Luís (BEZERRA, 2011), (BEZERRA; LISBOA; MORAIS, 2017); na Baixada Maranhense (MENDONÇA, 2006); em São José de Ribamar (BEZERRA *et. al.*, 2014), dentre outros municípios e regiões.

Em Buriticupu, área de estudo deste trabalho, destacam-se alguns trabalhos importantes na tentativa de compreensão dos processos erosivos e suas consequências. (COSTA, 2015); (CAMPOS, 2017); (FARIAS FILHO *et. al.*, 2019); (SANTOS, 2019). No entanto, dada a diversidade de elementos condicionantes da erosão e a grande quantidade de voçorocas na sede municipal, ainda são necessários estudos mais aprofundados e duradouros.

Segundo Bezerra (2011) no estado do Maranhão, os processos erosivos urbanos demonstram-se cada vez mais intensos, tendo como uma das principais causas, a supressão de vegetação em áreas de rápido crescimento urbano.

Especificamente no município de Buriticupu, situado na mesorregião Oeste do estado do Maranhão, observa-se principalmente nas últimas décadas, a presença e o agravamento dos processos erosivos. A intensidade da erosão na região é extremamente elevada, formando voçorocas com dimensões que podem chegar a 50 m de largura, 40 m de profundidade e mais de 400 m de extensão.

Por estar em uma área de clima marcado por altos índices pluviométricos, com relevo formado por planaltos e colinas dissecadas e apresentar solos mal estruturados, a cobertura pedológica desta região apresenta uma grande suscetibilidade à erosão. Além da vulnerabilidade natural do solo local, esta ainda vem sendo incrementada por ocupações urbanas mal planejadas e atividades econômicas degradantes.

Os intensos processos erosivos ocorrentes na sede do município de Buriticupu-MA, são resultados da interação mútua e constante entre condicionantes naturais e antrópicos. Dentre os naturais pode-se destacar: o relevo, enquanto agente regulador; a litologia, pelas características do material de origem; os solos,

através de seus atributos físicoquímicos e da sua erodibilidade; e o clima, por meio dos índices pluviométricos e da erosividade das chuvas; e a vegetação, a partir dos tipos de espécies e da densidade vegetacional, que desempenham papel fundamental no início e evolução dos voçorocamentos.

Associados aos elementos ambientais, o homem, a partir do uso e ocupação do espaço e da elaboração de estruturas urbanas e econômicas ao longo da história local, configura-se como um importante agente influenciador na ocorrência dos processos erosivos acelerados.

O desgaste acelerado do solo encontra-se intimamente relacionado ao desequilíbrio da paisagem, e pode ter origem natural, antrópica ou conjugada. De acordo com Sudo (2000), a erosão acelerada ou antrópica, caracteriza-se pela retirada das camadas superficiais dos solos, numa velocidade muito maior do que a natureza é capaz de reconstituí-las (a erosão supera a pedogênese) de tal maneira que a consequência é a exposição e da rocha matriz aos agentes de intemperismo.

A erosão causa além da degradação ambiental, severas perdas econômicas e torna vulneráveis diversos grupos populacionais, sobretudo aqueles situados em áreas urbanas densamente povoadas e com pouca infraestrutura, tornando-se, portanto, um fenômeno e problemática socioambiental que requer uma atenção especial dos órgãos competentes e da sociedade como um todo.

Para Silva (2003) nas áreas em processo de urbanização, a remoção da cobertura vegetal, a implantação de ruas e outras benfeitorias podem induzir a processos que geram degradação dos solos, causando a perda dos horizontes mais superficiais ou mesmo formando ravinas e voçorocas. A construção de edificações e as demais atividades humanas no espaço urbano são as causas para as mais diversas formas de alteração ambiental, materializadas na intensa supressão da cobertura vegetal e na compactação e contaminação dos solos (PUSKÁS; FARSANG, 2009).

Segundo Vieira (1975), a voçoroca é caracterizada como uma forma de relevo gerada por um conjunto de processos morfogenéticos, os quais estão subordinados tanto a fatores climáticos, litológicos, pedológicos, topográficos, fitogeográficos e antrópicos, como à dimensão, à forma e ao estágio evolutivo em que se encontra essa forma erosiva. Sendo assim, à medida que ela aumenta de tamanho e modifica

a sua forma, os processos atuantes tendem, também, a mudar qualitativa e quantitativamente.

A suscetibilidade do solo aos processos erosivos é denominada de erodibilidade. A diferença na erodibilidade entre solos distintos ocorre por causa das condições intrínsecas a cada um destes solos, dadas pelos atributos físicos, químicos e mineralógicos (FOSTER, 1982). Sendo assim, existe uma estreita relação entre a composição dos solos e as suas susceptibilidades à erosão.

A erodibilidade dos solos tem uma grande variação espacial e temporal, ou seja, dois solos diferentes, ainda que próximos um do outro, possuem susceptibilidades diferentes aos processos erosivos, ou ainda, um determinado solo pode ter sua erodibilidade aumentada ou diminuída com o passar do tempo. Essas incógnitas relacionadas à erodibilidade dos solos tornam esta temática bastante complexa, o que reflete na quantidade reduzida de trabalhos sobre esse tema na área de estudo.

Dada a diversidade de tipos de solos e os crescentes problemas relacionados à erosão na sede municipal de Buriticupu, como a perda de fertilidade de algumas áreas, o assoreamento dos canais, sobretudo o rio Buriticupu, a perda da qualidade das águas e a vulnerabilização de grupos populacionais, é de grande importância que se conheça mais sobre a cobertura pedológica da referida localidade, a fim de que haja a possibilidade de conscientização de diversos grupos, ações de planejamento no uso e ocupação dos solos e intervenção para recuperação de áreas já intensamente afetadas pelos processos erosivos.

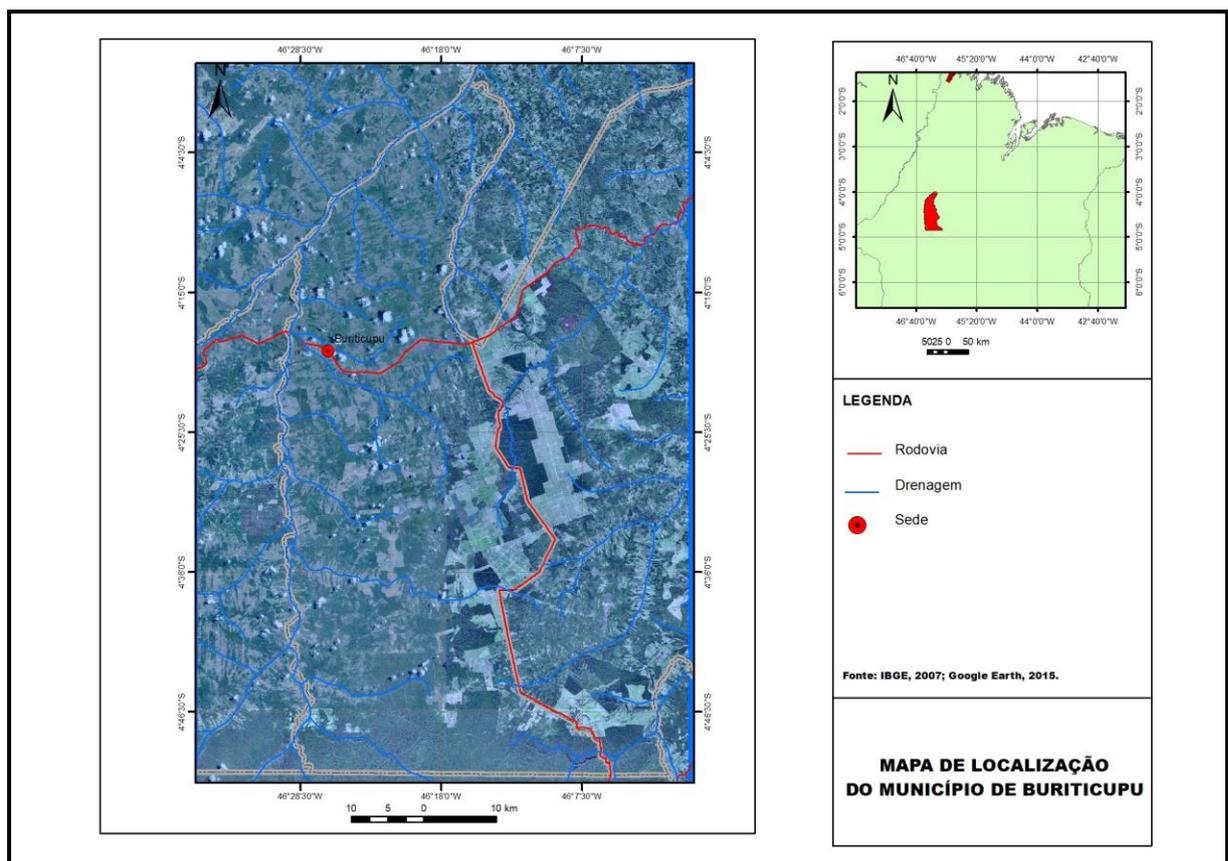
A presente dissertação objetiva analisar os condicionantes dos processos erosivos por voçorocamento na sede municipal de Buriticupu-MA, tendo especificamente como área de estudo a voçoroca localizada no bairro Santos Dumont. Além disto, visa também caracterizar os solos degradados por erosão; relacionar as características ambientais locais à ocorrência da erosão acelerada e identificar a influência antrópica enquanto elemento catalisador do processo erosivo.

O trabalho configura-se, portanto, como um instrumento de compreensão do espaço geográfico, contribuindo para avanços do conhecimento acerca dos processos erosivos e sobretudo como ferramenta disponível à sociedade e ao poder público, a fim de nortear ações de uso responsável e planejado do espaço urbano de Buriticupu-MA.

## 2. CARACTERIZAÇÃO GERAL E LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A pesquisa foi desenvolvida no município de Buriticupu, distante 395 km da capital São Luís, inserido na Microrregião do Pindaré, fazendo parte da Mesorregião Oeste Maranhense. A localidade está situada entre as coordenadas 46°28'45.43" e 46°25'52.15" de longitude oeste e 4°18'15.18"S e 4°20'14.10" latitude sul, a uma altitude média de 200 metros. O município de Buriticupu limita-se ao Norte com os municípios de Alto Alegre do Pindaré e Bom Jardim; ao Sul, com o município de Amarante do Maranhão; a Leste, com os municípios de Santa Luzia e Bom Jardim e; a Oeste, com os Municípios de Bom Jardim e Bom Jesus das Selvas (Figura 1).

Figura 1 - Localização do município de Buriticupu



Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

De acordo com informações do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010) o território em estudo apresenta uma área de aproximadamente 2.545km<sup>2</sup> e uma população de 65.226 habitantes sendo, 29.436 habitantes na zona

rural e 35.790 na zona urbana. A estimativa atual aponta uma população absoluta de aproximadamente 71.723 habitantes, registrando uma densidade demográfica de 28,18 hab/km<sup>2</sup> (IBGE, 2019).

Buriticupu teve origem no contexto da expansão da fronteira agrícola do Maranhão, a partir do projeto de colonização das terras do oeste do Estado com a formação de assentamentos de trabalhadores rurais no início da década de 1970 pelo então governador Pedro Neiva de Santana. Antes da efetiva ocupação de suas terras por colonos de várias regiões do Brasil, a região já era habitada por índios da etnia Guajajara e Guajá, que viviam dos recursos naturais disponíveis na extensão do território (IBGE, 2015).

A primeira área habitada foi às margens do rio que deu nome ao município, Rio Buriticupu, pois em suas matas ciliares havia uma abundância de buriti (*Mauritia Flexuosa*) e cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*, família *Sterculiaceae*). Contudo, a área era pequena para o empreendimento, logo os responsáveis pela implantação do projeto buscaram uma nova área com condições favoráveis, o platô foi o local escolhido pelo administrador Dr. Boileau Dantas Vanderley Filho para dar início ao Núcleo I, agrovila que posteriormente daria a origem à sede municipal de Buriticupu (AGUIAR, 2002).

Somente em 10 de novembro de 1994 foi elevada à categoria de município pela Lei Estadual nº 6162, deixando de ser assim, povoado do município de Santa Luzia (IBGE, 2015).

O crescimento do município ocorreu entorno da exploração da madeira, que teve como resultado a supressão quase que completa da cobertura vegetal original, ficando deste modo os solos da região expostos aos intensos processos erosivos naturais e acelerados (AGUIAR, 2002).

A área em estudo apresenta clima tropical quente e úmido, tendo como característica principal dois períodos distintos: um de chuva entre os meses de dezembro a junho e o período de estiagem de julho a novembro. A temperatura média anual é 28° C, a umidade relativa do ar oscila entre 32% a 63%, enquanto a precipitação média anual é de 1800 mm (INMET, 2018).

O município possui vegetação tipicamente amazônica, porém com estágio de sucessão secundária denominada de capoeira, o relevo possui formas características de grandes tabuleiros, separados por vales na direção norte-sul. Os solos predominantes na região são Latossolos Amarelos, tanto nas áreas dos tabuleiros terciários, quanto nos platôs formados no Cretáceo (VALE, 2011).

A rede hidrográfica que drena o município faz parte da Bacia do Mearim, especificamente na sub-bacia do rio Pindaré. Seus principais rios são o Pindaré, no curso médio, e o Buriticupu, em seu curso inferior, apresentando elevado grau de degradação em função do desmatamento e posterior assoreamento dos seus canais.

Na zona urbana do município de Buriticupu existem diversos processos erosivos em avançado estágio de evolução. Para este trabalho foi escolhida a voçoroca situada no Bairro Santos Dumont (Figura 2).

Figura 2 - Localização da voçoroca Santos Dumont



**Fonte:** Dados da pesquisa, 2019.

A escolha desta área específica ocorreu baseada no elevado grau de evolução da erosão, na relativa facilidade de acesso, na possibilidade de coleta de amostras de solos e na pequena distância da voçoroca às moradias do bairro, que implica em um elevado risco à vida da população local.

### 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O solo é um dos mais importantes recursos do ambiente. Todos os fenômenos de trocas de massa e energia que ocorrem, dependem do solo direta ou indiretamente, ou seja, a existência e manutenção da vida no planeta Terra é extremamente ligada à existência da cobertura pedológica.

Assim como todo elemento do meio físico, os solos estão expostos a diversas transformações, dentre elas, destacam-se aquelas ocasionadas pelo fenômeno da erosão. A erosão consiste num conjunto de processos pelos quais os materiais terrosos e rochosos da crosta terrestre são desagregados, degradados, desgastados ou dissolvidos e transportados pela ação dos agentes erosivos (IPT, 1986). Assim sendo, os processos erosivos configuram-se como um dos mais importantes para o modelamento do relevo e para a dinâmica da paisagem.

A paisagem é aqui entendida na sua multiplicidade, não se tratando somente da paisagem “natural”, mas da paisagem total integrando todas as implicações da ação antrópica. É a compreensão desta categoria geográfica enquanto resultado da ação integrada dos elementos que a compõem, ou seja, em sua totalidade considerando suas inter-relações. Segundo Bertand (2004),

A paisagem não é a simples adição de elementos geográficos disparatados. É, em uma determinada porção do espaço, o resultado da combinação dinâmica, portanto instável, de elementos físicos, biológicos e antrópicos que, reagindo dialeticamente uns sobre os outros, fazem da paisagem um conjunto único e indissociável, em perpétua evolução.

Para Suertegaray (2001), a paisagem é um conceito operacional, ou seja, representa uma possibilidade de leitura e compreensão do espaço geográfico e um caminho metodológico sob a dimensão da conjunção de elementos naturais, socioeconômicos e culturais.

O estudo das relações solo-paisagem tem usado abordagens eficientes em levantamentos detalhados dos solos e do relevo, ao reunir dados das feições da superfície terrestre e dos atributos do solo (PENNOCK; VELDKAMP, 2006; CAMPOS, 2012). A topografia de uma área apresenta forte relação com os processos de formação e desenvolvimento dos solos, assim como os solos são importantes indicadores da evolução das coberturas superficiais (MULLA; McBRATNEY, 1999). A litologia também se apresenta como um elemento

indispensável nos estudos da relação solo-paisagem para o entendimento da variabilidade espacial dos atributos do solo (VIDAL-TORRADO; LEPSCH, 1999).

Através do estudo da dinâmica da paisagem transformada pelo processo erosivo acelerado é possível criar mecanismos para contenção do processo; e a ciência geográfica visa, entre tantos aspectos, a elaboração de técnicas reparadoras dos impactos provocados pela ação antrópica (SUERTEGARAY, 2003).

Segundo Lal e Stewart (1990) a degradação de solos é definida como redução das qualidades do solo devido ao uso abusivo dos seres humanos. De acordo com LADA (2016), a degradação dos solos refere-se à redução da produtividade, devido à perda de seus nutrientes e da matéria orgânica, das propriedades estruturais e à concentração dos elementos químicos tóxicos.

Pruski (2013) afirma que a degradação de solos é a diminuição da capacidade corrente ou potencial dos solos para produzir, quantitativa e qualitativamente, bens e serviços ambientais.

A perda de solo por erosão é considerada um dos maiores e mais preocupantes problemas ambientais, responsável por causar prejuízos nos rendimentos das culturas, aumentando os custos de produção, diminuindo, por conseguinte, a lucratividade da lavoura, entre outros danos, que em conjunto influenciam a qualidade de vida na Terra (CASTRO et al., 2006). De acordo com Guerra (2014) o problema é mais bem ilustrado quando leva-se em conta que os solos se formam, em média, a uma taxa de 1t/ha/ano, enquanto que regiões nos continentes africano, americano e asiático, indicam perdas que chegam a 30t/ha/ano.

Estudos apontam que somente no ano de 2008, cerca de um bilhão de toneladas de sedimentos foram erodidos em áreas agrícolas, fato que causa grandes prejuízos econômicos, sociais e ambientais (LEPSCH, 2011).

Assim sendo, o entendimento da dinâmica dos processos erosivos e a aplicação de medidas que possam amenizá-los ou contê-los assume grande importância no sentido de preservar as paisagens, garantir a segurança alimentar das populações e suas condições de moradia.

Diversas pesquisas, como as de Frenzel (1980), Bitar e Braga (1995), Agassi (1996), Bertoni e Lombardi Neto (2005), Morgan (2005), indicam a erosão como

sendo a desagregação, retirada e transporte de partículas dos solos, pela atuação de agentes como a água (nos estados líquido e sólido) e os ventos, que se depositarão em locais mais rebaixados, sendo que estes processos podem ocorrer de maneira perturbada ou natural, isto é, fazendo parte da dinâmica ambiental natural na sua tentativa de equilíbrio ou sofrendo alterações pelas atividades humanas, que constantemente causam o aumento da taxa de erosão e da produção de sedimentos.

Segundo Silva (2003), os processos erosivos fazem parte da evolução natural do meio físico e da alteração do relevo. Para Bertoni e Lombardi Neto (2005), a erosão tem como causas: forças ativas, como as características da chuva - precipitações (R), a declividade do terreno (L) e a capacidade que tem o solo de absorver água – erodibilidade (K), e por forças passivas, como a resistência que exerce o solo de absorver à ação erosiva da água (K) e a densidade da cobertura vegetal (V).

Vários são os critérios utilizados para classificar os processos erosivos, como: a natureza do fenômeno, os tipos de agentes e o grau de intensidade. Quanto à natureza, boa parte dos autores classificam em dois grupos: a erosão geológica ou natural; e a erosão acelerada ou antrópica.

Segundo Carvalho (1981), quanto aos agentes naturais, pode-se dividir a erosão em três grandes grupos: a erosão hídrica (com maior representatividade), a erosão eólica e a erosão glacial. Além da erosão hídrica se mostra efetivamente mais presente e intensa nos espaços urbanos e rurais, ainda gera as feições mais avançadas dos processos erosivos em sulco: as voçorocas.

A erosão hídrica é um processo originado pela ação da água da chuva, em que as forças de escoamento superficial e subsuperficial são capazes de proceder ao arranque e arraste das partículas do solo (ZUQUETTE; CARVALHO; YAMANOUTH, 2007).

No Brasil, a erosão hídrica é o principal fator capaz de tornar insustentáveis os sistemas de produção agrícola e, os impactos ambientais dela oriundos, têm reflexos no aumento dos custos, causando, anualmente, um prejuízo econômico enorme ao país (HERNANI *et al.*, 2002). Telles (2010), no seu estudo sobre os custos gerados pela erosão dos solos, menciona que no Brasil as perdas com esse processo chegam a 30 milhões de dólares ao ano.

Ainda que seja considerado um fenômeno natural, deve-se ressaltar, sobretudo no contexto atual, a influência antrópica nos processos erosivos. O homem, à medida que desenvolve diversas atividades de maneira incorreta em uma determinada região, atua como um catalisador para a erosão. Trata-se, portanto, da erosão antrópica ou acelerada, responsável hoje pela perda de grandes áreas agricultáveis e por deixar em risco a vida de diversas populações pela iminência da ocorrência de movimentos de massa.

Cunha (1997) destaca que a erosão dos solos é considerada normal, quando ocorre um equilíbrio entre os processos de formação do solo e seu desgaste. Quando o processo erosivo é mais intenso, sendo mais veloz que a formação do solo (taxa de erosão > pedogênese), ocorre a erosão acelerada, chamada de erosão antrópica, caso tenha sido provocada pela ação humana. Tal situação ocorre quando são encontradas determinadas condições de solo, litologia e relevo que proporcionam o desencadeamento da substituição da vegetação natural por outro tipo de cobertura vegetal, o qual não proporciona proteção eficiente contra a erosão, dificultando o estabelecimento do processo pedogenético que recomporia a camada erodida.

Trabalhos como do IPT (1986) e Bertoni e Lombardi Neto (2005) classificam os processos erosivos quanto ao grau de intensidade em: sulcos, ravinas e voçorocas. Carvalho (2006) afirma que sulcos são pequenos canais de até 10 cm de profundidade, gerados pela concentração do escoamento superficial; e ravinas são as incisões com profundidade entre 10 e 50 cm, onde começa a haver a instabilidade dos taludes da feição erosiva.

Fullen e Catt (2004) admitem a polêmica da diferenciação das ravinas e voçorocas. No entanto, afirmam que enquanto as ravinas tendem a fazer incisão, principalmente no horizonte A, as voçorocas atingem facilmente os horizontes mais profundos (B e C), chegando inclusive a atingir a rocha matriz, dependendo do grau de intensidade do processo erosivo.

Segundo Oliveira (1999) a voçoroca é um canal inciso ligado ao processo de dissecação do relevo, decorrentes da ação integrada entre processos geomorfológicos, como: escoamento de fluxos de águas superficiais, subsuperficiais e movimentos de massas nos domínios das encostas. As erosões por voçorocamento configuram o estágio mais avançado, caracterizado pelo

aprofundamento das ravinas, até estas atingirem, em muitos casos, o lençol freático ou o nível de água do terreno.

Para Guerra (2006), visão esta adotada pela presente pesquisa, as voçorocas são formas de erosão acelerada caracterizadas por apresentar paredes laterais íngremes, geralmente de fundo chato, podendo atingir o lençol freático. Este mesmo autor indica ainda que ravinas são incisões de até 50 cm de largura e profundidade, acima dessas proporções passa a configurar uma feição de voçoroca.

Segundo Silveira e Mendonça (2009):

As voçorocas são fenômenos naturais de gênese e evolução complexa, já que tanto os fluxos superficiais quanto os subsuperficiais, bem como os diversos tipos de movimentos de massa podem atuar isolada ou conjuntamente na sua formação e evolução.

As voçorocas, dessa forma, são processos erosivos complexos com grau de evolução que dificulta sua recuperação e controle, resultando em diversas perdas econômicas e ambientais. Elas podem ser caracterizadas como feições íngremes compostas por cabeceiras e outras regiões de diversas inclinações, apresentando grandes profundidades (MORGAN, 1995). Apresentam ainda um conjunto entre erosão remontante e vertical associadas à lateral, com desmoronamentos das paredes, fluxo de material e outros fenômenos que as tornam extremamente complexas (ZACHAR, 1982).

É possível classificar as voçorocas quanto à sua complexidade, idade, localização, quanto ao formato de sua seção transversal, ao tamanho, à profundidade, ao formato em planta, dentre outros. Como exemplos, em relação à forma de sua seção transversal, pode-se classificá-las em *U* ou *V*: as de formato em *U* não necessariamente estão ligadas a perfis estabilizados e são comumente encontradas em locais onde o solo é mais susceptível à erosão, sendo que apresentam paredes quase verticais e ampliação lateral dada por erosão superficial ou por desabamento da base advindo da ação da água subsuperficial; as de formato em *V* são presentes em solos com maior resistência à erosão, sendo que a ação da água superficial predomina em relação ao comportamento da subsuperficial. É comum encontrar os dois formatos em uma mesma voçoroca, mas em geral se associa o formato em *V* ao início do processo erosivo (FENDRICH, 1997).

Mesmo sendo um processo de gênese e evolução complexa, o interesse pelo estudo de voçorocas tem chamado a atenção de pesquisadores preocupados com os problemas relacionados à erosão acelerada, sobretudo no contexto do declínio

progressivo na proporção existente entre os recursos naturais comparativamente às populações humanas (DOTTERWEICH *et al*, 2013). Dessa forma, buscam entender a origem, evolução e estabelecer técnicas de mitigação desse processo, que quando não controlado pode até levar a total descaracterização do meio físico.

Segundo Bacellar (2006) existem alguns fatores condicionantes ao surgimento das voçorocas, definindo uma maior propensão ao surgimento e desenvolvimento do voçorocamento em algumas regiões. Dentre eles destacam-se: os fatores antrópicos (como: queimadas, desmatamento e manejo inadequado das plantações), fatores geológicos, fatores pedológicos, fatores climáticos e fatores geomorfológicos).

Dentre as formas de mensuração dos processos erosivos destaca-se a EUPS (Equação Universal de Perdas de Solos), expressa em Mg ha<sup>-1</sup> por ano, conforme  $A = R \times K \times LS \times C \times P$ , em que: R é o fator de erosividade da chuva, expresso em MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>; K é o fator erodibilidade do solo, expresso em Mg h MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>; LS é o fator topográfico, adimensional; C é o fator de uso e manejo, adimensional; e P é o fator de práticas conservacionistas, adimensional (MIQUELONI; BUENO; FERRAUDO, 2012).

Para Guerra (2011), as propriedades dos solos influenciam na maior ou menor erodibilidade destes, à medida que dificultam ou facilitam a atuação da energia cinética das águas e do escoamento superficial. Existindo, portanto, uma intensa relação entre os fenômenos erosivos e os atributos físicos e químicos dos solos atingidos pela erosão. Dentre os atributos físicos do solo que mais estão relacionados com a erodibilidade, os que mais se destacam são: a granulometria, a densidade do solo, a taxa de infiltração, a resistência à penetração e a porosidade (CARNEIRO *et al*, 2009).

O processo de infiltração depende de diferentes fatores. Rawls *et. al.* (1996) classificam em quatro categorias os fatores que interferem na infiltração: os ligados ao solo; que incluem a textura do solo, o teor de matéria orgânica, a porosidade e o tipo de argila; a umidade; capacidade de retenção e a condutividade hidráulica. O conhecimento da taxa de infiltração da água no solo é essencial para definir técnicas de conservação do solo, planejar sistemas de drenagem, além de auxiliar na

compreensão da retenção da água e aeração no solo, sendo, portanto, essencial para os estudos de voçorocas.

A textura dos solos, dada pelo tamanho das partículas que o compõem, estabelece grande influência na erodibilidade do solo. Este grau de influência é dado pela dificuldade ou facilidade de drenagem da água no solo, que por sua vez ocorre principalmente por meio dos macroporos. Segundo Lepsch (2011), solos arenosos possuem estrutura em grãos simples, isto é, possuem baixo nível de agregação de partículas e, por isso, possuem elevada erodibilidade, sobretudo quando ocorrem em áreas de relevo ondulado com declividades acentuadas.

De acordo com Guerra (2006), apesar da importância da textura na susceptibilidade dos solos aos processos erosivos, as percentagens das frações granulométricas (areia, silte e argila) devem ser levadas em consideração em conjunto com outras propriedades, porque a agregação dessas frações granulométricas é afetada por outros elementos, como o teor de matéria orgânica, a acidez do solo, dentre outros.

Entre os atributos dos solos, há diferenças quanto à sua estabilidade. Assim, atributos químicos são considerados mais instáveis, enquanto os atributos morfológicos e físicos são mais estáveis, demandando um grande tempo para sofrerem modificações, sejam de ordem natural ou antrópica. Nas áreas agrícolas os atributos físicos e morfológicos são levemente alterados pelo tipo de cultivo e por práticas que ocasionam a mistura de materiais heterogêneos de diferentes profundidades.

Dentre os atributos que influenciam a erodibilidade, assumem maior importância a textura, que se refere às dimensões e características das partículas primárias (ZIMBACK, 2003); a estrutura, que consiste no agrupamento das partículas primárias na formação de agregados (FARIAS FILHO, 2015); o teor de matéria orgânica; a estabilidade de agregados; o teor de óxidos de Fe e Al; a umidade do solo e a mineralogia, que está relacionada com o material de origem, grau intemperismo e com os processos pedogenéticos de acúmulo ou remoção (KÄMPF; CURI, 2003).

Os solos do município de Buriticupu, bem como os demais que compõem a Formação Itapecuru, apresentam uma grande vulnerabilidade à erosão, dadas as condições climáticas que favorecem a desagregação das partículas do solo, que são

constituídos principalmente por areia e silte, com baixa capacidade de retenção de cátions, baixa quantidade de agregantes, de estrutura muito frágil e drenagem interna dificultada pela presença constante de camadas subjacentes impeditivas à livre percolação da água (MOURA, 2004).

Além dos atributos físicos, boa parte dos atributos químicos dos solos possuem uma grande relação com a sua erodibilidade. Os atributos químicos dos solos são resultados das dinâmicas que ocorrem no processo da pedogênese, envolvendo os fatores, processos e mecanismos de formação do solo. A quantidade de determinados elementos químicos no solo determina a alta ou baixa agregação das partículas, o que resulta na determinação de uma maior ou menor suscetibilidade destes solos aos processos erosivos.

A literatura há muito tempo já tem evidenciado que atributos como a matéria orgânica, o pH, a capacidade de troca catiônica, entre outros, são indicadores efetivos da qualidade do solo (RAIJ, 1991). Assim, sabendo-se que, do mesmo modo que alguns atributos físicos, os atributos químicos do solo são passíveis de manejo, identificar aqueles que possuem maior relação com a erodibilidade e tolerância de perda pode representar uma importante ferramenta para ações de caráter conservacionista dos solos.

Além de fatores físicos ligados à erosão, que assumem papéis distintos enquanto condicionantes, severos ou frequentes em todo o globo, existe uma significativa influência dos atores sociais, econômicos, políticos e institucionais nas variáveis de espaço e tempo destes processos. Neste sentido, as práticas de conservação do solo necessitam contemplar o entendimento e conhecimento em detalhe das condições atuais das erosões (MORGAN, 2005).

De acordo com Wild (1993) a pressão exercida pelas atividades humanas sobre os solos é uma das principais causas da erosão. O recurso natural solo é intensamente afetado pelo processo de urbanização, abrindo caminho para discussões sobre as problemáticas relacionadas aos solos urbanos. Estes solos tendem a alterações drásticas de suas características morfológicas, físicas, químicas e biológicas, tornando-se totalmente distintos dos naturais (DALMOLIN *et al.*, 2006).

Segundo Freire (2006) na relação entre urbanização e natureza do solo, esta reflete a salubridade do ambiente urbano, na poluição e contaminação dos recursos hídricos e na degradação do ambiente. Guerra (2011) afirma que nas áreas urbanas, onde os solos estão descobertos, são comuns os processos erosivos acelerados,

principalmente nas áreas periféricas, onde o poder público é, quase sempre, ineficiente e ausente.

O processo de voçorocamento geralmente é uma consequência das atividades humanas e é considerado um dos piores problemas ambientais no Brasil, causando perdas de solo, assoreamento dos canais fluviais e fundos de vale entre outros tipos de impacto em ambientes urbanos. Ressalta-se que a formação de sistemas erosivos do tipo voçoroca é um sinal de erosão acelerada, representando uma importante fonte de remoção e perdas de sedimentos (HERZING; DYMOND; MARDEN, 2011).

Santos Filho (2007) destaca que:

[...] a paisagem urbana está cada vez mais degradada e comprometida pela improvisação e ausência de parâmetros técnicos para sua ocupação: a paisagem urbana tem uma dinâmica que deve ser compreendida para que os ambientes urbanos sejam adequadamente monitorados porque, paradoxalmente, a mesma ação do intemperismo, que contribui para a evolução do relevo - a água da chuva e os ventos - influi de modo crítico nas áreas construídas, gerando movimentos de massa, saturação do solo e outras situações, por vezes catastróficas.

A erosão no ambiente urbano significa, portanto, além de danos ambientais, uma situação de risco à população. Vieira e Kurkdjian (1993) afirmam que a ocupação de áreas urbanas de risco é comum nas cidades brasileiras e com frequência apresenta uma realidade dramática da interação entre a ocupação humana e o ambiente, uma vez que a ocupação constantemente desconsidera as peculiaridades do meio físico.

De acordo com Guerra (2011):

entende-se por área de risco frente à geomorfologia, aquelas regiões onde já existe o risco natural, visto que os processos naturais fazem parte da dinâmica da Terra. Sendo assim, é recomendada a não construção de casas ou instalações, em tais áreas, pois estas são muito expostas aos desastres naturais, como desabamentos, enchentes, escorregamentos, erosão, etc.

Segundo Nonato (2006), considera-se risco geológico o risco relacionado à forma de ocupação do homem sobre o terreno, seja em encostas ou em baixadas, e as situações que indicam risco são, entre outras, a presença de cortes verticais em rochas e solos; o lançamento de água servida sobre os taludes, com incremento do processo erosivo da encosta; retirada da vegetação nativa; acúmulo de lixo nas

encostas e construções erguidas sem acompanhamento técnico, em locais inadequados.

Cavaguti e Silva (1993) consideram como iniciadoras dos processos erosivos em ambiente urbano: o aumento e concentração do escoamento pela impermeabilização, ausência de sistema de drenagem, traçado inadequado de ruas e estradas, desmatamento e falta de infraestrutura em núcleos habitacionais.

Trabalhos como de Guerra e Hoffmann (2006) constatam a grande influência da falta de planejamento urbano materializada, dentre outros aspectos, na falta ou mal dimensionamento de galerias pluviais e de esgoto e na presença de ruas não pavimentadas, sobretudo nas periferias dos centros urbanos, na ocorrência dos processos erosivos urbanos. Segundo Carvalho *et. al.* (2006), as ruas são as principais adutoras das águas captadas pelos telhados, somadas às do escoamento local que, quando desprovidas de drenagem de águas pluviais, podem dar início a processos erosivos de grande escala.

Em Buriticupu pode-se observar a presença de todas estas características, sobretudo o traçado inadequado das ruas, que conduzem as águas pluviais e esgotos domésticos do centro do platô em direção ao rebordo erosivo, e a ausência de sistema de drenagem. Nestas condições há uma contribuição forte para o aumento significativo dos fluxos de água nos arruamentos, que, mal planejados, acabam por direcionar os fluidos às áreas de maior declividade, incrementando assim os processos erosivos.

## 4. METODOLOGIA

Segundo Gerhardt e Silveira (2009), o método científico compreende um conjunto de dados e um sistema de operações organizado e adequado para a obtenção de conclusões, de acordo com os objetivos previamente determinados. Afirmam ainda que:

A metodologia se interessa pela validade do caminho escolhido para se chegar ao fim proposto pela pesquisa; portanto, não deve ser confundida com o conteúdo (teoria) nem com os procedimentos (métodos e técnicas). Dessa forma, a metodologia vai além da descrição dos procedimentos (métodos e técnicas a serem utilizados na pesquisa), indicando a escolha teórica realizada pelo pesquisador para abordar o objeto de estudo (GERHARDT e SILVEIRA, 2009, p. 13).

Segundo Marconi e Lakatos (2003), por método de pesquisa entende-se um conjunto de técnicas com as quais se procede à compreensão de determinado tema, isto é, refere-se à execução da pesquisa e ao detalhamento das formas e dos meios a serem utilizados para a obtenção dos dados necessários para a compreensão do problema.

A presente pesquisa utiliza o método hipotético-dedutivo, que segundo Diniz (2013) é muito útil às pesquisas geográficas. Ainda segundo este mesmo autor, o método hipotético-dedutivo consiste em se perceber problemas, lacunas ou contradições no conhecimento prévio ou em teorias existentes. A partir desses problemas, lacunas ou contradições, são formuladas conjecturas, soluções ou hipóteses sobre a temática em estudo.

A pesquisa constou de quatro etapas, sendo elas: revisão de literatura, pesquisa de campo, análises laboratoriais e interpretação dos resultados.

### 4.1. Revisão de literatura

Inicialmente fez-se uma revisão de literatura, englobando temas relacionados à erosão, variáveis envolvidas, sua estimativa e predição em periódicos internacionais e nacionais. Este primeiro momento mostrou-se essencial à pesquisa,

segundo Marconi e Lakatos (2003), antes de iniciar qualquer pesquisa de campo, o primeiro passo é a análise minuciosa de todas as fontes documentais, que sirvam de suporte à investigação projetada. Também foi feito um levantamento dos principais trabalhos (artigos científicos, teses de doutorado e dissertações de mestrado) já desenvolvidos na Mesorregião Oeste Maranhense que dizem respeito aos atributos dos solos, erosão, mineração e histórico de uso e ocupação, para que fosse construída uma compreensão ampla do objeto de estudo e da maneira como os autores já o trabalharam. Ocorreu também, nesta etapa, por meio da observação de documentos cartográficos, a identificação inicial da área estudada, no caso a Voçoroca do bairro Santos Dumont.

#### **4.2. Pesquisa de campo**

A fim de se reconhecer e compreender os processos erosivos em Buriticupu, assim como também realizar o levantamento dos principais elementos que influenciam neste processo, foram realizados dois trabalhos de campo no município. As atividades de campo tiveram grande importância para a mensuração real do problema abordado, uma vez que a observação *in loco* forneceu os principais dados da pesquisa.

Esta etapa constou de reconhecimento prévio, caracterização e análise do relevo, identificação dos pontos de coleta de solos, coleta dos solos para análise laboratorial, testes de infiltração e registro fotográfico da voçoroca e da estrutura urbana municipal.

Ainda nos trabalhos de campo, também foram analisados os condicionantes antrópicos dos processos erosivos. As atividades econômicas degradantes e as condições da estrutura urbana foram averiguadas *in loco*, e registradas por meio de fotografias.

#### 4.2.1. Coleta de amostras de solo

Com o objetivo de entender os atributos físicos, químicos e morfológicos dos solos locais, foram coletadas no total 39 amostras de solo, sendo 32 amostras deformadas e 7 amostras indeformadas.

As amostras deformadas foram coletadas em oito pontos distribuídos ao longo da topossequência na lateral esquerda da voçoroca e distantes 50 metros entre si, nas profundidades 10, 20, 50 e 80 cm. A escolha de somente um lado da voçoroca para as coletas ocorreu pela dificuldade de acesso à lateral direita.

As amostras indeformadas foram coletadas em sete diferentes pontos, localizados próximos aos pontos de coletas deformadas (Figura 3).

Figura 3 - Pontos de coleta das amostras de solo



Fonte: Dados da pesquisa, 2018.

As coletas foram realizadas em março de 2018, que coincide com o período chuvoso na região.

Para a coleta das amostras deformadas utilizou-se um trado holandês, e para as indeformadas um amostrador volumétrico (Figura 4).

Figura 4 - Coleta das amostras de solo



Fonte: Dados da pesquisa, 2018.

#### 4.2.2. Teste de infiltração

Os testes de infiltração foram realizados em dois períodos diferentes. O primeiro durante o período chuvoso (março de 2018) e o segundo no período seco (junho de 2019), seguindo os procedimentos propostos por Guerra (1996), que sugeriu que com o auxílio de um martelo, o cilindro metálico de 15 cm de altura por 10 de diâmetro fosse fixado 5 cm no solo, em seguida colocou-se uma régua graduada dentro do cilindro fincado na superfície.

Despejou-se água e observou-se o tempo cronometrado para a absorção de água a cada minuto até atingir os 30 minutos de ensaio. Caso a água chegasse à marca de 5 cm na régua antes dos 30 minutos, o anel deveria ser preenchido novamente, para que a infiltração continuasse a ser medida.

Figura 5 - Teste de infiltração



Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

#### 4.2.3. Entrevistas

A fim de se compreender os processos erosivos enquanto um problema social, fizeram-se necessárias as investigações da visão dos moradores do bairro Santos Dumont. Para a obtenção das impressões e opiniões dos cidadãos foram realizadas (6) entrevistas estruturadas com perguntas abertas.

A entrevista, conforme entendimento de Gil (1999), constitui-se em um:

procedimento racional e sistemático que tem como objetivo proporcionar respostas aos problemas que são propostos. (...) A pesquisa é desenvolvida mediante o concurso dos conhecimentos disponíveis e a utilização cuidadosa de métodos, técnicas e outros procedimentos científicos (...) ao longo de um processo que envolve inúmeras fases, desde a adequada formulação do problema até a satisfatória apresentação dos resultados.

Os entrevistados foram prioritariamente moradores que têm suas residências contíguas à voçoroca, que puderam fornecer informações importantes acerca do

surgimento do processo, do avanço, das consequências para a comunidade e a atuação do poder público através de intervenções visando a implementação de medidas mitigadoras.

### **4.3. Análises Laboratoriais**

As análises físicas e química foram realizadas de acordo com Embrapa (1997) e Camargo *et al.* (2009) em amostras secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de malha 2 mm (terra fina seca ao ar - TFSA).

As análises físicas foram realizadas nas trinta e duas amostras deformadas e nas oito amostras indeformadas, no Laboratório de Geociências, onde também foram realizadas as análises morfológicas.

As análises químicas, feitas no Laboratório de Solos da Universidade Estadual do Maranhão, foram realizadas em dezesseis amostras, nas profundidades de 10 e 80 cm, visando compreender as diferenciações entre o material superficial e os localizados em maiores profundidades e a distribuição dos nutrientes ao longo do perfil dos solos.

#### **4.3.1. Atributos físicos**

As análises físicas foram realizadas nas trinta e duas amostras deformadas e nas oito amostras indeformadas no Laboratório de Geociências, do Centro de Educação, Ciências Exatas e Naturais da Universidade Estadual do Maranhão.

As amostras deformadas foram analisadas de acordo com o parâmetro: granulometria, realizado por dispersão total pelo método da pipeta.

O princípio deste método da pipetagem baseia-se na velocidade de queda das partículas que compõem o solo. Fixa-se o tempo para o deslocamento vertical na suspensão do solo com água, após a adição de um dispersante químico. Pipeta-se um volume do material em suspensão, para determinação da argila, que após secagem em estufa é pesada.

As frações mais grosseiras (areia fina e grossa) são separadas por tamisação, secas em estufa e pesadas para obtenção dos respectivos percentuais.

O silte corresponde ao complemento dos percentuais para 100%. É obtido por diferença das outras frações em relação à amostra original (EMBRAPA, 1997).

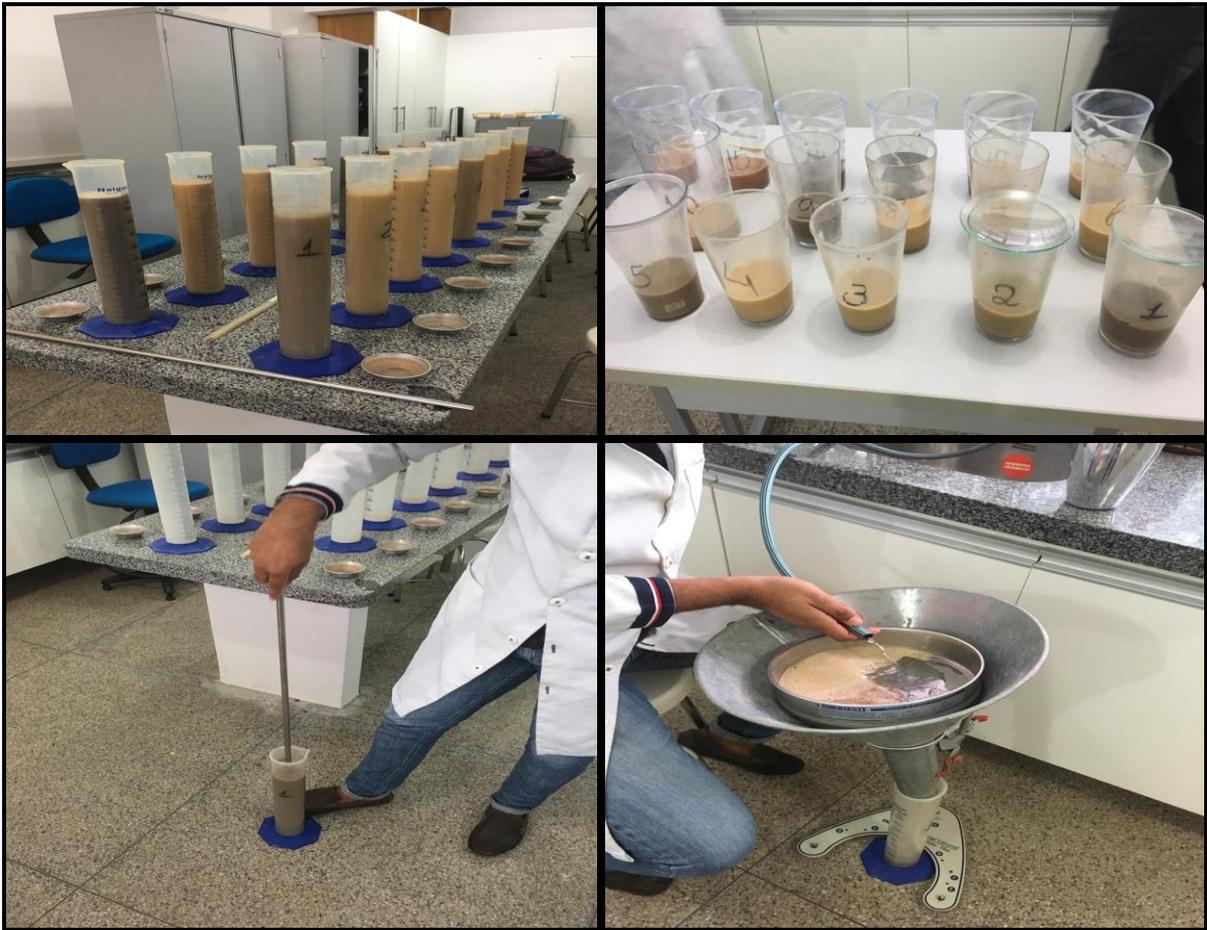
Inicialmente foram pesados 20g de solo e colocados em copo plástico. Adicionou-se 100ml de água destilada e 10ml de solução normal de hidróxido de sódio ( $\text{NaOH } 0,1 \text{ mol L}^{-1}$ ). Agitou-se com bastão de vidro e deixou-se em repouso durante uma noite, cobrindo o copo com vidro de relógio. Transferiu-se o conteúdo para copo metálico do agitador elétrico “stirrer” com o auxílio de um jato de água. O copo foi colocado no agitador e procedeu-se a agitação por 5 minutos.

Passou-se o conteúdo pela peneira com malha de 0,053 (nº 270), colocada sobre um funil apoiado, possuindo abaixo uma proveta de 1.000ml. Lavou-se o material retido na peneira com água. Agitou-se a suspensão durante 20 segundos com um bastão. Marcou-se o tempo após concluir a agitação e deixou-se em repouso pelo tempo estabelecido na tabela de temperatura para sedimentação.

Mediu-se a temperatura da prova em branco e da amostra e verificou-se na tabela o tempo de sedimentação da fração argila para 5cm de profundidade. Calculado o tempo, introduziu-se uma pipeta de 50ml até a profundidade de 5cm, e foi coletada a suspensão. Posteriormente, as alíquotas foram colocadas na estufa e armazenadas durante 24 horas, a 100° de temperatura. Paralelo aos procedimentos para conhecimento dos valores de argila, as frações de areia presentes nas latas, foram levadas a estufa a 100° de temperatura por um intervalo de 5 horas, até que a água retida evaporasse completamente.

Colocou-se em dessecador, deixando esfriar e pesou-se, concluindo, assim, a determinação da argila. Foi completada a lavagem da areia retida na peneira de 0,053mm com jato de água. Transferiu-se a fração areia para lata de alumínio numerada e de peso conhecido, foi retirado excesso de água e colocada na estufa. Após secagem obteve-se o peso da areia grossa + areia fina. A fração silte foi obtida subtraindo-se do total da alíquota, as massas de argila e areia.

Figura 6 - Procedimentos da análise granulométrica



Fonte: Dados da pesquisa, 2018.

Para a análise dos valores referentes a areia, silte e argila, foram realizados alguns cálculos, seguindo as seguintes equações:

#### Argila

$$[(A+T) - T] \times 100 = +2$$

#### Silte

$$100 - (AT + A) = \text{Silte}$$

#### Areia

$$AT - AF = AG$$

Onde: A corresponde à fração argila; AT À Areia Total; AF à Areia Fina; AG à areia grossa e T à tara.

Para o cálculo do tempo de sedimentação da argila (fração menor que 0,002mm de diâmetro), em suspensão aquosa, para uma profundidade de 5cm, a diversas temperaturas, foi utilizado o seguinte quadro:

Quadro 1 - Quadro de tempo de sedimentação da argila

Temperatura °C	Tempo	Temperatura °C	Tempo
10	5h 11'	23	3h 43'
11	5h 03'	24	3h 38'
12	4h 55'	25	3h 33'
13	4h 47'	26	3h 28'
14	4h 39'	27	3h 24'
15	4h 33'	28	3h 19'
16	4h 26'	29	3h 15'
17	4h 20'	30	3h 10'
18	4h 12'	31	3h 07'
19	4h 06'	32	3h 03'
20	4h 00'	33	2h 58'
21	3h 54'	34	2h 55'
22	3h 48'	35	2h 52'

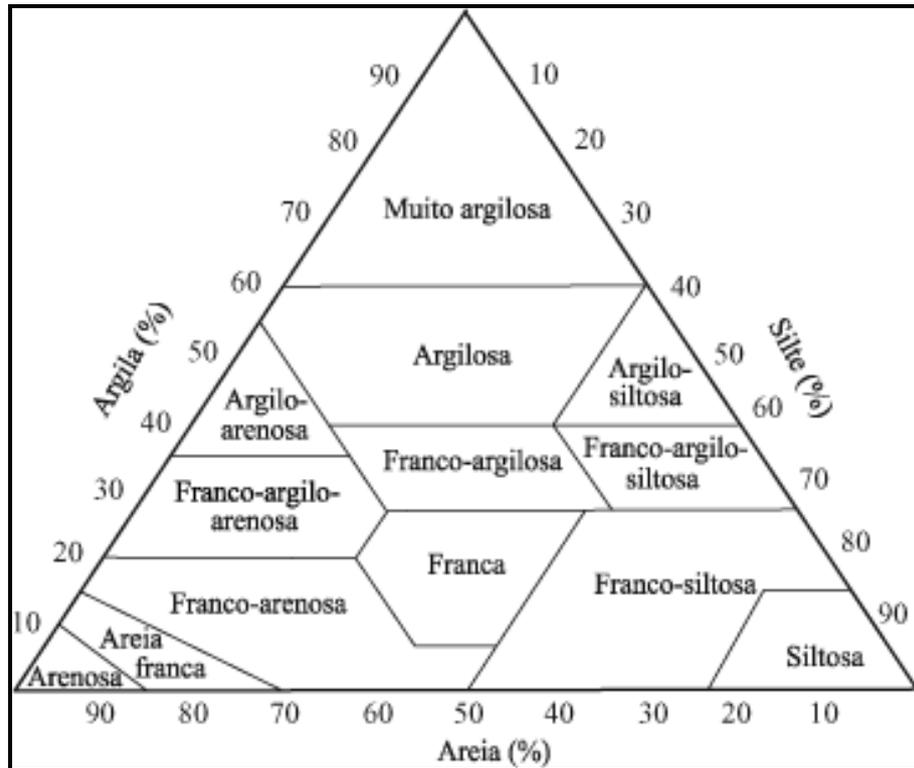
Fonte: EMBRAPA, 1997.

A argila foi determinada pelo método da pipeta, utilizando-se hidróxido de sódio como dispersante químico na solução. A areia foi determinada por tamisagem e o silte, subtraindo-se do total da alíquota as massas de argila e areia (EMBRAPA, 1997).

A técnica utilizada para análise textural foi realizada a partir dos parâmetros estabelecidos pela EMBRAPA (1997).

A classe textural das amostras de solos foram definidas utilizando-se o triângulo textural ou diagrama de classes texturais do United States Department of Agriculture (Figura 7).

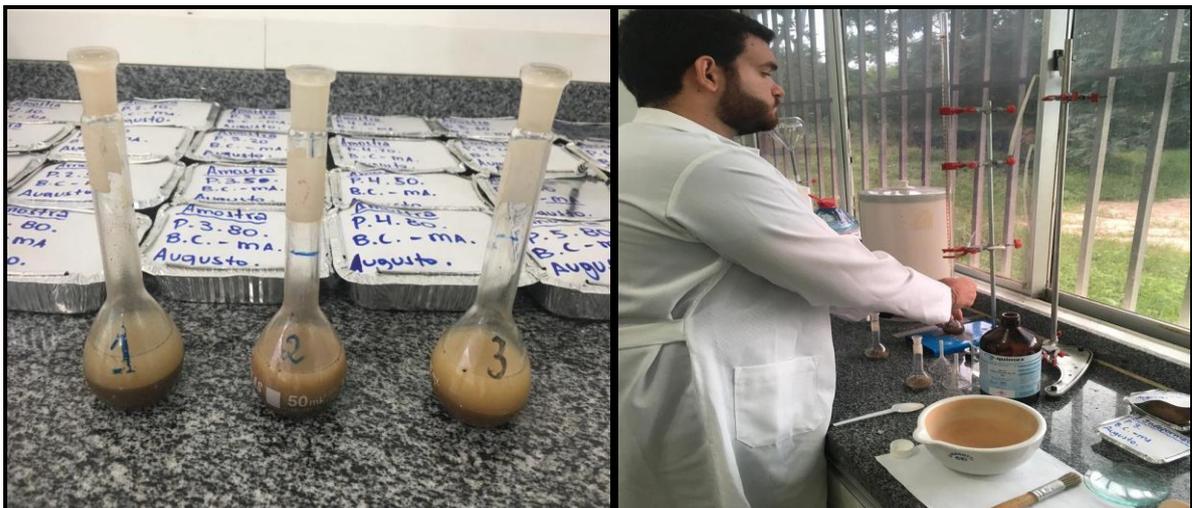
Figura 7 - Triângulo de classificação textural



Fonte: Hillel, 1980.

As amostras indeformadas foram analisadas de acordo com os parâmetros: densidade do solo, densidade de partículas e porosidade (Figura 8).

Figura 8 - Procedimentos para densidade do solo, densidade de partículas e porosidade



Fonte: Dados da pesquisa, 2018.

Segundo Lepsh (2011), a densidade do solo e a porosidade total são características que são bem relacionadas, visto que ambas são relações entre massas e volumes dos constituintes do solo. Ainda segundo este autor a densidade de partículas corresponde a média da densidade de todas as partículas do solo, sem considerar os espaços porosos. Esta independe da estrutura ou do nível de compactação do solo, visto que é uma função unicamente do tipo de partículas sólidas do solo, mas indiretamente é útil para indicações sobre a facilidade de penetração de raízes e armazenamento de água.

A densidade do solo ( $D_s$ ) é o parâmetro mais útil às aplicações práticas do solo, visto que inclui o espaço poroso, assim corresponde a massa do solo seco por volume. A densidade do solo baseia-se no volume ao natural como o horizonte encontra-se na natureza, levando em consideração os poros que podem estar ocupados pelas outras frações (ar/água), podendo variar no mesmo horizonte de determinado solo, pois depende da estrutura e compactação.

Determinou-se o volume do anel ou cilindro que contém a amostra. Posteriormente o conjunto foi pesado e transferido para lata de alumínio numerada e de peso conhecido. Colocou-se na estufa a  $105^{\circ}\text{C}$  e, após 24 e 48 horas, retirou-se e deixou-se esfriar para pesar.

$$D_s = a/b$$

Onde A, corresponde ao peso da amostra seca a  $105^{\circ}\text{C}$  (g) e B, corresponde ao volume do anel ou cilindro ( $\text{cm}^3$ ).

Para a determinação da densidade de partículas ( $D_p$ ) pesou-se 20g de solo, após colocado em lata de alumínio de peso conhecido, levou-se à estufa, deixou-se por 6 a 12 horas, após dessecado e pesado, a fim de se obter o peso da amostra seca a  $105^{\circ}\text{C}$ . Transferiu-se a amostra para balão aferido de 50ml. Adicionou-se álcool etílico. Prosseguiu-se com a operação, vagarosamente, até completar o volume do balão. Anotou-se o volume de álcool gasto. Utilizou-se a seguinte fórmula:

$$D_p = 20/V$$

Onde V, corresponde ao álcool gasto.

Após conhecidos os valores das densidades, foi aplicado o cálculo para encontrar o volume total dos poros em porcentagem EMBRAPA (1997). Os espaços entre e dentro dos agregados, ocupados pela água do solo ou pelo ar corresponde a porosidade.

A fórmula utilizada foi a seguinte:

$$\text{VTP} = \text{DR} - \text{DA} / \text{DR} \times 100$$

Onde VTP corresponde ao volume total de poros, DR é a densidade real e DA é a densidade aparente.

#### 4.3.2. Atributos químicos

As análises químicas realizadas foram: matéria orgânica (M.O), pH em CaCl<sub>2</sub>, teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na), alumínio (Al), hidrogênio (H). Foram ainda determinadas a soma de bases, a capacidade de troca catiônica (CTC) e a saturação por bases (V%).

Os cátions Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e Al<sup>3+</sup> foram extraídos com solução KCl 1 mol L<sup>-1</sup>. A extração do H+Al foi realizada com solução de acetato de cálcio 0,5 mol L<sup>-1</sup> a pH 7,0. Os elementos Na<sup>+</sup> e K<sup>+</sup> foram extraídos com solução de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125 mol L<sup>-1</sup> + HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup>. Os teores de Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> foram determinados por espectroscopia de absorção atômica; K<sup>+</sup> e Na<sup>+</sup> por fotometria de chama; Al<sup>3+</sup> e H por titulometria.

A matéria orgânica foi obtida por oxidação via úmida com dicromato de potássio em meio sulfúrico, empregando-se como fonte de energia o calor desprendido do ácido sulfúrico. O pH foi determinado por medição do potencial eletronicamente por meio do eletrodo combinado imerso em suspensão de solo, utilizando 10ml de solo, 25ml de CaCl<sub>2</sub> e um potenciômetro com eletrodo combinado.

A soma de bases resulta do somatório das bases trocáveis do solo, e foi calculada de acordo com a seguinte expressão:

$$\text{S} = \text{Ca} + \text{Mg} + \text{K} + \text{Na}$$

A capacidade de troca catiônica (CTC) resulta da soma de todos os cátions que o solo pode reter na superfície coloidal prontamente disponível à assimilação pelas plantas mais a acidez potencial. Estes cátions adsorvidos foram removidos por soluções salinas de amônio, cálcio, bário e soluções de ácidos diluídas e posteriormente determinados por métodos volumétricos, de emissão e absorção atômica. Foi calculada seguindo a seguinte fórmula:

$$T = S + H + AI$$

A saturação por bases (v%) foi calculada seguindo o cálculo padrão:

$$V = 100S/T$$

#### **4.3.3. Atributos morfológicos**

A morfologia é definida como as características visíveis de um solo em todas suas partes, tanto externas quanto internas (LEPSH, 2011). De acordo com Dalmolin (2006), as características morfológicas do solo são utilizadas sobretudo para compreensão da gênese, levantamento e classificação dos solos, mas também assumem papel importante no entendimento dos processos erosivos, uma vez que oferecem uma boa noção sobre o movimento de água no solo e a sua resistência.

As análises morfológicas foram realizadas de acordo com os seguintes parâmetros: cor, estrutura, consistência e textura (Figura 9). Para tais análises utilizou-se como base o Manual Técnico de Pedologia (2007).

Figura 9 - Análises morfológicas dos solos



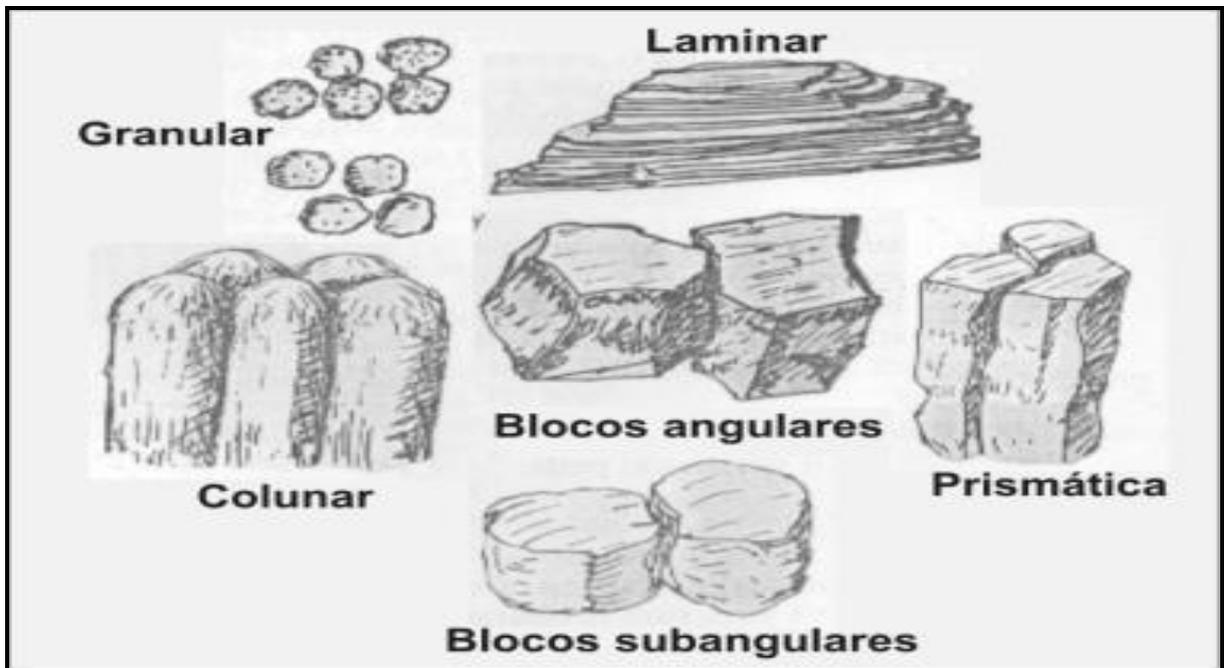
Fonte: Dados da pesquisa, 2018.

Segundo Lepsh (2011), a cor é um dos mais notáveis atributos morfológicos do solo. As várias tonalidades são essenciais para a delimitação dos horizontes e para o entendimento de diversos fatores pedogenéticos (SANTOS *et al.*, 2005). Apesar da cor não implicar diretamente no comportamento do solo, ela indica diversos atributos físicos, químicos e mineralógicos e condições ambientais específicas atuais e pretéritas (OLIVEIRA, 2008).

A cor foi determinada por comparação seguindo a Carta de Munsell, de acordo com os parâmetros de matiz, valor e croma. A estrutura refere-se às unidades naturais compostas pelas partículas primárias do solo, decorrente de processos pedogenéticos físico-químicos que as agrupam em unidades denominadas de agregados (LEPSH, 2011). É um atributo muito importante, uma vez que relaciona-se intimamente com a porosidade do solo condicionando fortemente a capacidade de retenção de água.

Estes agregados ou torrões são classificados, segundo Oliveira (2008) de acordo com o tipo de estrutura (granular, laminar, prismática, colunar, em blocos e maciça) (Figura 10); grau de desenvolvimento (sem agregação, fraca, moderada e forte) e tamanho.

Figura 10 - Tipos de estrutura dos solos



Fonte: SCHOENEGER, 2002.

Segundo Lepsh (2011), a consistência é o grau ou tipo de coesão e adesão entre as partículas e a resistência que o solo apresenta pra ser deformado ou rompido quando uma força lhe é aplicada. A consistência pode variar em função da textura, estrutura, agentes cimentantes e tipo de argila. Os parâmetros analisados foram: friabilidade (solta, muito friável, friável, firme, muito firme e extremamente firme), plasticidade (não plástica, ligeiramente plástica, plástica e muito plástica) e pegajosidade (não pegajosa, ligeiramente pegajosa, pegajosa e muito pegajosa).

Para avaliação da consistência, tentou-se esboroar entre o polegar e o indicador uma amostra que estivesse ligeiramente úmida. Para determinação de campo da plasticidade, rolou-se, depois de amassado, o material do solo entre o indicador e o polegar e observou-se se pode ser feito ou modelado um fio ou cilindro fino de solo, com cerca de 4 cm de comprimento. E para a pegajosidade a massa do solo quando molhada e homogeneizada foi comprimida entre o indicador e o polegar, e a aderência foi então observada.

A textura corresponde a distribuição das frações granulométricas do solo. O termo textura é empregado especificamente para a composição granulométrica da terra fina do solo, que corresponde a fração menor que 2mm de diâmetro.

#### **4.4. Elaboração de mapas temáticos**

Os mapas do município de Buriticupu (localização, geologia e solos) foram elaborados no *software* Arcgis 10.4. a partir de imagens de satélite (LANDSAT) e bases de dados do IBGE. Especificamente os mapas de hipsometria e declividade, foram gerados a partir dos dados TOPODATA, que apresentam melhor qualidade, utilizando o Arcgis 10.4 para processamento e geração dos mapas.

A expansão urbana foi analisada a partir de imagens de satélites, utilizando um espaço temporal de 30 anos, que permitiu a interpretação dos avanços da estrutura urbana e a relação com o surgimento e desenvolvimento das voçorocas.

Também foram obtidas imagens aéreas utilizando um Drone (DJI Phantom 4 Pro), equipado com sensor de 20 megapixels e com capacidade de imagens em 4K, o que possibilitou imagens de alta resolução e conseqüentemente uma análise mais adequada da área, além de fornecer uma maior noção da real dimensão da feição erosiva.

## **5. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **5.1. Características ambientais e condicionantes naturais dos processos erosivos por voçorocamento.**

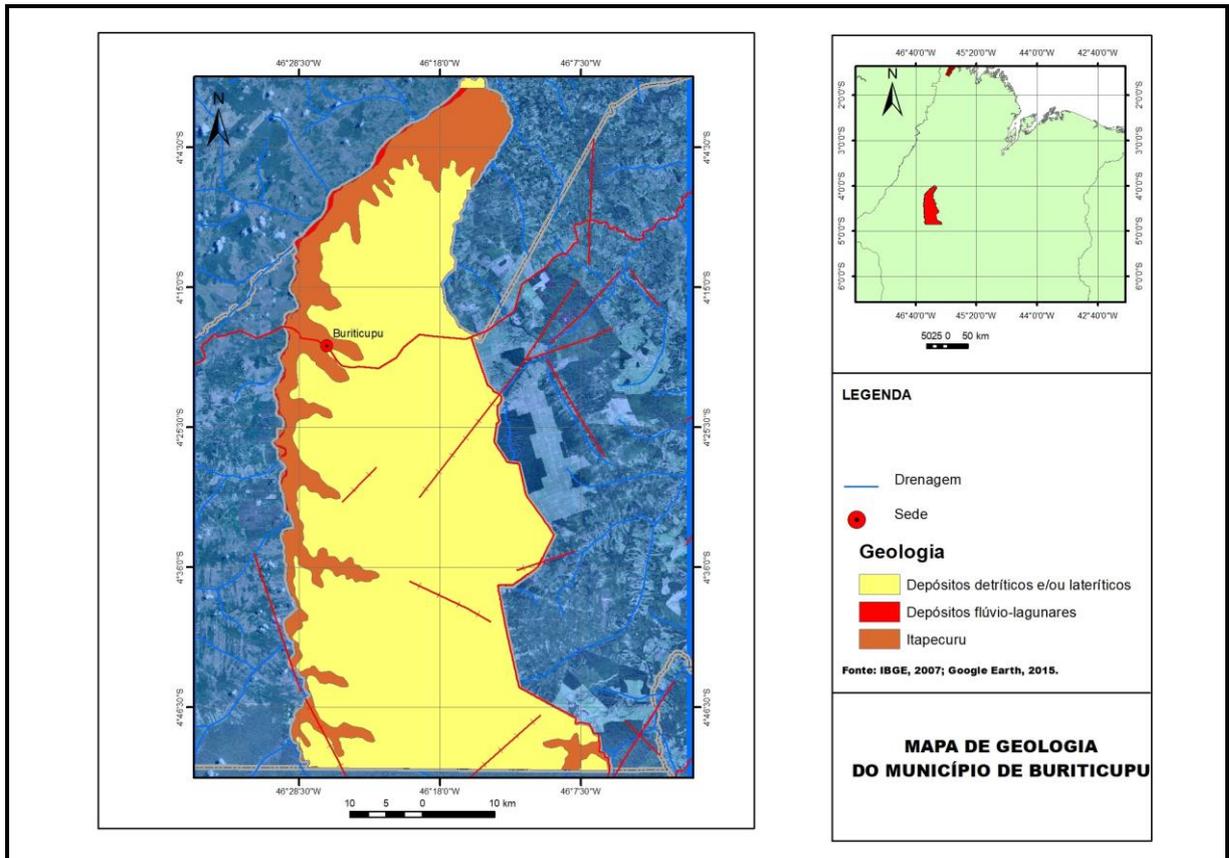
#### **5.1.1. Geologia**

A litologia pode influenciar o processo de erosão através das características mineralógicas e texturais das rochas existentes no substrato geológico de dada região, condicionando processos como a permeabilidade e a facilidade de carreamento de partículas soltas pelo intemperismo. A litologia influencia também na gênese de solos, cujas características herdadas da rocha-mãe podem deixar a cobertura pedológica mais suscetível à erosão.

O município de Buriticupu está inserido nos domínios da Bacia Sedimentar do Parnaíba, sobreposta aos os riftes cambroordovicianos de Jaibaras, Jaguarapi, Cococi/Rio Jucá, São Julião e São Raimundo Nonato. Compreende as supersequências Silurianas (Grupo Serra Grande), Devoniana (Grupo Canindé) e Carbonífero-Triássica (Grupo Balsas) (GÓES E FEIJÓ, 1994).

Na área do município, o Cretáceo está representado pela formação Itapecuru; o Terciário, pelos Depósitos Detrito-Lateríticos; o Quaternário, pelos Depósitos Flúvio-Lagunares (BRITO NEVES, 1998). (Figura 11).

Figura 11 - Mapa de geologia



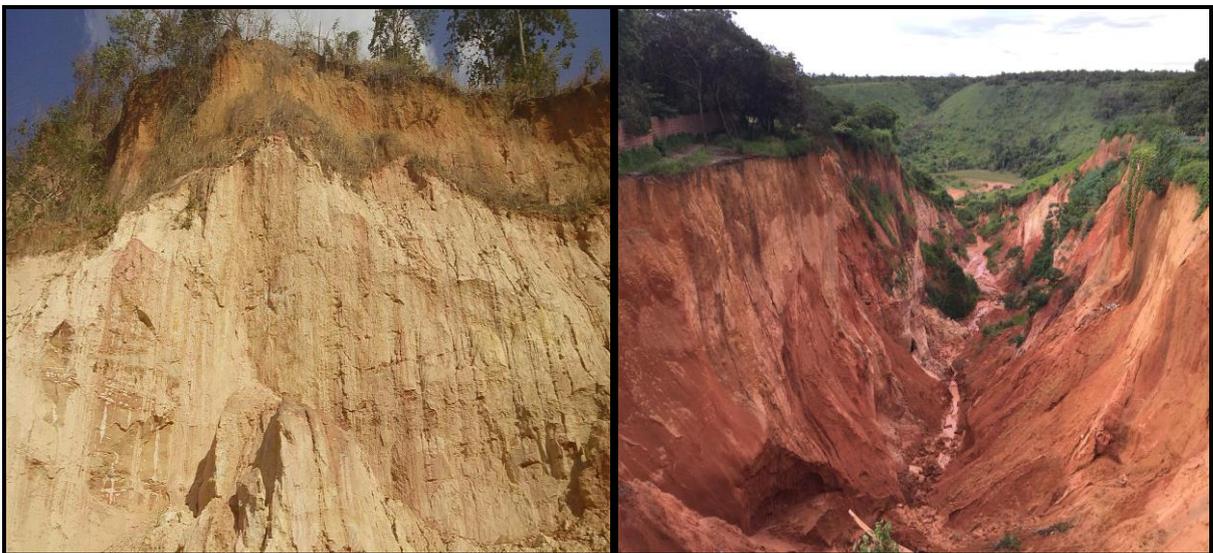
Campbell (1948) foi o primeiro a descrever a Formação Itapecuru, denominando-a de formação Serra Negra. Depois, passou a usar o termo Itapecuru, atribuindo a idade cretácea, posicionando-a, com discordância local, sobre a formação Codó.

Litologicamente, essa unidade consiste, no oeste e noroeste da bacia, de arenitos avermelhados, médios a grosseiros, com faixas conglomeráticas muito argilosas e intercalações de argilitos e siltitos, de coloração variegada. Seguem-se arenitos avermelhados e esbranquiçados, finos a médios, caulínicos, com estratificação cruzada de grande porte. Nas outras regiões, os arenitos são geralmente finos com faixas de arenitos médios. O contato inferior da unidade com as formações Codó e Grajaú é concordante, apresentando discordâncias locais (CPRM, 2011).

Os Depósitos Detrito-Lateríticas, litologicamente, são sedimentos semiconsolidados ou incoerentes, mal classificados, de matriz areno-argilosa, com seixos de quartzo, caulim e limonita dispersos. A coloração é amarelada ou

avermelhada, em decorrência da infiltração de óxidos de ferro. No contato com as rochas sotopostas, o material é mais grosseiro, às vezes conglomerático, com maior concentração de seixos de quartzo. As coberturas têm espessura variada, podendo atingir até 30 metros e apresentam-se como capeamentos de platô, encontradas nos mais diferentes níveis topográficos (GÓES; FEIJÓ, 1994). É a que tem maior expressão geográfica e aflora, praticamente, em todos os quadrantes do município de Buriticupu (Figura 12)

Figura 12 - Material de origem em alto grau de intemperização



Fonte: Dados da pesquisa, 2018.

Os Depósitos Sedimentares Flúvio-Lagunares são constituídos de areias e siltes argilosos, inconsolidados e semiconsolidados que ocorrem nas margens dos rios, com nível topográfico mais elevado do que os das planícies aluvionares atuais, sendo geralmente recobertos por vegetação e sua evolução está relacionada à dinâmica fluvial. Aflora em uma área situada no extremo norte estendendo-se para nordeste, ao longo da drenagem do rio Pindaré.

No banco de dados do Serviço Geológico do Brasil (CPRM), são identificados dois afloramentos de rocha na área urbana de Buriticupu. Tais afloramentos são caracterizados por arenitos com granulometria média, presença de seixos de 10cm de diâmetros, dentre outras características. Além deste, outros tipos de rochas também são identificados, como argilitos, siltitos e folhelhos.

Os arenitos, segundo Suguio (2003) são rochas formadas por fragmentos minerais quartzosos, logo geram solos com características semelhantes. Tais materiais são extremamente vulneráveis aos processos erosivos, devido sua textura, estrutura, permeabilidade, atributos químicos e biológicos.

Esse fato demonstra a fragilidade geotécnica dos mantos de intemperismo dos arenitos das formações Itapecuru e Ipixuna, quando esses regolitos estão situados em relevo acidentado de colinas e morros dissecados, como é o caso da área de estudo. Percebe-se, portanto, que a constituição geológica de Buriticupu apresenta grande vulnerabilidade à erosão, que associada aos demais fatores, configura-se como um importante condicionante dos voçorocamentos.

### **5.1.2. Atributos dos solos e correlações com os processos erosivos**

Dentre os atributos físicos do solo que mais estão relacionados com a erodibilidade, os que mais se destacam são: a granulometria, a densidade do solo, a taxa de infiltração, a resistência à penetração e a porosidade (CARNEIRO et al, 2009). De acordo com Bertoni e Lombardi Neto (1999) as características do solo, desenvolvidas durante o processo de pedogênese, tais como estrutura, textura, permeabilidade e consistência, além da cobertura do solo e as características do relevo, entre outras, conferem aos mesmos graus diferentes e variáveis de susceptibilidade aos processos erosivos.

Diferentes tipos de solo podem apresentar susceptibilidade diferenciada à erosão, mesmo para condições semelhantes de declividade, cobertura vegetal e práticas de manejo. Essas diferenças são devidas às propriedades ou atributos do próprio solo (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005). As propriedades do solo que mais influenciam a sua erodibilidade são aquelas que afetam a taxa de infiltração da água no solo, associada à sua resistência ao cisalhamento.

Dentre os atributos que influenciam a erodibilidade, assume maior importância a granulometria. Para Guerra (2006), apesar desta comprovada importância, as percentagens das frações de areia, silte e argila devem ser analisadas em conjunto com outras propriedades, pois a agregação dessas frações granulométricas é

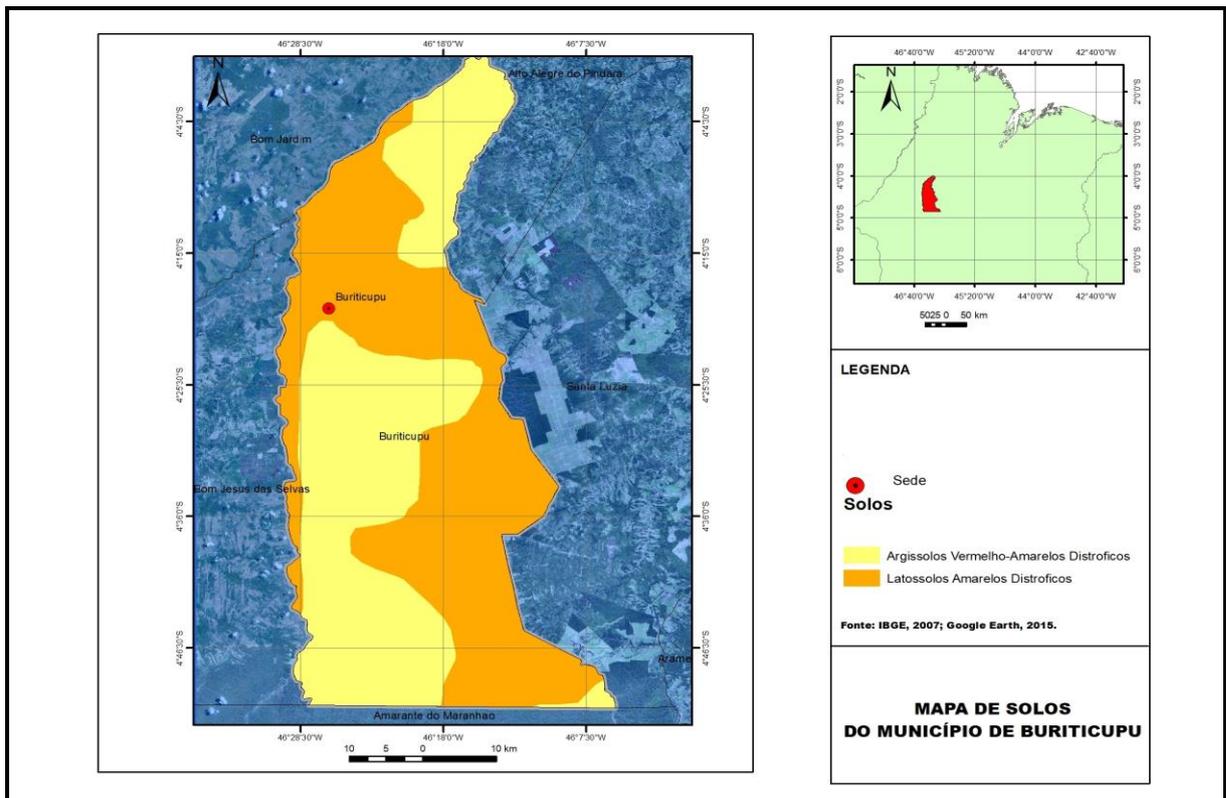
condicionada por outros elementos, como o teor de matéria orgânica e a natureza da argila.

Na literatura clássica observa-se que a qualidade estrutural dos solos está fortemente relacionada aos seus atributos específicos de caráter físico como, por exemplo, a granulometria, a densidade, o sistema poroso (macro e microporosidade), entre outros (BAVER, 1975; HUDSON, 1982).

Além das características físicas, os atributos químicos do solo também exercem grande influência na formação de agregados e conseqüentemente na maior ou menor erodibilidade. Atributos como: a matéria orgânica, o pH, a capacidade de troca catiônica (CTC), entre outros, são indicadores efetivos da qualidade do solo (RAIJ, 1991; RESENDE *et al.*, 1988).

No município de Buriticupu, observa-se principalmente nas últimas décadas, a presença e o agravamento dos processos erosivos. Na região, predominam os Argissolos Vermelho-Amarelos distróficos e Latossolos Amarelos distróficos, além de pequenas manchas de Gleissolos (BANDEIRA, 2013) derivados de materiais geológicos de origem sedimentar pouco consolidados e muito friáveis (Figura 13).

Figura 13 - Mapa de solos



Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Através das análises físicas e morfológicas foi possível perceber que os solos de Buriticupu, sobretudo nos primeiros horizontes, apresentam granulometria grosseira. Essa característica está intimamente ligada à erodibilidade, uma vez que define parcialmente a dificuldade ou facilidade de infiltração de água no perfil do solo. Já nas camadas mais internas há o predomínio da fração argila. Neste sentido existe um notável gradiente textural (forte disparidade textural entre os horizontes superficiais, com predomínio de areia, e os horizontes subsuperficiais, com predomínio da fração argila).

Apesar da textura grosseira, que em tese garantiria ao solo uma boa drenagem, em função das elevadas declividades do relevo local, do gradiente textural e da inadequada estrutura urbana, há um intenso escoamento superficial que favorece os processos erosivos.

Há também um intenso escoamento subsuperficial de água, que ocorre justamente pela característica mais impermeável da camada argilosa interna, que força a água a escoar lateralmente, formando dutos no solo. Tal fenômeno é apresentado por Fendrich (1997) denominado “erosão tubular interna retrogressiva”, sendo mais comumente conhecido como piping. O citado autor observa que tais dutos podem se desenvolver ao longo de centenas de metros de distância da voçoroca, enfraquecendo o solo e estabelecendo regiões de percolação preferencial.

É notável ainda uma grande participação da fração silte nas amostras (Quadro 02). Solos com alta porcentagem de silte apresentam elevada suscetibilidade à formação de encrostamento superficial, gerando diminuição da infiltração, favorecendo o escoamento superficial e conseqüentemente aumentando a erodibilidade. Segundo Guerra (1999) solos que apresentam grandes quantidades de silte e areia são os mais suscetíveis à erosão, ao contrário dos solos argilosos, que apresentam maior resistência.

Assim sendo, a textura exerce grande influência. Este grau de influência é dado pela dificuldade ou facilidade de drenagem da água no solo, que por sua vez ocorre principalmente por meio dos macroporos. Segundo Lepsch (2011), solos arenosos possuem estrutura em grãos simples, isto é, possuem baixo nível de agregação de partículas e, por isso, possuem elevada erodibilidade, sobretudo quando ocorrem em áreas de relevo ondulado com declividades acentuadas.

Quadro 2 - Granulometria dos solos

	Amostra	Areia Total (%)	Silte (%)	Argila (%)	Classe Textural
1	0 - 10 cm	45,1	33,3	21,6	Franca
	20 cm	40,3	35,2	24,5	Franco- Argilosa
	50 cm	33,2	30,5	36,3	Franco- Argilosa
	80 cm	31,6	30,2	38,2	Franco- Argilosa
2	0 - 10 cm	39,7	33,2	27,1	Franco- Argilosa
	20 cm	30,6	33,7	35,7	Franco- Argilosa
	50 cm	30,1	31	38,9	Franco- Argilosa
	80 cm	30,4	32	37,6	Franco- Argilosa
3	0 - 10 cm	36,3	41,9	21,8	Franco- Argilosa
	20 cm	30	33,7	36,3	Franco- Argilosa
	50 cm	24,7	32,3	43	Argila
	80 cm	28	30,5	41,5	Argila
4	0 - 10 cm	38,1	39,6	22,3	Franca
	20 cm	36,7	36,6	26,7	Franco- Argilosa
	50 cm	29,5	33,4	37,1	Franco- Argilosa
	80 cm	25,8	35,1	39,1	Franco- Argilosa
5	0 - 10 cm	41,9	38	20,1	Franca
	20 cm	43,4	37,1	19,5	Franca
	50 cm	41,8	34	24,2	Franca
	80 cm	35,7	33	31,3	Franco- Argilosa
6	0 - 10 cm	46,2	38,7	15,1	Franca
	20 cm	48,2	40,4	11,4	Franca
	50 cm	33,6	54,1	12,3	Franco- Argilosa
	80 cm	34,6	53,1	12,3	Franco- Argilosa
7	0 - 10 cm	33,6	47,9	18,5	Franca
	20 cm	32,6	45,4	22	Franca
	50 cm	26	49,5	24,5	Franco-siltosa
	80 cm	22,6	36,4	41	Argila
8	0 - 10 cm	27,8	56,9	15,3	Franco-siltosa
	20 cm	27,7	56,6	15,7	Franco-siltosa
	50 cm	26,1	58	15,9	Franco-siltosa
	80 cm	21,4	51,7	26,9	Franco-siltosa

Fonte: Dados da pesquisa, 2018.

Quadro 3 - Síntese dos resultados da granulometria

Variável (%)	Média	Mediana	Máximo	Mínimo
Areia	33,5	32,9	48,2	21,4
Silte	40,0	36,6	58	30,2
Argila	26,7	24,5	43	11,4

Fonte: Dados da pesquisa, 2018.

As amostras coletadas na parte mediana e inferior da vertente onde se localiza a voçoroca revelam as maiores quantidades de areia e silte, o que se explica pelo poder do escoamento de carrear os sedimentos mais grosseiros e menos consolidados para as áreas mais baixas. Já as amostras coletadas na parte mais alta revelam maiores teores de argila.

A densidade do solo ou densidade real é a relação entre peso e volume do solo em condições naturais. Essa propriedade está relacionada com a morfologia do solo e dependendo do uso e ocupação influencia na compactação, taxa de infiltração, porosidade, permeabilidade, o que confere sua importância nos estudos pedológicos. A densidade de partículas corresponde a média da densidade de todas as partículas do solo, sem considerar os espaços porosos, que é importante para analisar a penetração das raízes no solo e a capacidade de armazenamento de água.

Segundo Kiehl (1989) no Manual de Edafologia, os valores da densidade aparente de um solo comum variam entre 1,1 e 1,6 g/cm<sup>3</sup>. Especificamente com valores em torno de 1,2 a 1,4 g/cm<sup>3</sup> para solos arenosos, como os da área de estudo. Já os da densidade de partículas variam entre 2,3 e 2,9 g/cm<sup>3</sup>. A porosidade ideal deve superar os 50%.

Partindo dessa estimativa, quanto a densidade do solo, as amostras coletadas estão dentro padrão, apresentando uma média de 1,4 g/cm<sup>3</sup>. No entanto, analisando sem a estatística é perceptível a presença de valores superiores ao padrão, o que pode indicar processos de compactação dos solos. Com relação aos valores da densidade real, a média foi de 2,64 g/cm<sup>3</sup>, muito próxima do valor padrão de 2,6 g/cm<sup>3</sup> que representa um valor médio para solos minerais.

Já a porosidade total apresentou valores muito abaixo do padrão, com uma média de 42% e chegando individualmente a valores muito baixos, a exemplo do ponto 7, com 36%. A baixa porosidade associada aos valores máximos da densidade do solo indicam um processo de adensamento e compactação do solo, características estas que favorecem significativamente a diminuição da infiltração de água no solo e o aumento do escoamento superficial, o que favorece a ocorrência dos processos erosivos (Quadro 4).

Quadro 4 - Resultado das análises em amostras indeformadas

Amostras	Densidade do Solo	Densidade de partículas	Porosidade Total
	g/cm <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>	(%)
P1	1,4	2,5	44
P2	1,6	2,8	42
P3	1,4	2,7	40
P4	1,3	2,6	50
P5	1,6	2,7	40
P6	1,5	2,7	44
P7	1,6	2,5	36

Fonte: Dados da pesquisa, 2018.

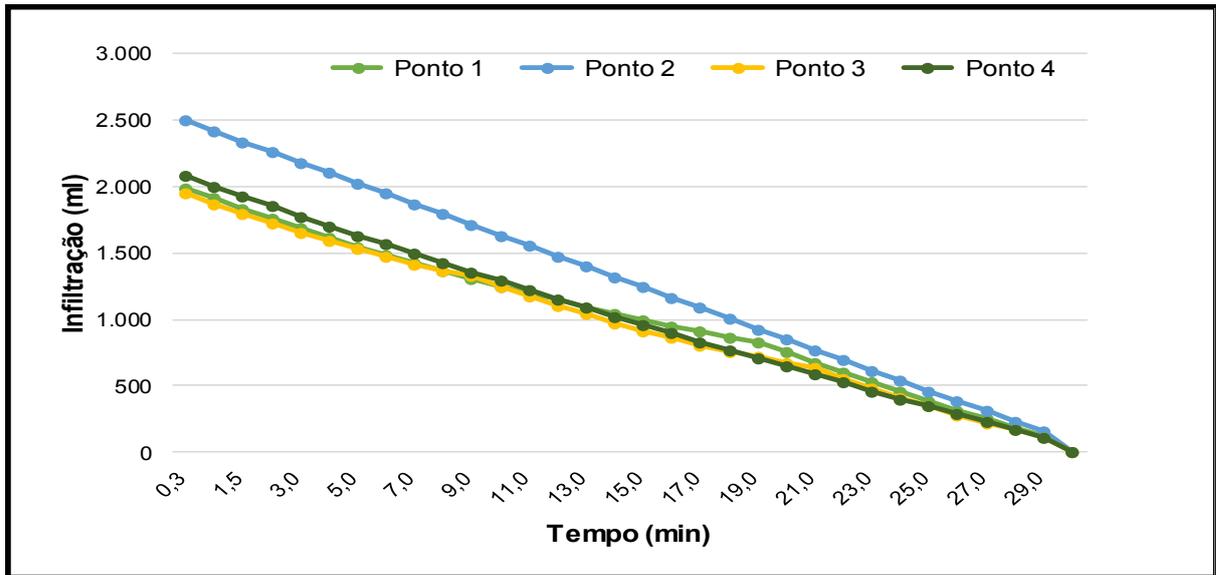
A infiltração de água no solo foi obtida pelos testes de infiltração. A infiltração de água no solo é o processo de entrada de água através da superfície do solo. Entre as propriedades físicas do solo, a infiltração é uma das mais importantes quando se estudam fenômenos que estão ligados ao movimento de água entre estes a infiltração e a redistribuição (CARVALLO, 2000).

O conhecimento da taxa de infiltração da água no solo é de fundamental importância para definir técnicas de conservação do solo, assim como também para planejar e delinear sistemas de irrigação e drenagem, bem como auxiliar na composição de uma imagem mais real da retenção da água e aeração no solo.

O processo de infiltração depende de diversos fatores. Rawls *et al.* (1996), sendo eles: os fatores ligados ao solo, que incluem a textura do solo, massa específica, teor de matéria orgânica, porosidade e tipo de argila, além da umidade, capacidade de retenção e a condutividade hidráulica.

As figuras 14 e 15 demonstram o comportamento da infiltração da água na área de estudo, a primeira no período chuvoso e a segunda no período seco.

Figura 14 - Resultados dos testes de infiltração (período chuvoso)



Fonte: Dados da pesquisa, 2018.

As curvas indicam uma alta velocidade de infiltração da água no solo durante os primeiros minutos do experimento, que diminui expressivamente conforme o tempo aumenta. Segundo Bernardo (1989), sob chuva ou irrigação contínua, a velocidade de infiltração se aproxima, gradualmente, de um valor mínimo e constante. Esse valor constante que a velocidade de infiltração atinge com o passar do tempo é conhecido por velocidade de infiltração básica (VIB).

Apesar de apresentarem uma boa capacidade de absorção, esta forte diminuição da velocidade de infiltração pode indicar uma relativamente rápida saturação do solo, que se explica primeiramente pela já alta umidade natural do solo, uma vez que os primeiros testes foram realizados no período chuvoso; pela presença de camadas impeditivas à livre circulação da água, no caso a camada argilosa subsuperficial e por processos de compactação do solo.

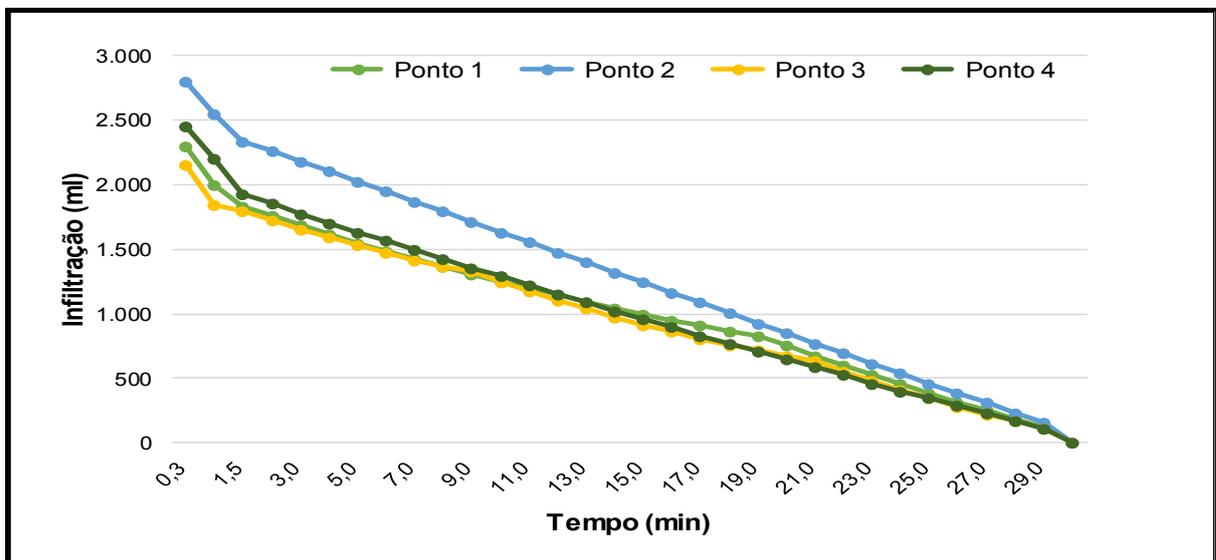
Levando em consideração tais características e a grande intensidade do período chuvoso nesta região, estes solos tornam-se muito suscetíveis à erosão, sobretudo quando atingem o estado de saturação, onde a água não mais infiltra, favorecendo o escoamento superficial e conseqüentemente a erosão.

As curvas de infiltração dos testes realizados no período seco indicam uma maior velocidade de infiltração e maior quantidade de água infiltrada (Figura 15).

Tais resultados estão de acordo com a situação do solo no período de estiagem: seco e com sua porosidade preenchida predominantemente por ar. Assim sendo, a água tende a ser absorvida de maneira mais rápida, favorecendo, portanto, a infiltração em detrimento do escoamento superficial, diminuindo consideravelmente os níveis de erosão.

Por conta desta conjuntura, dentre outros fatores, o período chuvoso corresponde justamente à época do ano que a voçoroca evolui de maneira mais rápida, em contrapartida, esta evolução é consideravelmente atenuada no período seco.

Figura 15 - Resultados dos testes de infiltração (período seco)



A morfologia do solo também influencia grandemente na sua erodibilidade, principalmente pelos atributos: cor, estrutura, consistência e textura. A cor permite inferir sobre a natureza constitutiva do solo e das condições químicas as quais os constituintes estiveram ou ainda estão submetidos. A estrutura influi diretamente sobre a dinâmica das águas, a porosidade do solo, a resistência e a atividade biológica. A consistência, através da friabilidade, plasticidade e pegajosidade, está diretamente ligada a textura dos solos e a atividade dos argilo-minerais. E a textura tem influência direta na taxa de infiltração de água, na aeração, na capacidade de retenção de água, na nutrição, como também na aderência ou força de coesão nas partículas do solo.

No parâmetro cor os solos analisados mostraram-se dentro da escala do amarelo, o que indica a participação dos óxidos de ferro, onde as cores amarelas ou bruno-amarelas dependem do teor de óxidos hidratados do mineral (goethita) e um intenso estágio de intemperização e lixiviação dos solos.

Quanto a estrutura os solos apresentaram estruturações em grãos e em blocos, sendo a primeira mais comum nos horizontes superficiais e a segunda nos internos. A estrutura predominantemente granular e em grão simples, com pouquíssima formação de agregados, conferem a estes solos maior vulnerabilidade à erosão. A consistência demonstrou uma elevada friabilidade nos primeiros centímetros dos solos, justamente os mais arenosos e maior firmeza conforme a profundidade aumenta; maior plasticidade e pegajosidade nos horizontes mais profundos, em decorrência da maior quantidade de argila. A textura, conforme já indicado, revelou-se mais arenosa nas camadas superficiais e mais argilosa nos horizontes subsuperficiais. (Quadro 05).

Quadro 5 - Síntese dos resultados das análises morfológicas

Profundidade	Cor	Estrutura	Consistência	Textura
10 cm	Bruno	Granular	Friável/Não plástica/ Não Pegajosa	Arenosa
20 cm	Bruno-Claro	Granular	Friável/Não plástica/ Não Pegajosa	Média
50 cm	Amarelo-Avermelhado	Blocos Subangulares	Firme/ Ligeiramente Plástica/ Ligeiramente Pegajosa	Argilosa
80 cm	Amarelo-Avermelhado	Blocos Subangulares	Firme/ Plástica/Pegajosa	Argilosa

Fonte: Dados da pesquisa, 2018.

Além dos atributos físicos e morfológicos, os atributos químicos da área de estudo exercem também grande influência na erodibilidade dos solos. Dentre estes atributos pode-se destacar: o pH, o conteúdo de matéria orgânica, a saturação por bases, a capacidade de troca catiônica, etc. No caso de Buriticupu os solos

caracterizam-se por serem fortemente ácidos (pH em torno de 5,0), com acidez potencial formada por uma pequena participação do alumínio e uma grande participação do hidrogênio (Quadro 06). A elevada acidez influencia na disponibilidade dos macro e micronutrientes, tendo como valor ideal a faixa de 6,5 (EMBRAPA, 1997).

O hidrogênio (H) caracteriza-se por ser um elemento dispersante, ou seja, que dificulta a formação de agregados no solo, já o alumínio (Al), por ser um elemento agregante, que facilita a formação de agregados e conseqüentemente possibilita a estruturação dos solos. O óxido de alumínio é um agente que contribui de maneira eficaz na estrutura do solo tropical, sendo, portanto, altamente benéfico (EMBRAPA, 1997). Diante disso pode-se afirmar que esta condição química contribui grandemente para uma alta erodibilidade da cobertura pedológica no município e especificamente da área de estudo. A marcante participação do hidrogênio (H) na acidez potencial dos solos indica um intenso estágio de intemperismo, uma baixa fertilidade e intensa exploração do solo pela vegetação.

Quadro 6 - Atributos químicos dos solos

Resultados analíticos do solo															
Identificação	Profundidade	MO	pH CaCl <sub>2</sub>	P	K	Ca	Mg	Na	SB	Al	H	CTC	Na/CTC	Al/Al+SB	V
	cm	g/dm <sup>3</sup>		mg/dm <sup>3</sup>	mmol/dm <sup>3</sup>									%	
P1	10	15	5	5	2,4	11	12	5,9	31,3	0	22	53,3	11,1	0,0	58,7
	80	7	4,2	1	2,3	0	8	5,4	15,7	7	17	39,7	13,6	30,8	39,5
P2	10	14	4,8	3	2,6	11	7	5,9	26,5	0	24	50,5	11,7	0,0	52,5
	80	6	4,2	1	2,6	2	13	5,9	23,5	11	14	48,5	12,2	31,9	48,5
P3	10	26	4,8	7	4,9	24	24	8,8	61,7	0	32	93,7	9,4	0	65,8
	80	5	4,7	1	2,9	8	7	6,1	24	2	17	43	14,2	7,7	55,8
P4	10	27	4,8	4	2	25	12	5,3	44,3	0	34	78,3	6,8	0,0	56,6
	80	10	5	1	1,8	12	11	4,9	29,7	0	18	47,7	10,3	0,0	62,3
P5	10	18	5,2	17	2,5	12	15	5,6	35,1	0	18	53,1	10,5	0,0	66,1
	80	7	5,6	1	1,9	11	11	4,5	28,4	0	12	40,4	11,1	0,0	70,3
P6	10	13	5,2	2	2,2	11	11	5,0	29,2	0	16	45,2	11,1	0,0	64,6
	80	7	5,4	0	1,8	7	12	4,6	25,4	0	13	38,4	12,0	0,0	66,1
P7	10	14	5,1	3	2,6	9	8	5,8	25,4	0	16	41,4	14,0	0,0	61,4
	80	5	5,4	7	1,8	8	13	4,5	27,3	0	12	39,3	11,5	0,0	69,5
P8	10	16	6,3	2	2,4	38	9	5,9	55,3	0	12	67,3	8,8	0,0	82,2
	80	6	6,5	16	2,3	19	5	5,9	32,2	0	10	42,2	14,0	0,0	76,3

Fonte: Dados da pesquisa, 2018.

Os solos da área de estudo, apresentam ainda: elevadas quantidades de sódio (Na), que assim como o hidrogênio (H) configura-se como um dispersante no solo; baixos valores de potássio (K) e fósforo (P), o que indica um intenso processo de lixiviação do solo, fato que dificulta a fixação de vegetação de espécies arbóreas, uma vez que demandam grande quantidade destes nutrientes; baixos teores de cálcio (Ca) e magnésio (Mg), fato este que além de limitante ao crescimento de plantas ainda reflete em uma não neutralização da acidez dos solos; baixos teores de matéria orgânica (M.O), junto com outros atributos, é responsável pela não formação de agregados; baixos valores de soma de bases (S.B) e baixos valores de capacidade de troca catiônica, configurando portanto solos distróficos (V% inferior a 50%).

Segundo Resende *et. al.* (1988), a quantidade de carbono orgânico no solo tem íntima relação com a erodibilidade. Em regra, quanto mais matéria orgânica, menor a suscetibilidade do solo à erosão, uma vez que a matéria orgânica é responsável por melhorias químicas e físicas-estruturais do solo. Portanto, a pouca quantidade de material orgânico nos solos de Buriticupu é uma importante causa da elevada erodibilidade, além das péssimas condições de fertilidade.

O baixo nível de matéria orgânica, principalmente em maior profundidade, se explica, em partes, pela presença marcante de uma cobertura do solo composta por vegetações secundárias arbustivas com baixa densidade, que não possui capacidade de fornecer uma grande quantidade e qualidade de matéria orgânica ao solo. Mesmo quando existe uma grande deposição de folhas e galhos na superfície do solo, geralmente no período chuvoso, não há um efetivo bloqueio da insolação, que por sua vez torna-se responsável pela rápida queima da matéria orgânica.

Devido ainda a acentuada declividade das áreas próximas às vertentes, o material orgânico é constantemente carregado para as áreas mais baixas por efeito da gravidade associada principalmente ao processo de escoamento superficial promovido pelas chuvas.

Segundo Lima *et. al.*, (2016) os atributos do complexo catiônico (CTC) e a saturação por base (V%) do solo também contribuem para melhorias das condições estruturais. Os baixos valores destes atributos também conferem aos solos de Buriticupu condições favoráveis à desagregação e ao aumento da erodibilidade.

### 5.1.3. Clima, erosividade das chuvas e influências nos processos erosivos

De acordo com Lal (1988, p. 150) a força dirigente dos agentes de erosão, os quais causam a desagregação das partículas do solo e posteriormente seu transporte, é chamada de erosividade. A erosividade da chuva é devida, parte ao impacto direto das gotas de chuva, e parte ao escoamento (principalmente superficial) que a chuva gera. A estabilidade estrutural do solo, que determinará sua resistência ao efeito desagregador das gotas de chuva, depende por sua vez de seus atributos químicos, físicos e mineralógicos.

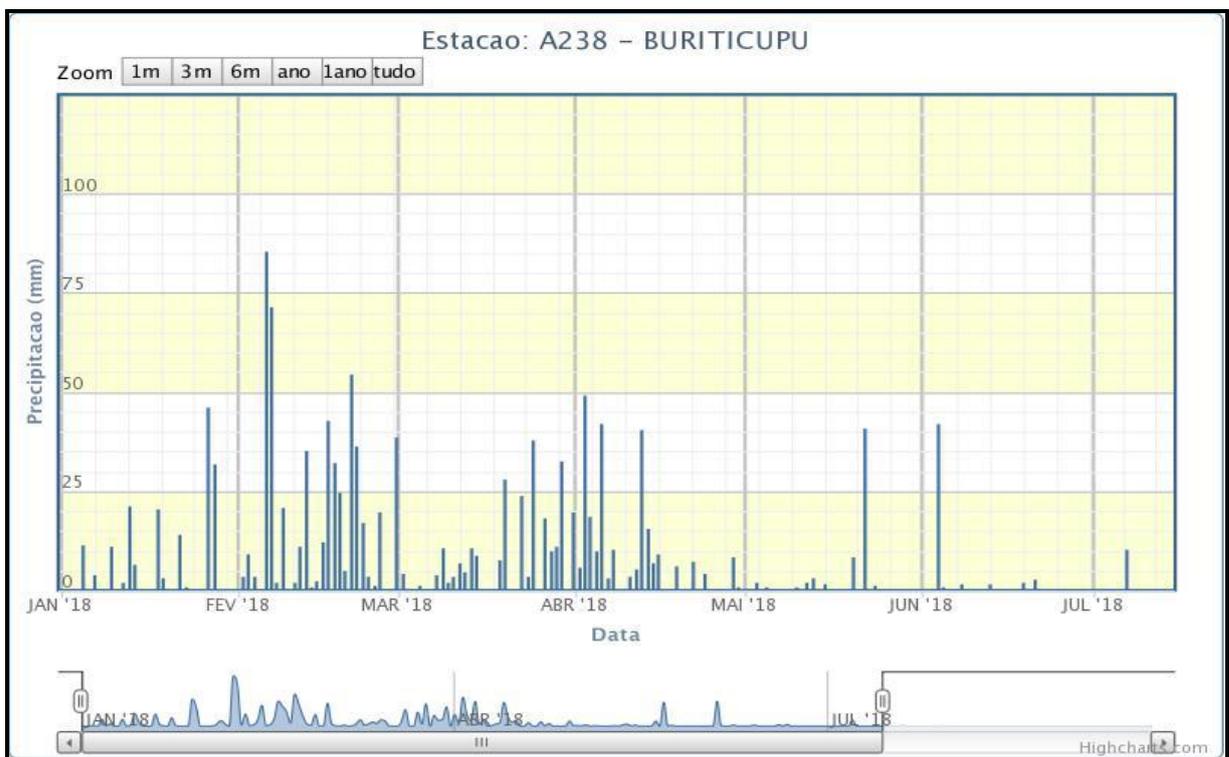
A capacidade da chuva causar erosão do solo é determinada principalmente pelo tamanho e distribuição dos pingos d'água. A erosividade de uma chuva é atribuída à sua energia cinética. A chuva é um dos elementos do clima de maior importância na erosão do solo, visto que a erosão hídrica é o tipo mais significativo desse fenômeno no Brasil (DECHEN, 2004). A energia cinética das gotas de chuva gera intensas forças de pressão e cisalhamento, localizadas no ponto de impacto, que podem desagregar grandes quantidades de partículas do solo (ELLISON, 1947; AL DURRAH; BRADFORD, 1982).

A energia cinética da chuva é um dos principais fatores condicionantes do processo de desagregação do solo (LAL, 1988, p.150). No instante em que as gotas da chuva atingem o solo, surge o *splash*, denominado também como erosão por salpicamento, que se trata de um estágio inicial do processo erosivo, em que as partículas que compõem o solo são preparadas para serem transportadas pelo escoamento superficial. Essa preparação se dá tanto pela ruptura dos agregados, como pela própria ação transportadora que o salpicamento provoca nas partículas (GUERRA; GUERRA, 2011).

Além de desagregar o solo, o salpicamento pelas gotas de chuvas promove um aumento do escoamento superficial, uma vez que os grãos mais finos, após o impacto da gota, se rearranjam formando uma camada endurecida (selamento superficial), diminuindo a porosidade nos primeiros centímetros do solo e conseqüentemente diminuindo a infiltração da água e favorecendo o escoamento. O *splash* pode variar em função da resistência do solo ao impacto das gotas da chuva e da energia cinética provocada por elas, que, em função de sua intensidade, como supracitado, provocarão a ruptura dos agregados.

De acordo com Guerra (2007), os processos erosivos causados pela chuva são comuns sobretudo na zona tropical, especialmente aquelas em que as chuvas concentram-se em certas estações do ano. O clima da região do município, segundo a classificação de Köppen, é tropical (AW) com dois períodos bem distintos: um chuvoso, de janeiro a junho, com médias mensais superiores a 213,9 mm, e outro seco, correspondente aos meses de julho a dezembro (Figura 16).

Figura 16 - Climograma do município de Buriticupu-MA



Fonte: INMET, 2018.

Comparando os índices pluviométricos médios mensais com os índices pluviométricos dos cinco primeiros meses de 2018, verificou-se que no mês de março choveu aproximadamente 200 mm além da média. Tais chuvas em excesso podem acelerar os processos erosivos, pois a precipitação supera a capacidade de infiltração do solo, a água se acumula na superfície e desce as encostas, removendo as partículas e formando as incisões no solo (sulcos erosivos), onde o fluxo começa a se concentrar formando as ravinas e voçorocas.

A mensuração das taxas de perdas de solo vem sendo o foco de pesquisa de vários cientistas pelo mundo. Uma das principais metodologias desenvolvidas foi a

Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS), nos Estados Unidos, que estima as perdas de solos levando em consideração cinco fatores: erosividade (fator R), erodibilidade (Fator K), relevo (fator topográfico LS), cobertura, manejo e práticas conservacionistas (Fator C).

A EUPS sofreu adaptações para ser validada na análise da perda de solos em outras áreas do planeta, sobretudo para as áreas tropicais, na qual o Brasil está inserido (SANTOS e MACEDO, 2018). Entretanto, há vários entraves no uso dessa metodologia, especialmente na estimativa da erosividade, dada a grande exigência de uso de dados consistentes de uma série temporal longa das chuvas, o que é pouco comum no Brasil e especialmente no estado do Maranhão.

Uma das principais adaptações foi realizada por Wischmeier e Smith (1958), usando como base para alcançar os resultados de erosividade, os valores de energia cinética da chuva multiplicada por sua intensidade máxima em 30 minutos. Segundo estes autores uma chuva longa e menos intensa pode ter o mesmo poder de erosão de uma chuva curta com maior intensidade. É essencial lembrar que a erosividade da chuva vai ser catalisada por diversos fatores, principalmente a condição de cobertura do solo, que vai oferecer uma maior ou menor área de contato entre as gotas da chuva e a superfície do solo.

Santos e Macedo (2018) calcularam a erosividade para toda a bacia do Mearim, onde está inserida a área de estudo, através da coleta de dados pluviométricos de 45 estações meteorológicas com uma série temporal de 30 anos. Para o cálculo da erosividade utilizaram como base a equação proposta por Lombardi Neto & Moldenhauer (1992):

$$EI = 68,730 (p^2/P)^{0,841}$$

Onde:

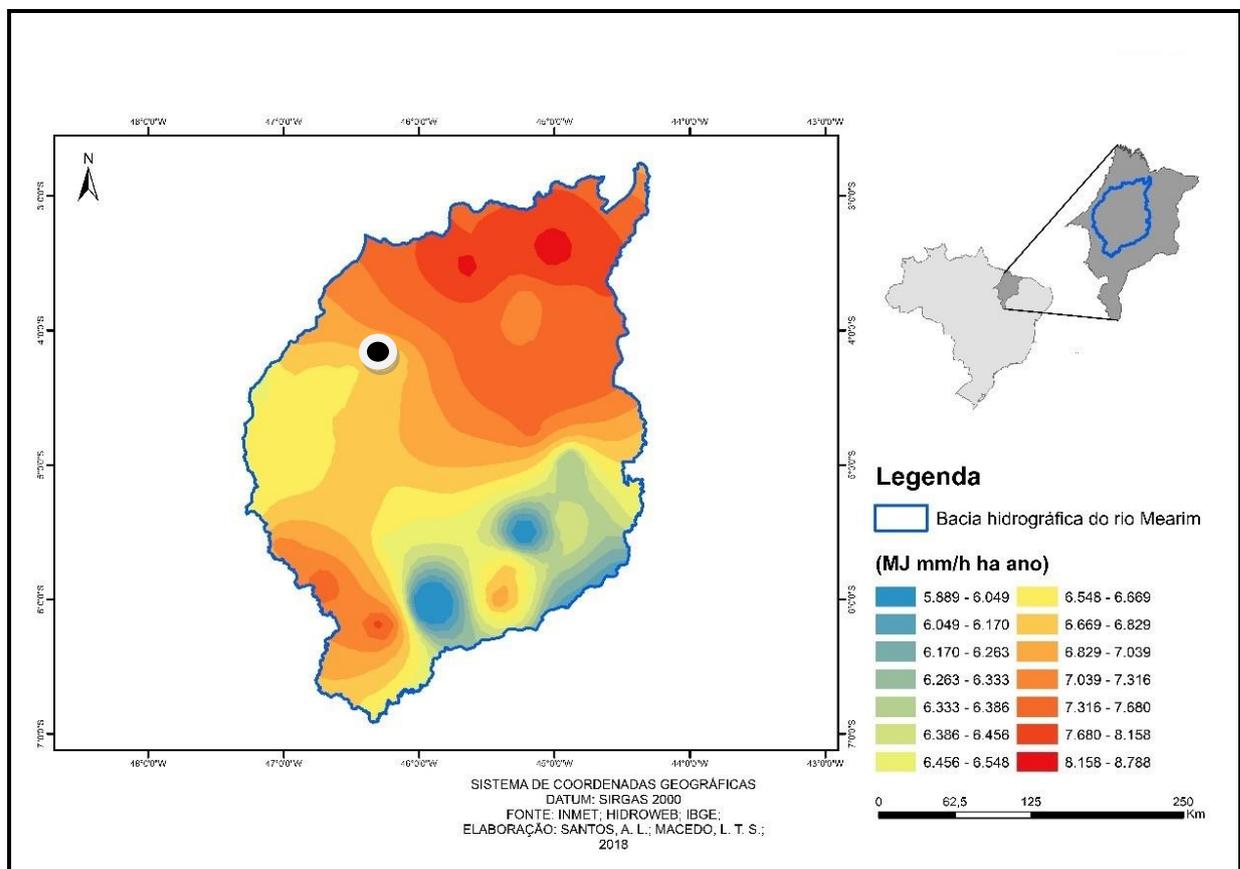
EI = média mensal do índice de erosão em MJ.mm/ha.h.ano;

p = precipitação média mensal em milímetro;

P = precipitação média anual em milímetro.

Para Buriticupu, observou-se os dados da estação 446004 (coordenadas: 4,304167 S /-46,493611 W). Utilizando da mesma metodologia foi possível obter um resultado médio para a erosividade das chuvas na área de estudo: Erosividade 6.846. Considerando que em toda a bacia o maior valor encontrado foi de 9.618 (estação de Vitorino Freire) e o menor de 3.930, a erosividade em Buriticupu pode ser considerada mediana (Figura 17).

Figura 17 - Erosividade na Bacia do Mearim-MA



Fonte: SANTOS, A. L. e MACEDO, L. T. S. (2018)

Segundo Santos e Macedo (2018) alguns municípios desta bacia são reconhecidos pela gravidade de seus problemas com erosão, tais como Buriticupu e Bom Jesus das Selvas. Os resultados encontrados indicam que tais municípios encontram-se localizados em categorias com índice de erosividade mediano, portanto a ocorrência dos vigorosos processos erosivos nesta região não têm como causa somente a erosividade das chuvas, mas sim ela associada aos outros fatores

como: geologia, características dos solos, relevo, vegetação e uso e ocupação do território.

Uma vez que, como já demonstrado, Buriticupu possui uma geologia formada por materiais friáveis e solos que naturalmente possuem elevada erodibilidade, a erosividade das chuvas nesta localidade, sobretudo em anos com chuvas acima da média como 2018, configura-se como elemento de grande importância no favorecimento dos processos erosivos por voçorocamento.

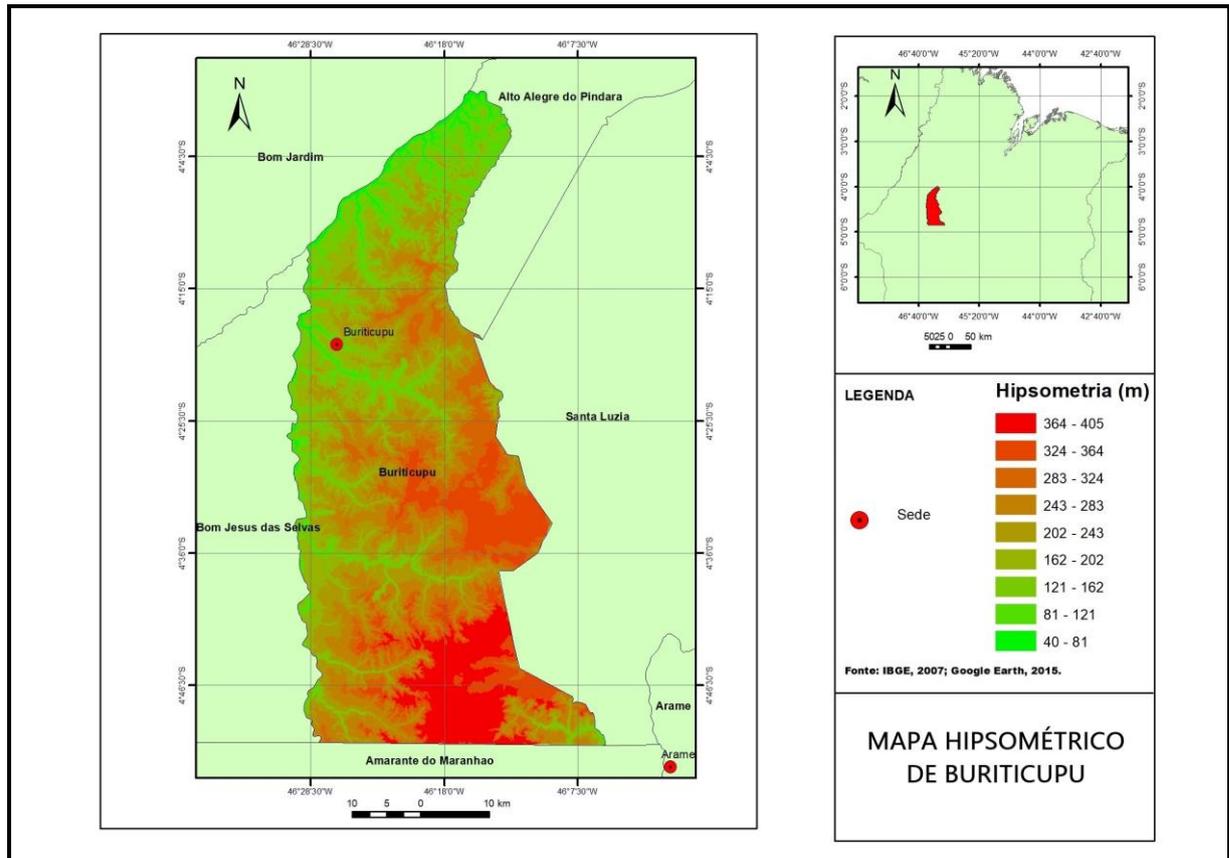
#### **5.1.4. Relevo da área e contribuição à erosão**

O município de Buriticupu encontra-se situado em uma das últimas ramificações da Serra do Gurupi, no sentido norte. Para Bandeira (2013) Buriticupu está inserido no domínio do Planalto Dissecado Gurupi-Grajaú, ocupando o setor centro-ocidental do estado do Maranhão e representado por um conjunto de superfícies tabulares elevadas por epirogênese e bruscamente delimitadas em rebordos erosivos, por onde se encaixam vales incisos e aprofundados.

O relevo da região apresenta-se em forma de um grande tabuleiro, separado por vales na direção norte-sul, com altitudes médias de 200m com superfície que varia de plana a fortemente ondulada (COSTA, 2015). As extremidades do tabuleiro apresentam vertentes circunjacentes fortemente entalhadas, que, devido ao recuo progressivo dos declivosos rebordos erosivos vêm destruindo as baixas superfícies planálticas (BANDEIRA, 2013).

Apresenta ainda morros e colinas dissecadas. Segundo Marçal e Guerra (2003), o relevo de colinas amplas ou aplainado, embutido entre os baixos platôs, consiste na zona mais desmatada e suscetível à ocorrência de processos erosivos em escala regional.

Figura 18 - Mapa hipsométrico de Buriticupu



Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Geomorfologicamente é um cenário marcado por uma superfície soerguida recentemente durante o Neógeno, tendo em vista a deposição de coberturas terciárias revestindo o topo desses planaltos. Atualmente, essas superfícies são fortemente dissecadas, denunciando um processo enérgico de erosão fluvial em escala regional por meio da incisão vertical dos canais-tronco e reajuste do sistema de drenagem ao nível de base local rebaixado (BANDEIRA, 2013.)

O relevo tem íntima relação com os atributos dos solos, podendo influenciar na parte física, principalmente: na granulometria, na porosidade total e na estrutura do solo, e na parte química: no conteúdo de matéria orgânica, no pH, na capacidade de troca catiônica (CTC) e na soma de bases (S.B).

O estudo das relações entre os atributos do solo e geomorfologia, ao se utilizar a análise da paisagem e do estudo de toposseqüências, possibilita relacionar a variabilidade espacial de atributos dos solos com mais variados compartimentos do relevo. Campos *et al.* (2009) e Siqueira *et al.* (2010) citam que o relevo pode ser

considerado um agente integrador que expressa a interação de vários atributos do solo; assim sendo, observa-se que o relevo exerce influência direta nos atributos do solo.

Os solos de Buriticupu demonstraram intensa relação entre seus atributos e a posição no relevo, que ao interferir, por exemplo, na intensidade e direção do fluxo de água, condicionam as dinâmicas de renovação do solo, a profundidade, a cor dos solos, a textura, os processos de lixiviação das bases, a elevada acidez potencial, os baixos teores de matéria orgânica, dentre outros.

O relevo também é um fator muito importante na determinação da erodibilidade dos solos, ou seja, ele é determinante no tipo, origem e intensidade dos processos erosivos. Conforme Govers (1987), a erosão por ravinas, uma vez tendo sido gerado escoamento superficial, é controlada pela topografia, embora a relação entre a intensidade da erosão, a declividade do terreno e o comprimento da encosta seja variável. Já a formação das voçorocas não é determinada unicamente pela constituição do perfil de solo, mas também por um importante aporte de água proveniente de montante. Por isso, a vulnerabilidade de um perfil de solo depende da sua posição na topografia.

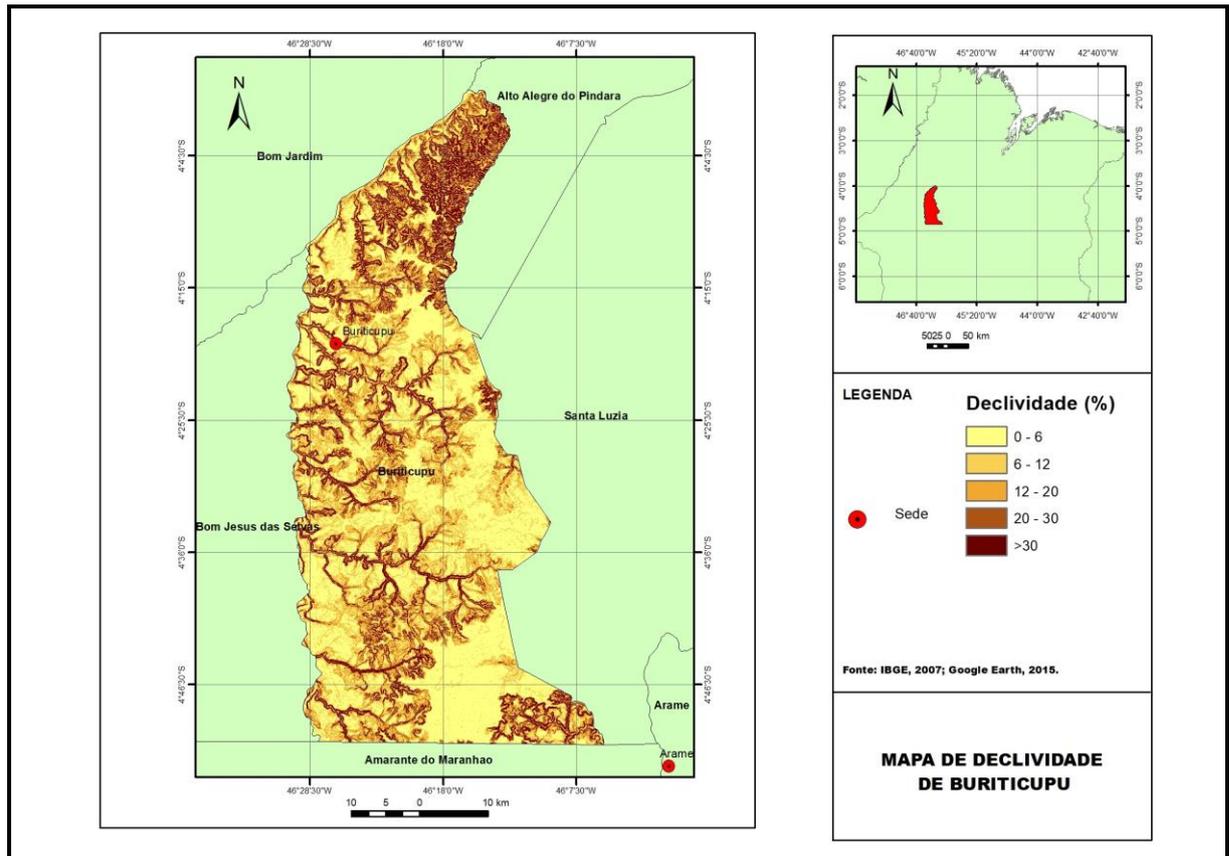
Segundo Vieira (1988), a variação de topografia dá origem a sequências de perfis diferenciados, no entanto geneticamente ligados entre si, uma vez que os solos formados nas partes altas, médias e baixas de uma encosta diferem-se constantemente de maneira significativa.

Nas partes mais altas do relevo os solos mantêm forte ligação com o material de origem, já que não são sujeitos às influências mineralógicas, físicas e químicas de sedimentos e elementos provenientes de outros locais. Nas encostas, geralmente formam-se solos marcados pela mistura de fragmentos das rochas adjacentes. Já nas áreas mais rebaixadas, como nos vales, formam-se solos tipicamente de acumulação sucessiva de sedimentos depositados ao longo do tempo advindos de porções mais elevadas do relevo.

Naturalmente, as maiores velocidades nos processos erosivos ocorrem em áreas de relevo ondulado a fortemente ondulado (altas declividades), já nas áreas de relevo relativamente plano, devido a uma menor declividade do terreno, em geral os processos erosivos ocorrem de maneira mais amena. Neste sentido, a influência topográfica na erosão deve ser analisada basicamente através de três variáveis: a declividade, o comprimento da rampa e a forma da vertente.

Além da voçoroca Santos Dumont, todas as outras voçorocas existentes na zona urbana de Buriticupu estão localizadas em áreas com elevadas declividades. Este fato indica uma forte relação entre a ocorrência destes processos erosivos e a declividade do terreno.

Figura 19 - Mapa de declividade de Buriticupu



Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

A inclinação do terreno é avaliada através da declividade das encostas por meio de cartas de declividade, softwares ou mesmo no campo. A declividade é de grande importância no condicionamento dos processos erosivos, pois ela determina inicialmente a profundidade dos solos, a fixação de vegetação, a energia cinética da água e a ação da gravidade.

Conforme aponta Guerra (1999) encostas com 30% de declividade apresentam as maiores taxas de erosão. A vertente analisada apresentou declividades entre 13% e 30% (Figura 20). Estes valores indicam uma declividade relativamente acentuada, e que, quando analisada junto aos outros fatores

geomorfológicos determinantes na erosão, torna-se muito mais significativa no incremento dos processos erosivos.

Figura 20 - Perfil topográfico da vertente



Fonte: Google Earth Pro, 2018.

O comprimento da rampa pode ser definido como a distância entre os pontos de maior e menor cota altimétrica do perfil longitudinal da encosta, e também configura-se como fator importante no processo erosivo, uma vez que determina a energia cinética da água, ou seja, quanto maior for a rampa, maior será a velocidade do fluxo de água e maior será a sua capacidade de causar erosão.

Ao analisar a importância do comprimento de rampa nos processos erosivos, Bertoni e Lombardi Neto (2005) afirmam que um terreno de 20 metros de comprimento e 20% de declividade tem a mesma perda de solo que um terreno com 120 metros de comprimento e 1% de declividade.

Uma análise mais detalhada da paisagem revela que os processos erosivos tendem a ser maiores nos terrenos mais declivosos (ALVARENGA; SOUZA, 1997). Poucos são os que se preocupam com o comprimento da rampa. E, em princípio, quanto maior o comprimento da rampa, maior a enxurrada, e uma maior energia resultante, que se traduz por uma erosão maior (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1999). Portanto, quanto maior o comprimento da encosta, maior será a perda de solos por unidade de superfície (Quadro 07).

Quadro 7 - Relação entre perdas de solos e comprimento da vertente

Comprimento da encosta (metros)	Perda relativa de solos por unidade de superfície (toneladas métricas)
0-23	0,91
23-46	1,65
46-69	2,13
69-92	2,52

Fonte: Smith e Wischmeier (1960).

Considerando esta estimativa e que a encosta em análise possui aproximadamente 420 metros (Figura 21) percebe-se a enorme quantidade de solo perdido, possivelmente chegando a superar 4 toneladas por unidade de superfície. No entanto para tornar esse dado mais preciso deve-se analisar as outras características da geomorfologia, assim como a cobertura vegetal e as características do solo.

Figura 21 - Dimensões da voçoroca do bairro Santos Dumont e indicação da área de risco

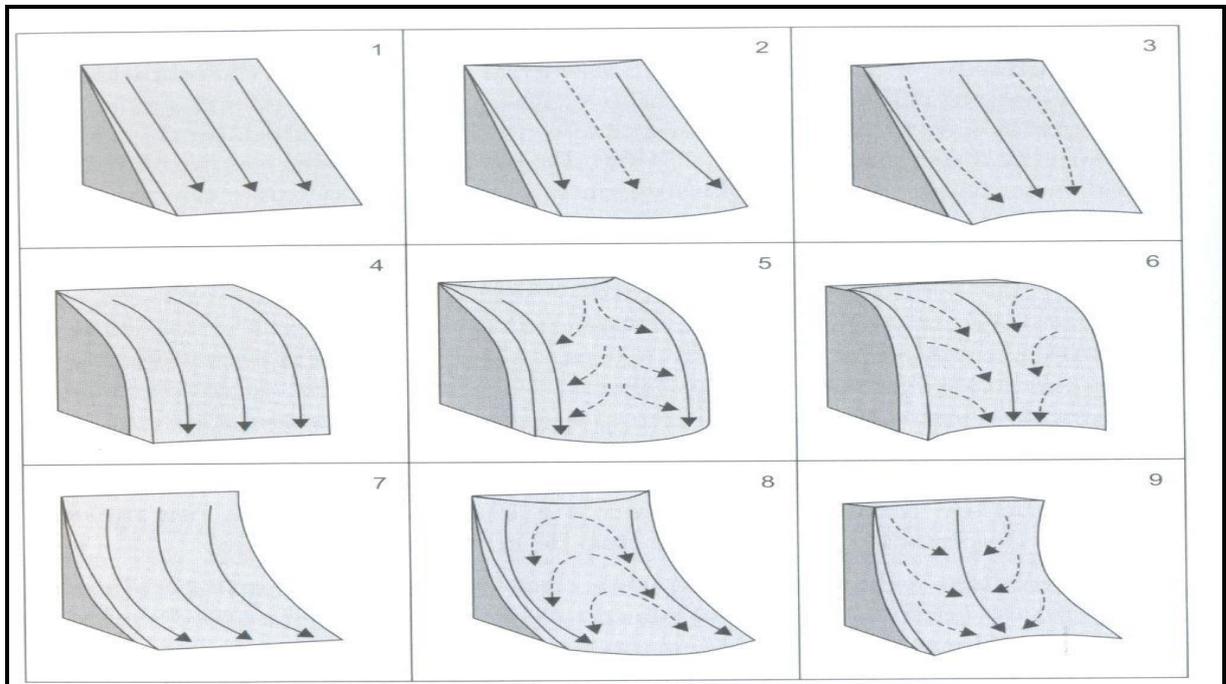


Fonte: CPRM, 2018.

A forma da encosta também é de extrema importância no condicionamento da erosão, uma vez que ela determina a direção do fluxo de água, possibilitando o fluxo concentrado ou o fluxo difuso (Figura 22). De acordo com Oliveira (1972), as formas da superfície influenciam a dinâmica da água, tanto no sentido vertical (infiltração), quanto no sentido lateral (escoamento superficial), como também a temperatura e radiações que atingem os solos, devido a altitude e exposição da vertente aos raios

solares. Vários outros trabalhos enfatizam a importância da compreensão desta variável (FULLEN e CATT, 2004; GUERRA, 2007; GUERRA e MENDONÇA, 2007).

Figura 22 - Geometria e declividades em encostas retilínea, convexa e côncava



Fonte: SILVA; SCHULZ; CAMARGO, 2004.

As formas convexas em regal geram o escoamento difuso de água, favorecendo a erosão do tipo laminar ou em entressulcos, já as formas côncavas geram fluxo de água concentrado, seguindo caminhos preferenciais no relevo, favorecendo a erosão linear ou em sulco.

Em Buriticupu percebe-se que o relevo, nas bordas do platô, apresenta alta declividade, extenso comprimento de encosta e formas predominantemente côncavas, condições importantes para o aumento da energia cinética da água e conseqüentemente do seu poder de erosão, tendo como uma das conseqüências o assoreamento do rio Buriticupu (Figura 23).

Figura 23 - Relevo com alta declividade, extenso comprimento de rampa e forma côncava



Fonte: Dados da pesquisa, 2018.

Diante disso, geomorfologicamente existem condições ideais para o desenvolvimento de intensos processos erosivos, causados pela concentração do escoamento superficial, gerando as feições denominadas voçorocas, o que condiz exatamente com a condição atual do município e especificamente com a área de estudo.

## **5.2. Evolução do espaço urbano de Buriticupu e condicionantes antrópicos dos processos erosivos**

### **5.2.1. Expansão da área urbana do município de Buriticupu-MA**

Buriticupu teve sua origem vinculada à criação de um projeto de colonização do governo maranhense aprovado em fins de 1971, tendo sido elevado à categoria de município pela Lei Estadual nº 6162, de 10/11/1994, mediante desmembramento de Santa Luzia (IBGE, 2015). É válido lembrar que, mesmo antes dos colonizadores chegarem à região, várias nações indígenas ali habitavam, sobrevivendo dos recursos naturais disponíveis na floresta tipicamente amazônica (LIMA JÚNIOR, 2016, p. 10).

A primeira área habitada foi às margens do rio que deu nome ao município, Rio Buriticupu, pois em suas matas ciliares havia uma abundância de buriti (*Mauritia Flexuosa*) e cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*, família Sterculiaceae). No entanto, diante da insuficiência de espaço para o crescimento, os responsáveis pela implantação do projeto saíram em busca de uma nova área com condições favoráveis a implantação e desenvolvimento do tão desejado projeto, o platô foi o local escolhido pelo administrador Dr. Boileau Dantas Vanderley Filho para dar início à implantação do Núcleo I, agrovila que posteriormente daria a origem à sede municipal de Buriticupu (AGUIAR, 2002).

A própria história de colonização de Buriticupu teve por muitos anos muito relacionada à extração madeireira, que foi importante para a edificação das primeiras casas e se configurou como a principal atividade econômica da região, o que acarretou na supressão de grande parte da cobertura vegetal original e consequentemente deixando expostos aos intensos processos erosivos os solos locais.

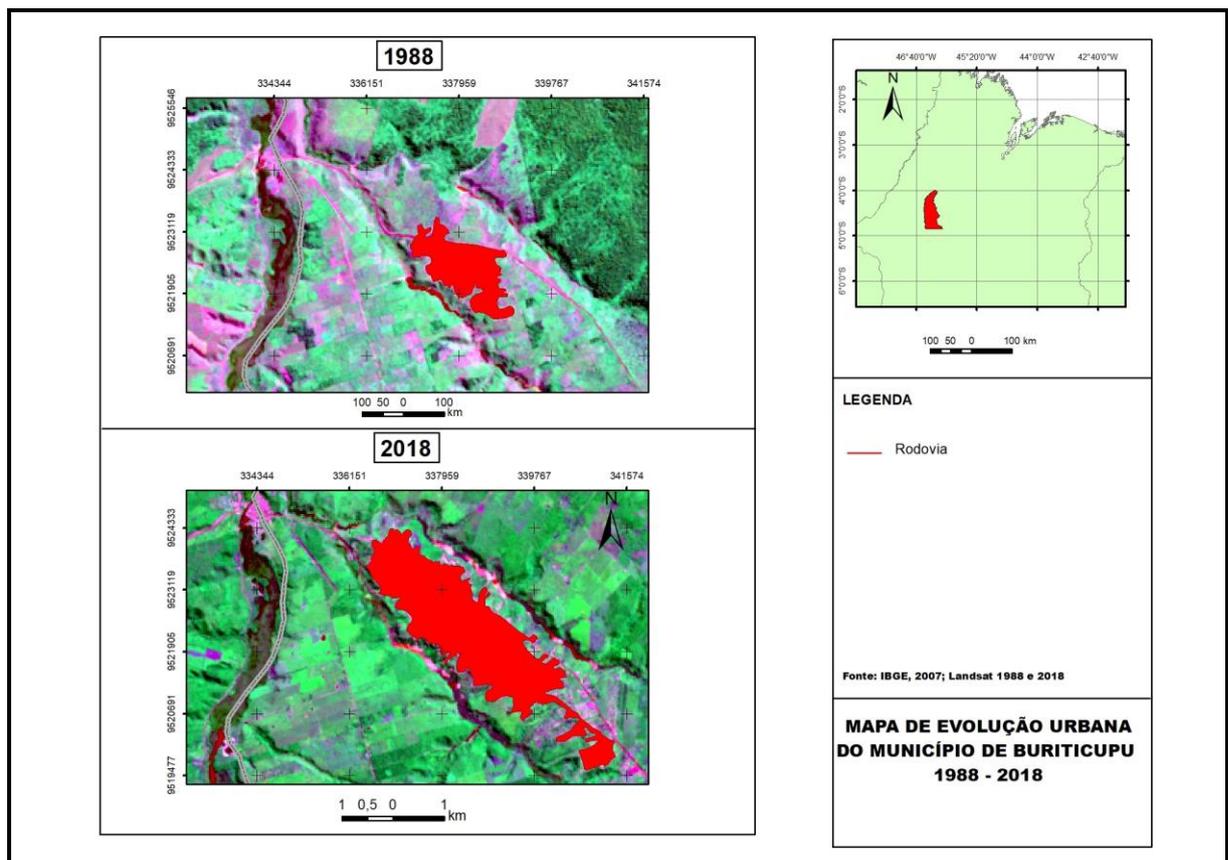
Atualmente o setor industrial em Buriticupu está fortemente vinculado ao extrativismo vegetal, sendo composta por carvoarias para a indústria siderúrgica localizada em seu entorno, serrarias e fábrica de móveis. Tal fato demonstra ainda um intenso uso dos recursos vegetais e consequentemente altas taxas de desmatamento.

Segundo Rodrigues e Gouveia (2014) a retirada da cobertura vegetal é, comumente, a primeira intervenção antrópica, implicando em fortes mudanças nos

tipos de fluxos de circulação hídrica e no balanço morfodinâmico. A ausência da vegetação diminui a infiltração de água no solo, diminui a evapotranspiração e reduz a recarga dos lençóis freáticos, o que implica em maior escoamento, erosão, assoreamento dos canais fluviais e ocorrência de transbordamentos.

Nas últimas décadas, a população municipal de Buriticupu tem crescido rapidamente e se tornado cada vez mais urbana. Segundo dados do IBGE (2015), no ano de 2000 o município possuía 51.059 habitantes, dos quais 26.017 moravam na zona urbana e 25.042 na zona rural; enquanto que em 2010, a população total era de 65.237, dos quais 35.789 pessoas habitavam a zona urbana e 28.448, a zona rural. Segundo Lima Júnior (2016, p.10) tal dinâmica populacional favoreceu o crescimento da cidade, que por sua vez ocorreu, em alguns casos, sem planejamento adequado.

Figura 24 - Expansão da área urbana de Buriticupu



Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Tomando por base um espaço temporal de trinta anos, especialmente a área urbana de Buriticupu teve uma mudança de aproximadamente 1,79 km<sup>2</sup> no ano de 1988, para aproximadamente 5,92 km<sup>2</sup> em 2018. A sede municipal teve, portanto, seu tamanho praticamente triplicado ao longo de três décadas.

Como comumente pode-se observar no ambiente urbano, Buriticupu também revela processos de segregação espacial. A parte central da cidade, onde localizam-se os principais órgãos públicos, os bairros com população de faixa de renda maior, comércios e outros aparelhos urbanos importantes é justamente a área mais valorizada, não coincidentemente a menos vulnerável à erosão, pela localização no centro do platô. Já as áreas periféricas, menos valorizadas, localizam-se nas bordas do platô, em áreas com declividades acentuadas e precárias condições urbanas, sendo uma delas o Bairro Santos Dumont, atingida pelo processo erosivo por voçorocamento, que encontra-se em pleno estágio de evolução. Trata-se, portanto, de uma cidade tipicamente monocêntrica, isto é, que concentra os principais aparelhos urbanos em uma área central e pequena.

Conforme apontam Toy e Hadley (1987) os estágios de urbanização condicionam dinâmicas específicas. O estágio intermediário de urbanização inclui áreas de urbanização não consolidada e loteamentos em fase de ocupação, ou ainda, áreas de ocupação irregular, como é o caso da área de estudo. Esta fase de intervenção urbana que produz maiores índices de processos morfodinâmicos, principalmente a erosão pluvial. Caracteriza-se ainda pela inexistência ou inadequação de infraestrutura urbana, como: pavimentações de ruas, sistemas de micro-drenagem, sistemas de captação de esgotos ou coleta regular de lixo. Este quadro é propício à instalação de escoamento superficial concentrado, cujo fluxo promove a formação de sulcos, ravinamentos e voçorocamentos.

Segundo Rodrigues e Gouveia (2014) as intervenções da urbanização, com a transformação das formas ou substituição dos materiais superficiais, alteram de maneira radical e irreversível os processos hidrodinâmicos nos sistemas geomorfológicos, principalmente no ambiente tropical úmido, em que a circulação da água desempenha papel fundamental.

Durante o desenvolvimento urbano, o aumento da produção de sedimentos da bacia hidrográfica é significativo, devido às construções, limpeza de terrenos para novos loteamentos, construção de ruas, avenidas e rodovias entre outras causas.

Áreas de campos, florestas e redes hidrográficas são ocupadas na periferia das cidades por loteamentos. Tradicionalmente os loteamentos urbanos são precedidos por intensa atividade de retirada da cobertura vegetal, movimentação de volumes de terra e desestruturação da camada superficial de solo. (TUCCI; COLLISCHONN, 2006).

A Lei Municipal nº 131/06, dispõe sobre o Plano Diretor de Desenvolvimento Sustentável do Município de Buriticupu. O Plano Diretor do município de Buriticupu define diretrizes específicas para o Desenvolvimento Econômico Urbano e Rural e do Ordenamento Territorial e Uso do Solo e das Políticas Setoriais de Saúde, Assistência Social, Educação, Habitação, de Transporte, porém tais diretrizes não expressam uma estratégia econômica/socioterritorial específica para o desenvolvimento do município. Trata-se, portanto, de um documento bastante generalista, que não atende efetivamente às necessidades de planejamento de crescimento urbano da cidade, sobretudo diante dos problemas ocasionados pela erosão.

Levando-se em conta que uma correta gestão da urbanização deve basear-se, necessariamente, no conhecimento das potencialidades e limitações do meio físico, diante das intervenções antrópicas (RODRIGUES; GOUVEIA, 2014), percebe-se que a cidade de Buriticupu cresceu de maneira acelerada, e tal crescimento não ocorreu de maneira planejada. A cidade que antes ocupava a região central do platô se expandiu em direção às bordas do relevo tabular, destacando-se o processo de ocupação das áreas com altas declividades, ou seja, as mais propensas à erosão e movimentos de massa. Tal realidade de apropriação e transformação do espaço ao longo do tempo condicionou, juntamente com os fatores naturais, o surgimento dos diversos processos erosivos por voçorocamento.

### **5.2.2. Arruamentos, drenagem urbana e contribuição à erosão**

À medida que a cidade se urbaniza, em geral, ocorrem os seguintes impactos: aumento das vazões máximas, em virtude do aumento do escoamento através de condutos e canais e impermeabilização das superfícies; aumento da produção de sedimentos, devido a desproteção das superfícies e a produção de resíduos sólidos;

e deterioração da qualidade da água, devido a lavagem das ruas e transporte de material sólido. (LEOPOLD, 1968).

Cavaguti e Silva (1993) indicam como iniciadoras dos processos erosivos em áreas urbanas: o aumento e concentração do escoamento pela impermeabilização, a ausência de sistema de drenagem, traçado inadequado das ruas e estradas, desmatamento e falta de infraestrutura em núcleos habitacionais.

No Bairro Santos Dumont, as ruas principais foram construídas de forma inadequada, uma vez que são perpendiculares à rodovia, localizada em uma área mais elevada, assim sendo, naturalmente pelo afeito da gravidade há a tendência de escoamento de fluidos para as partes de maiores declividades, justamente no local onde está localizada a voçoroca (Figura 25). Estes arruamentos, portanto, acabam atuando como canais de escoamento concentrado de águas pluviais e servidas, que ganham energia cinética e poder de erosão.

Figura 25 - Vista aérea da voçoroca com indicação do sentido de escoamento superficial das águas pluviais e servidas para as bordas ativas da feição erosiva



Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Esta situação é ainda agravada pelo processo de compactação dos solos nas ruas devido o trânsito constante de veículos e pessoas. Com o solo compactado há a diminuição da capacidade de infiltração, e conseqüentemente o aumento do

escoamento, materializado na área de estudo pela ocorrência de ravinas, indicando processos de erosão em estágio inicial (Figura 26).

Figura 26 - Processo de ravinamento em rua localizada próxima à voçoroca



Fonte: Dados da pesquisa, 2018.

A drenagem urbana representa hoje uma fonte importante de prejuízos para população das cidades, devido às frequentes inundações, aos processos erosivos e à deterioração ambiental. Segundo Tucci e Collischonn (2006) pouco tem sido feito para controlar esse processo no Brasil. Recorrentemente costuma-se entender tais problemas enquanto eventos “naturais”, quando na realidade o impacto foi gerado pela urbanização inadequada.

Pode-se afirmar que os processos de urbanização, incluindo as obras de impermeabilização, ocasiona uma mudança no regime de escoamento das águas das chuvas, tornando-a muito mais intensa que aquela provocada pelo desmatamento (FRIEDRICH, 1997).

Esta concentração de águas pluviais resulta no incremento da energia da água, que pode resultar em processos erosivos. As intervenções humanas na drenagem superficial podem introduzir o voçorocamento em locais onde o escoamento superficial acarretaria normalmente em erosão por ravinas. Nestes casos, a incisão gerada pelo escoamento a partir de uma concentração artificial

aumenta em direção à jusante. O desenvolvimento deste tipo de voçoroca progressiva constata o desenvolvimento remontante clássico (MOEYERSONS, 1991)

Em encostas ocupadas é comum a observação deste tipo de problema, o qual decorre de uma drenagem ineficiente ou mesmo escoamentos irregulares (CUNHA, 1997). Para que este problema fosse evitado são necessárias medidas como: a implantação de sistemas de drenagens superficiais com dissipadores de energia, ou ainda, o estabelecimento de sistemas de esgotos. Assim como a concentração das águas pluviais, outro importante elemento nesta dinâmica é o lançamento de águas servidas nas encostas, que funcionam geralmente sem a existência de sistemas de esgotos adequados.

De acordo aos dados do IBGE (2010), no município de Buriticupu, apenas 7,21% dos domicílios têm seus lixos coletados, enquanto 88,39% lançam seus dejetos diretamente no solo ou os queimam e 4,4% jogam o lixo em lagos ou outros destinos. Deste modo, a disposição final do lixo urbano e do esgotamento sanitário não atendem às recomendações técnicas necessárias, pois não há tratamento do chorume, dos gases produzidos pelos dejetos domiciliares, nem dos efluentes domésticos e pluviais.

Na área de estudo a maioria das casas não possuem rede de esgoto, sobretudo aquelas localizadas mais próximas da voçoroca. Entretanto foi possível observar a presença de tubulação de esgoto, que conduz efluentes domésticos de algumas residências nas áreas do entorno. Tal sistema de esgoto, ainda que insuficiente, poderia representar um ponto positivo, no entanto está colocado no local mais inapropriado, derramando os dejetos diretamente dentro da voçoroca (Figura 27), o que certamente contribui para o avanço do processo erosivo, uma vez que deixa o solo permanentemente saturado e favorece o aprofundamento do canal principal da voçoroca.

Figura 27 - Despejo de efluentes no interior da voçoroca



Fonte: Dados da pesquisa, 2018.

A falta de redes de esgoto ocasiona a dispersão e o acúmulo do efluentes em locais inadequados, trazendo periculosidade à saúde e ao meio ambiente, uma vez que o esgoto lançado a céu aberto constitui uma fonte contínua de transmissão de doenças de veiculação hídrica. Na área de estudo foi possível observar o lançamento de águas servidas e esgotos “in natura” (Figura 28).

Figura 28 - Ruas com problemas de pavimentação e direcionamento de esgoto doméstico ao rebordo erosivo



Fonte: Dados da pesquisa, 2018.

Quando a captação de águas servidas é feita de maneira inadequada, pode-se observar uma infiltração contínua que pode provocar saturação do terreno, deixando-o mais instável e conseqüentemente ocorrendo rupturas, movimentos de massa e agravamento contínuo da erosão. Este problema torna-se mais grave no período chuvoso, uma vez que a saturação do solo é aumentada (CUNHA, 1997).

É importante ainda ressaltar problemas com vazamentos e rompimentos da tubulação da rede de abastecimento de água, que também podem causar saturação do terreno. Segundo a CPRM (2018) tais problemas são comuns no município de Buriticupu, em virtude de inadequações nas tubulações e redes improvisadas por moradores.

A ocupação desordenada, a falta de infraestrutura de calçamento, a ineficiência do sistema de drenagem com dissipação de energia ou quebra de velocidade da água e do recolhimento do lixo acumulado nas vias públicas, causam diversos transtornos à população, além de provocar sérios problemas ambientais, a exemplo dos processos erosivos altamente evoluídos e da poluição do rio Buriticupu.

### **5.2.3. Atividades econômicas degradantes do ambiente**

Além do processo de urbanização, algumas atividades econômicas também vêm contribuindo intensamente para o avanço dos voçorocamentos em Buriticupu. Dentre elas pode-se destacar: a pecuária extensiva, a agricultura, a extração de madeira e a extração mineral.

A pecuária extensiva é apontada como uma grande responsável principalmente pelo processo de compactação do solo, gerado pelo pisoteio do gado, diminuindo a porosidade do solo e sua capacidade de infiltração, conseqüentemente aumentando o escoamento superficial e intensificando a erosão.

Segundo Araújo (2010), o superpastoreio intensifica a compactação dos solos e a subtração da cobertura vegetal, favorecendo o processo de erosão. Na área de estudo foi possível observar o trânsito de gado bovino no entorno e no interior da voçoroca (Figura 29). Além de causar a compactação do solo, o gado também é responsável por consumir boa parte da vegetação herbácea local, que atua como a única proteção vegetal dos solos.

Figura 29 - Pecuária extensiva



**Fonte:** Dados da pesquisa, 2018.

O trânsito constante do gado também induz processos de ravinamentos (THOMAZ; DIAS, 2009). Os rebanhos se movimentam diariamente ao longo das vertentes em busca de pastagem, e nesse processo acabam formando “caminhos”, onde a compactação superficial do solo é muito alta (Figura 30). Tais trilhas posteriormente concentram as águas pluviais, formando sulcos e ravinas que se aprofundados podem dar origem à novas voçorocas.

Figura 30 - Sulcos causados pelo trânsito do gado



**Fonte:** Dados da pesquisa, 2018.

Na área de estudo a agricultura ainda é praticada no sistema de corte e queima, geralmente em pequenos plantios localizados nos quintais ou arredores das residências. De acordo com Singh *et al.* (1992) o corte e a queima da vegetação seguidos do cultivo acabam por desestabilizar a dinâmica da ciclagem de nutrientes, resultando na consequente perda de nutrientes do sistema solo-vegetação, e podem resultar também em processos erosivos e de degradação do solo. Este tipo de sistema agrícola causa também grandes perdas de matéria orgânica, que é responsável pela agregação das partículas do solo.

Os atributos físicos dos solos também são afetados pela agricultura de corte e queima, com destaque para a porosidade, que tende a diminuir consideravelmente ao longo das sucessivas queimadas, causando compactação e colaborando para o aumento da erosão dos solos (PEREIRA; VIEIRA, 2001).

Historicamente o município de Buriticupu sempre esteve ligado à atividade de extração de madeira. De acordo com Aguiar (2002) uso comercial da madeira nessa região foi a primeira atividade causadora do desmatamento, responsável pela exposição direta do solo aos agentes intempéricos e à erosão. A vegetação atua como fator controlador do escoamento superficial, protegendo o solo contra o impacto das gotas da chuva, formando poros e canais que aumentam a infiltração da

água pela ação das raízes das plantas, aumentando a capacidade do solo de reter água pela ação da matéria orgânica, diminuindo o escoamento superficial, entre outros. Além disso, as plantas isolam termicamente o solo, evitando que haja grande variação de temperatura, reduzindo seu ressecamento (TOMINAGA; SANTORO; AMARAL, 2009).

Bertoni & Lombardi Neto (2005) afirmam que a vegetação é fator fundamental na conservação do solo e na redução dos processos erosivos. Entretanto, sua existência e vigor depende da disponibilidade de nutrientes do solo, fator que geralmente encontra-se em níveis insuficientes nas áreas onde ocorrem erosões profundas do tipo voçorocas.

Além de atender às serrarias, a extração de madeira atende à produção de carvão vegetal, que destaca-se entre as atividades econômicas da população de baixa renda residente no bairro Santos Dumont. Na borda da voçoroca foi identificada uma área de produção de carvão (Figura 31). Neste processo de produção, as altas temperaturas são também responsáveis pela perda de fertilidade dos solos e aumento da erodibilidade, tornando instável o terreno e favorecendo a deflagração de movimentos de massas.

Figura 31 - Local de produção de carvão vegetal (borda da voçoroca)



**Fonte:** Dados da pesquisa, 2018.

A extração de material mineral, sobretudo de areia e laterita, do interior das voçorocas, é realizada por iniciativas particulares principalmente para o uso na construção civil. A retirada de sedimentos do interior da voçoroca deixa o ambiente ainda mais desequilibrado, uma vez que a tendência da voçoroca é chegar no nível de estabilização. Neste sentido, a retirada de material da voçoroca contribui para o aumento do processo erosivo, geralmente progredindo longitudinalmente para montante, como no caso da voçoroca em estudo.

#### **5.2.4. Percepções dos moradores acerca da voçoroca**

No intuito de entender o problema por uma ótica mais social, foram realizadas entrevistas estruturadas com questionamentos abertos com seis moradores do bairro Santos Dumont. As residências escolhidas para a realização das entrevistas com seus moradores estão localizadas muito próximas à borda da voçoroca, o que possibilitou a obtenção de opiniões importantes de quem realmente convive com o problema.

As entrevistas foram compostas por cinco questionamentos abertos e simples, permitindo ao entrevistado uma grande liberdade de resposta e exposição de suas opiniões, desejos e aflições diante do problema da erosão acelerada.

A senhora Maria Silva Araújo, residente no bairro Santos Dumont há 08 anos, afirmou que tem grande preocupação com o avanço da erosão, principalmente no período chuvoso, quando, segundo ela, ocorrem diversas quedas dos materiais instáveis situados nas bordas da voçoroca, causando um avanço muito acelerado. Para ela a principal causa da erosão é o escoamento da água da chuva e de esgoto doméstico. A entrevistada afirmou ainda que não recorda de nenhuma ação por parte do governo para solucionar ou amenizar o problema, enfatizando em sua fala que a comunidade do bairro Santos Dumont é esquecida pelo poder público. Na sua opinião, algumas obras são necessárias para abrandar o problema, dentre elas a mais importante seria a instalação de uma rede coletora de águas pluviais e esgoto que fosse capaz de direcionar tais fluidos para a parte mais baixa do relevo, correspondente ao fundo do vale.

O senhor Valdomir Santos, morador do bairro há 06 anos, afirmou que se sente muito aflito observando o avanço constante da voçoroca e tem muito medo de perder a sua casa. Segundo ele essa preocupação é ainda maior quando ocorrem as chuvas fortes no início do ano. Na sua opinião as principais causas são: o escoamento da água da chuva; o descarte de resíduos sólidos na borda e no interior da voçoroca feito por muitos moradores, que acabam tendo essa atitude uma vez que a coleta de lixo é muito inconstante e ineficiente; e a retirada de areia do fundo do vale do rio Buritizinho. O entrevistado afirmou que a gestão municipal não tem realizado ações para conter o avanço da erosão. Algumas ações que poderiam amenizar o problema seriam: implantar uma coleta de lixo eficiente e construir um sistema de drenagem para a água que escoar na superfície.

A senhora Maria José Dias Canto, moradora do bairro há 04 anos, afirma se sentir preocupada com o aumento da voçoroca, uma vez que sua casa fica muito próxima. Para ela a principal causa é a constante presença de esgoto a céu aberto, que acaba por tomar a direção do interior da voçoroca, deixando o solo encharcado e pesado. Ela afirma que nunca viu nenhum tipo de ação do poder público para

resolver o problema. Na sua opinião, para resolver a situação, deve-se construir uma rede de esgoto.

A senhora Maria do Carmo reside no bairro há 10 anos e afirma se sentir muito preocupada com o problema da erosão. Segundo ela, a preocupação aumenta ainda mais no período chuvoso. Sente-se aflita diariamente pois tem filhos pequenos que gostam de se divertir nas ruas, e conseqüentemente em áreas muito próximas à borda da voçoroca. Afirmou ainda que já ocorreram acidentes na área que acarretaram perda de vidas humanas. Segundo ela a principal causa da erosão é o escoamento da água da chuva, que causa uma enxurrada muito forte. Nesta década que vive no bairro nunca viu nenhuma medida do poder público no sentido de resolver o problema. Na sua opinião, para resolver ou diminuir o problema, algumas ações podem ser tomadas, por exemplo: evitar que a água escoe para a voçoroca e realizar plantio de diversas árvores nas bordas.

A senhora Maria Francisca, moradora do bairro Santos Dumont há 02 anos diz se sentir angustiada com o crescimento muito acelerado da voçoroca. Na sua opinião a causa principal é a grande quantidade de água que desce na rua durante o período chuvoso. Nos dois anos que vive no bairro nunca percebeu ações para resolver o problema, afirmando que a gestão não chega até os bairros mais pobres como o Santos Dumont. Para ela a erosão já tomou uma proporção tão grande que não existem meios de resolver o problema, restando somente a possibilidade de mudar-se da área.

O senhor José Carlos Silva, morador do bairro há 14 anos, afirma sentir uma certa preocupação com o avanço da erosão. Na sua opinião a principal causa são as fortes chuvas que ocorrem na primeira metade de todo ano, além de uma obra, na sua opinião, mal pensada e realizada, que acaba despejando muito esgoto dentro da voçoroca. Afirmou que não existiu ainda nenhuma ação concreta para solucionar o problema. Algumas medidas paliativas apontadas por ele são: replantar nas bordas da voçoroca e alterar a obra de esgoto que hoje existe no local.

Por meio destas entrevistas, além de conversas informais com outros moradores, foi possível perceber que as pessoas sentem-se muito aflitas e preocupadas com o problema da erosão. Preocupação esta que reúne o medo da

possível perda da moradia e outros bens materiais, mas sobretudo da perda da própria vida e dos familiares, uma vez que percebem-se em área de risco.

Foi possível também perceber que, diante de todos os condicionantes do voçorocamento no bairro Santos Dumont apresentados no trabalho, os moradores, de maneira geral, possuem uma boa percepção das causas do problema, ligando-o sempre às atividades antrópicas, que de fato são decisivas na ocorrência da erosão na área de estudo.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

No município de Buriticupu observa-se nos últimos anos a presença e o agravamento dos processos erosivos. Uma das maiores voçorocas da cidade localiza-se no bairro Santos Dumont, foco desta pesquisa. A ocorrência deste processo erosivo revelou-se fruto da ação integrada e complexa entre os diversos elementos naturais e as ações antrópicas.

Os condicionantes naturais identificados foram: a erodibilidade dos solos, as características da geologia, a erosividade das chuvas e o relevo da área. Os solos de Buriticupu apresentaram atributos físicos e químicos que contribuem para a sua elevada erodibilidade. A geologia da área, composta por material sedimentar apresenta elevada friabilidade, sendo também muito susceptível à erosão. As chuvas, concentradas em parte do ano, apresentaram um elevado potencial de erosividade. E o relevo, formado por planaltos, colinas e morros em processo de dissecação, com vertentes declivosas, extensas e côncavas, apresentou-se como um condicionante essencial na erosão.

Os condicionantes antrópicos foram: a história de ocupação de Buriticupu e sua relação com a ocupação de áreas de risco, as características da estrutura urbana e as atividades econômicas (agricultura tradicional, pecuária extensiva e extrativismo) causadoras de degradação ambiental.

O bairro Santos Dumont, localizado na periferia da cidade, apresenta características urbanas que são fortes causadoras do processo erosivo, como: arruamentos mal planejados, falta de sistemas de drenagem e reduzida coleta de esgoto e de resíduos sólidos. Tais elementos, junto com as características ambientais apresentaram-se como os principais condicionantes do voçorocamento.

Diante do agravamento constante dos problemas relacionados aos processos erosivos em Buriticupu, a realização de ações governamentais que visem a mudança desta realidade devem ser imediatas. Apesar da comprovação do quadro crítico em que se encontra boa parte da população desta área e de outras com forte similaridade ambiental e de ocupação, entende-se que ainda é possível que se tomem algumas medidas, dentre elas pode-se destacar:

- A remoção temporária dos moradores que se encontram nas áreas de risco durante o período de chuvas;
- A realocação de famílias que encontram-se permanentemente em área de risco, independente dos fatores climáticos;
- Adequação do sistema de drenagem pluvial e esgoto, a fim de evitar o direcionamento do fluxo para as encostas;
- Verificação e reparação dos pontos de vazamento de água;
- Realização de projetos e obras de contenção de encostas;
- Fiscalização e proibição da construção em áreas de risco;
- Fiscalização dos órgãos competentes e da sociedade para que não ocorra retirada de material mineral e pecuária extensiva dentro e no entorno das voçorocas;
- Realização de projetos de educação ambiental voltados para os jovens e para os adultos, visando sensibilizá-los a evitar a ocupação de áreas impróprias e sobre a disposição do lixo;
- Criação de uma Defesa Civil Municipal para atuar em ações preventivas ou assistenciais para evitar ou minimizar os desastres naturais;

Diante desta realidade, é notável a grandiosidade dos problemas causados pela erosão em Buriticupu e dos desafios que devem ser superados na busca das soluções. São imperativas as ações que caminhem neste sentido e que visem sempre a promoção de uma melhor qualidade socioambiental à população buriticupuense.

## REFERÊNCIAS

- ADEDIJI, A.; JEJE, L. K.; IBITOYE, M. O. **Urban development and informal drainage patterns: Gully dynamics in Southwestern Nigeria**. *Applied Geography*, v. 40, p.90 - 102, 2013. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeog.2013.01.012>
- AGASSI, M (Ed.). **Soil erosion, conservation and rehabilitation**. Marcel Dekker Inc. 1996. 402p.
- ALVARENGA, M. I. N.; SOUZA, J. A. **Atributos do solo e impacto ambiental**. 2. ed. Lavras: UFLA: FAEPE, 1997. 205 p.
- AL DURRAH, M. M.; BRADFORD, J. M. **The mechanism of raindrop splash on soil surfaces**. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 46:1086-1090, 1982.
- AGUIAR, I. N. **Buriticupu, sua história e suas características: o Maranhão e o projeto pioneiro de colonização**. São Luís. Gráfica e Editora Aquarela, 2002.
- ARAÚJO, M., L., M., N. **Impactos ambientais nas margens do Rio Piancó causados pela agropecuária**. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental*. v.4, n.1, p. 13-33, janeiro/dezembro de 2010.
- ARAÚJO FILHO, J. C.; RIBEIRO, M. R. **Infiltração de água em Cambissolos do Baixo do Irecê (BA)**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.20, p.263-370, 1996.
- BACELLAR, L. A. P. **Processos de Formação de Voçorocas e Medidas Preventivas e Corretivas**. Viçosa, 2006.
- BANDEIRA, I. C. N. (Org.). **Geodiversidade do Estado do Maranhão**. Teresina, PI: CPRM, 2013.

BASTOS, C.A.B. **Estudo geotécnico sobre a erodibilidade de solos residuais não saturados**. 1999. 251f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.

BAVER, L.D. **Física de suelos**. México: Unión Tipográfica Editorial Hispano-Americana, 529 p., 1973.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 5.ed. Viçosa:UFV, Imprensa Universitária, 1989. 596p.

BERTRAND, G. Paisagem e geografia física global: **esboço metodológico**. R. RA´E GA, Curitiba, n. 8, p. 141-152, 2004. Editora UFPR.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 4. Ed. Editora ícone: São Paulo. 1999. 355 p.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 5ª Ed. Editora Ícone, São Paulo. 2005. 355p.

BEZERRA, J. F. R. **Geomorfologia e reabilitação de áreas degradadas por erosão com técnicas de bioengenharia de solos na bacia do rio Bacanga, São Luís – MA**. (Tese de Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

BEZERRA, J. F. R.; LISBOA, G. S.; MORAIS, M. S. **Monitoramento dos processos erosivos por voçorocamento na bacia do Rio Bacanga, São Luís/MA**. XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. Campinas, São Paulo, 2017.

BEZERRA, J. F. R.; VIANA, J. D.; SILVA, T. P.; ABREU JÚNIOR, F. C.; MORAIS, M. S.; LISBOA, G. S. **Monitoramento dos processos erosivos por voçorocamento no município de São José de Ribamar, Ilha do Maranhão (MA)**. Revista Geonorte. V. 10. 2014.

BISPO, C. O.; OLIVEIRA, G. P.; SILVA, M. L. G.; SANTOS, A. C. LISTO, F. L. R.; GIRÃO, O. **Diagnóstico de voçorocas na zona periurbana de Garanhuns, agreste meridional pernambucano.** Revista de Geografia, Recife, v.35, 2018.

BITAR, O.Y.; BRAGA, T.O. **O meio físico na recuperação de áreas degradadas.** In: BITAR, O.Y. (Coord.). Curso de geologia aplicada ao meio ambiente. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE) e Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). 1995. Pp.165-179.

BRITO NEVES, B.B. **The Cambro-ordovician of the Borborema Province.** Boletim IG - Série Científica, São Paulo, v. 29, p. 175-193, 1998.

CAVAGUTI, N.; SILVA, M. J. D. **Desenvolvimento urbano, erosão e degradação dos recursos hídricos por assoreamento em Bauru, S.P..** Anais X Simpósio brasileiro de recursos hídricos. Gramado. 1993.

CAMAPUM, J.C. **Processos Erosivos no Centro-Oeste Brasileiro.** Editora FINATEC, 2006.

CAMARGO, O.A. de; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M.A.S. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas.** Ed.rev.atual. Campinas: Instituto Agrônomo, 2009. 77p. (IAC. Boletim técnico, 106).

CAMPBELL, D.F. Estados do Maranhão e Piauí. In: Conselho Nacional do Petróleo. **Relatório de 1947.** Rio de Janeiro, 1948. p. 71-78.

CAMPOS, M. C. C. **Relação solo-paisagem: conceitos, evolução e aplicações.** *Ambiência*, v. 8, n. 3, p. 963-982, 2012.

CAMPOS, M. C. C. C.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; SOUZA, Z. M.; MONTANARI, R. **Planejamento agrícola e implantação de sistema de cultivo de cana-de-açúcar com auxílio de técnicas geoestatísticas.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.13, n.3, p.297–304, 2009.

CAMPOS, A. A. C.; **Atributos dos solos e análise da erodibilidade na sede municipal de Buriticupu - MA.** (Monografia). Universidade Federal do Maranhão, 2017.

CARNEIRO, M.A.C.; SOUZA, E.D.; REIS, E.D; PEREIRA, H.S; AZEVEDO, W.D. **Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de Cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo.** R. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.33, n.1, p. 147-157, 2009.

CARVALHO, J.C; SALES, M.M; MORTARI, D; FÁZIO, J.A; MOTTA, N.O; FRANCISCO, R.A. Processos Erosivos. In: **Processos Erosivos no Centro-Oeste Brasileiro.** Editora FINATEC, Brasília, p.39-91. 2006.

CARVALHO, W. A. **Relações entre relevo e solos da bacia do Rio Capivara - município de Botucatu, SP.** 1981. 193 f. Tese (Livre Docência) – Faculdade de Ciências Agrônômicas - Universidade Estadual de São Paulo, Botucatu, 1981.

CASTRO, L.G.; COGO, N.P. & VOLK, L.B.S. **Alterações na rugosidade superficial do solo pelo preparo e pela chuva e sua relação com a erosão hídrica.** R. Bras. Ci. Solo, 30:339- 352, 2006.

COGO, N. P. et al. Retomada, redefinição e intensidade da pesquisa em erosão do solo no Brasil. In: **REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA: manejo integrado a ciência do solo na produção de alimentos**, 15. Santa Maria - RS. UFSM, 2004. p.1-18.

COSTA, N. **Indicadores físicos e químicos do solo e processos erosivos no município de Buriticupu-MA.** UFMA. 2015.

COSTA, C. E. A. S.; BLANCO, C. J. C. **Influência da Variabilidade Climática sobre a Erosividade em Belém (PA).** Rev. bras. meteorol. vol.33 n.3 São Paulo. 2018.

CPRM (Serviço Geológico do Brasil). **Relatório diagnóstico do município de Buriticupu.** Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea.

2011. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/handle/doc/15381/rel-buriticupu.pdf?sequence=1>. Acesso em: 03/12/2018.

CUNHA, C. M. L. **Quantificação e mapeamento das perdas de solo por erosão com base na malha fundiária**. Rio Claro: Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, 1997.

DALMOLIN, R.S.D.; AVEZEDO, A.C.; PEDRON, F.A. **Solos & Ambiente**. II Fórum, Santa Maria: Orium, 2006.

DECHEN, S. C. F. et al. **Manejo de solos tropicais no Brasil**. REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA: manejo integrado a ciência do solo na produção de alimentos, 15. Santa Maria - RS. UFSM, 2004. p.1-25.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (DAEE); INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). **Controle de erosão: bases conceituais e técnicas; diretrizes para o planejamento urbano e regional; orientações para o controle de boçorocas urbanas**. São Paulo. 1989. 92p.

DINIZ, M. T. M. **Condicionantes socioeconômicos e naturais para a produção de sal marinho no Brasil: as particularidades da principal região produtora**. Fortaleza, 2013. CD-ROM 227f. Tese (doutorado em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2013.

DOTTERWEICH, M.; STANKOVIANSKY, M.; MINÁR, J.; KOCO, S.; PAPCO, P. **Human induced soil erosion and gully system development in the Late Holocene and future perspectives on landscape Evolution: The Myjava Hill Land, Slovakia**. *Geomorphology*, v. 201. P, 1-34, 2013.

ELLISON, W.D. **Soil erosion studies**. *Agric. Eng.*, 28:145- 146, 197-201, 245-248, 297-300, 349-351, 402-405, 442- 444, 1947.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2 Ed. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Rio de Janeiro, 1997.

FARIAS FILHO, M. S. **Variabilidade espacial dos atributos físicos e químicos em um Gleissolo Melânico sob três áreas no município Arari - MA**. Jaboticabal, SP: FCAV, 2014. (Tese de doutorado - Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Ciência do Solo).

FARIAS FILHO, M. S.; MACEDO, L. T.; SANTOS, A. L.; CAMPOS, A. A. C. **Processos erosivos urbanos e a qualidade dos corpos hídricos em Buriticupu, Maranhão**. Revista Geoatos (UNESP), 2019.

FERNANDES, JO. **Buriticupu a cidade das voçorocas**. Disponível em: <http://blogdoprofessorlourival.blogspot.com/2013/02/buriticupu-cidade-das-voçorocas.html>. Acesso em: 24 de novembro de 2018.

FENDRICH, R. Erosão urbana. In: FENDRICH, R.; OBLADEN, N. L.; AISSE, M. M.; GARCIAS, C. M. **Drenagem e controle da erosão urbana**. 4ª Ed. Champagnat, Curitiba. 1997. 481p.

FOSTER, G. R. Modeling the erosion process. In: Hann, C. T.; Johnson, H. P.; Brakensiek, D. L. (ed.). **Hydrologic modeling of small watersheds**. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineering, 1982.

FREIRE, O. **Solos das Regiões Tropicais**. Botucatu: FEPAF (Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais), 2006.

FRENZEL, A. Medidas preventivas contra os processos erosivos. In: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE). **Simpósio sobre o controle de erosão**. Curitiba – PR. 1980. P. 201-213.

FULLEN, M. A.; CATT. J. A. **Soil management: problems and solutions**. Oxford: Oxford University Press, 2004. 269 p.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de pesquisa. Universidade Aberta do Brasil – UAB/UFRGS**. Curso de Graduação Tecnológica – Planejamento e Gestão para o Desenvolvimento Rural da SEAD/UFRGS. – Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 1994.

GÓES, A.M. de O. & FEIJÓ, F.J. 1994. Bacia do Parnaíba. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, 8:57-67.

GOVERS, G. Spatial and temporal variability in rill development process at the Huldberg experimental site. In: BRYAN, R. B. (Ed) **Rill Erosion: process and significance**. Catena: an interdisciplinary Journal of Soil Science – Hydrogeology – Geomorphology, supplement 8, Braunsschweig-Germany, Leuven, p. 17-34, 1987.

GUERRA, A. J. T. JORGE, M.C.O. **Processos Erosivos e Recuperação de Áreas Degradadas**. 1. Ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

GUERRA, A.J.T. **Geomorfologia Urbana**. 1ª ed. Editora Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 2011.

GUERRA, A.J.T.; MENDONÇA, J.K.S. **Erosão dos Solos e Questão Ambiental**. In: **Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil**. A.C. Vitte e A.J.T. Guerra (orgs.) Editora Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 2ª ed. P. 225-256. 2007.

GUERRA, A.J.T.; MARÇAL, M. S.; BOTELHO, R. H. M.; GARCIA, S. F. **Solos e feições erosivas em Açailândia-Maranhão**. Revista Sociedade e Natureza, Uberlândia, 2001.

GUERRA, A. J. T; GUERRA, A.T. **Dicionário Geológico-Geomorfológico**. 9. Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.

GUERRA, A.J.T. O Início do Processo Erosivo. In: **Erosão e Conservação dos Solos- Conceitos, Temas e Aplicações**. A.J.T. Guerra; A.S. Silva; R.G.M. Botelho (orgs.) Editora Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 3ª ed. p. 15-55. 2007.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da C. (organizadores). **Geomorfologia e meio ambiente**. 6ª edição. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006.

GUERRA, A. J. T.; HOFFMANN, H. **Urban gully erosion in Brazil**. Geography Review, v. 19, n. 3, p. 26-29, 2006.

GUERRA, A. J. T. O início do processo erosivo. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. **Erosão e conservação dos solos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

HERNANI, L. C. et al. **A erosão e seu impacto**. In: MANZATTO, C. V.; FREITAS JÚNIOR, E.; PERES, J. R. R. Uso agrícola dos solos brasileiros. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2002. p. 174.

HERZING, A., DYMOND, J. R., & MARDEN, M. **A gully complex model for assessing gully stabilization strategies**. Geomorphology, 133, 23e33, 2011.

HILLEL, D., 1980b. **Fundamentals of soil physics**. New York, Academic Press, cap.9 (p.195-232) e cap.11 (p.265-286).

HUDSON, N. **Conservacion del suelo**. Barcelona: Reverté, 352 p., 1982.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística/Cidades. **Buriticupu**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/xtras/perfil.php?codmun=210232&search=maranhao|buriticupu>>.

IBGE. **Manual Técnico de Pedologia**, 2ª edição. Rio de Janeiro: Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Diretoria de Geociências. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. Manuais Técnicos em Geociências, número 4, 2007, p. 316.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. Dados climáticos da Estação Buriticupu TRMM.8507. Disponível em: [www.inmet.gov.br/](http://www.inmet.gov.br/). Acesso em: 01 de outubro de 2018.

IPT (1986). Departamento de Águas e Energia Elétrica. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. **Orientações para o combate à erosão no estado de São Paulo, Bacia do Peixe - Paranapanema**. Vol 6. (IPT, relatório, 24.739), (C.P; ME). São Paulo (SP).

KÄMPF, N.; CURI, N. Argilominerais em solos brasileiros. In: CURI, N.; MARQUES, J. J.; GUILHERME, L. R. G.; LIMA, J. M.; LOPES, A. S. & ALVAREZ V., V. H., Eds. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. v.3

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia**. São Paulo: Ed. agronômica Ceres. 1989. 262p.

LAGO, W. J. S.; ARAÚJO, E. P.; TELES, M. G. L. **Vulnerabilidade natural à erosão na Região do Baixo Parnaíba-MA**. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal (Rio Grande do Norte), 2009.

LAL, R.; STEWART, B. A. **Soil Degradation**. Advances in Soil Science, Volume 11. New York: Springer – Verlag, 1990. 351 p.

LAL, R. **Erodibility and erosivity**. In: LAL, R. et al. Soil erosion research methods. Washington: Soil and Water Conservation Society, 1988. p. 141-160.

(LADA). **Land Degradation Assessment in Drylands Assessing the status, causes and impact of land degradation**. Disponível em: < [https://www.researchgate.net/publication/267151280\\_Land\\_Degradation\\_Assessment\\_in\\_Drylands\\_-\\_Methodology\\_and\\_results](https://www.researchgate.net/publication/267151280_Land_Degradation_Assessment_in_Drylands_-_Methodology_and_results) >. Acesso em: 22 de outubro de 2018.

LEOPOLD, L. T. **Hydrology for urban planning - A guide book on the Hydrologic effects of urban land use**. USGS circ. 554. 1968. 18 p.

LEPSCH, I. F. **19 Lições de Pedologia**. São Paulo: Oficina de Texto, 2011.

LIMA JÚNIOR, W. A. **Caracterização das formas de uso e ocupação na sede municipal de Buriticupu**. PIBIC. 2016.

LIMA,C.G.R; CARVALHO, M.P.; SOUZA,A.; COSTA, N.R.; MONTANARI,R.  
**Influência de atributos químicos na erodibilidade e tolerância de perda de solo na bacia hidrográfica do baixo São José dos Dourados**. São Paulo, UNESP, Geociências, v. 35, n. 1, p.63-76 , 2016.

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

MARCONI; M. de A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica /** Marina de Andrade Marconi, Eva Maria Lakatos. - 5. ed. - São Paulo : Atlas 2003. ISBN 85-224- 3397-6.

MATHIAS, D.T.; LUPINACCI, C.M.; MORUZZI, R.B. **Distribuição das taxas de infiltração em áreas afetadas por processos erosivos acelerados e recobertas por materiais antropogênicos**. Eng. Sanit. Ambient. vol.23.5 Rio de Janeiro. 2018.

MENDONÇA, J. K. S. **Uso sustentável de espécies de palmeiras da APA da Baixada Maranhense para controle e recuperação de áreas degradadas por erosão**. (Dissertação de Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade de Ecossistemas. Universidade Federal do Maranhão. 2006.

MIQUELONI, D.P; BUENO, C.R.P; FERRAUDO, A.S. **Análise espacial dos fatores da equação universal de perda de solo em área de nascentes**. Pesq. agropec. bras., Brasília, v.47, n.9, p.1358-1367, set. 2012.

MOEYERSONS, J. Ravine formation on steep slopes: forward versus regressive erosion. Some cases studies from Rwanda. **Catena: na interdisciplinar Journal of Soil Science – Hidrogeology – Geomorphology**, v. 18, p. 309-324, 1991.

MORGAN, R. P. C. **Soil erosion and its control**. 2ª ed. Longman. Nova York. 1995. 198p.

MORGAN, R. P. C. **Soil erosion and conservation**. 3ª ed. Blackwell Publishing. 2005. 304p.

MOURA, E. G. Agroambientes de transição avaliados numa perspectiva da agricultura familiar. In: MOURA, E. G. (org.). **Agroambientes de Transição entre o trópico úmido e o semi-árido do Brasil**. São Luís: UEMA, 2004.

MULLA, D. J.; MCBRATNEY, A. B. Soil Spatial Variability. In: SUMMER, M. E. **Handbook of Soil Science**. New York: CRC Press, 1999. p. A321-A351.

NONATO, C.A. **Avaliação de áreas de risco geológico em Belo Horizonte - MG: Estudo de caso: a Vila Pedreira Prado Lopes**. In: Geologia Urbana - Gestão Municipal. Belo Horizonte. Sindicato dos Geólogos no Estado de Minas Gerais, 2006.

WISCHMEIER, W. H; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses - a guide to conservation plane**. Department of Agriculture, Agriculture Handbook, No 537, 1978.

WISCHMEIER, W. H; SMITH, D. D. Rainfall energy and it relationship to soil loss. **Transaction American Geophysical Union**, Washington, D. C., 39 (2): 285-291, 1958.

OLIVEIRA, J.B. Fatores de formação. In: MONIZ, Antonio C. (Org.). **Elementos de Pedologia**. São Paulo: Ed. da USP, 1972. p. 275-289.

OLIVEIRA, M. A. T. Processos Erosivos e Preservação de Áreas de Risco de Erosão por Voçoroca. In: GUERRA, A. J. T., SILVA, A. S.& BOTELHO, R. G. M. (Orgs). **Erosão e Conservação dos Solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 1999.

OLIVEIRA, J.B. **Pedologia aplicada**. 3. ed. Piracicaba: FEALQ, 2008. p. 113-499, 521-580.

PENNOCK, D. J., VELDKAMP, A. **Advances in landscape-scale soil research**. *Geoderma*, v. 133, p. 1-5, 2006.

PEREIRA, C. A.; VIEIRA, I. C. G. A importância das florestas secundárias e os impactos de sua substituição por plantios mecanizados de grãos na Amazônia. **Interciência**, v. 26, p. 337-341, 2001.

PRUSKI, F. F. **Conservação de solo e água: práticas no controle da erosão hídrica**, 2ª Ed. Viçosa: UFV, 2013. 279 p.

PUSKÁS, I.; FARSANG, A. **Diagnostic indicators for characterizing urban soils of Szeged, Hungary**. *Geoderma*, 2009.

RAIJ, B.V. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres/Potafos, 343 p., 1991.

RAWLS, W.J., DAVID, G., VAN MULLEN, J.A., WARD, T.J. Infiltration. In: ASCE. **Hydrology Handbook**. 2.ed. New York. p.75-124. (ASCE Manuals and Report on Engineering Practice, 28), 1996.

RESENDE, M.; CURI, N.; SANTANA, D.P. **Pedologia e fertilidade do solo: interações e aplicações**. Brasília: Mec/Potafos, 81p., 1988.

RODRIGUES, C.; GOUVEIA, I. C. M-C. Importância do fator antrópico na redefinição de processos geomorfológicos e riscos associados em áreas urbanizadas no meio tropical úmido. Exemplos na Grande São Paulo. In: GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. C. O (Org). **Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas**. Sao Paulo: Oficina de Textos, 2014. p. 66-94.

ROTTA, C. M. S. **Estudo da recuperação de áreas degradadas por processos erosivos: procedimentos e eficiência dos métodos**. Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos (Dissertação de Mestrado). São Carlos. 2012. 166p.

SANTOS FILHO, R. D. **Antropogeomorfologia do povoamento em Petrópolis (RJ): análise ambiental urbana.** (Tese de doutorado). Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007.

SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C.; & ANJOS, L. H.C. **Manual de descrição e coleta de solo no campo.** 5.ed. Viçosa, MG, SBCS/SNLCS, 2005. 100p.

SANTOS, A. L. **Estimativa do potencial natural de erosão dos solos de Buriticupu, Maranhão - Brasil, por meio da EUPS com uso de sistema de informação geográfica.** (Monografia). Universidade Federal do Maranhão, 2019.

SANTOS, A. L. e MACEDO, L. T. S. **Erosividade Na Bacia Hidrográfica Do Rio Mearim (Ma-Brasil).** IV Workshop de Geotecnologias do Maranhão. São Luís – MA, 2018.

SCHOENEBERGER, P. J. et al. **Field book for describing and sampling soils.** Version 2.0. Lincoln, Neb.: U.S. Department of Agriculture, National Soil Survey Center, Natural Resources Conservation Service, 2002.

SILVA, C.L.; KATO, E. **Efeito do selamento superficial na condutividade hidráulica saturada da superfície de um solo sob cerrado.** Pesq. Agropec. Bras., Brasília, v. 32, n. 2, p. 213-220, 1997.

SILVA, A. M.; SCHULZ, H. E.; CAMARGO, P. B. **Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas.** Ed. RiMa. 2004. 140p.

SILVA, A.F. **Mapeamento geotécnico e análise dos processos erosivos na bacia do córrego Tuncum, São Pedro-SP, escala: 1:10.000.** Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, 2003.

SILVEIRA, L.R.; MENDONÇA, R. M. G. **Análise, Monitoramento e Caracterização da Voçoroca Ribeirão da Cachorra em Paraíso do Tocantins – TO.** Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal, v. 6, n. 2, p. 231-250, mai /ago 2009.

SINGH, G.; BABU, R.; NARAIN, P.; BHUSHAN, L. S.; ABROL, I. P. Soil erosion rates in India. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 47, p. 97–99, 1992.

SIQUEIRA, D. S.; MARQUES JUNIOR, J.; PEREIRA, G. T. **Using landforms to predict spatial and temporal variability of soil and orange fruit attributes**. *Geoderma*, v.155, n.1-2, p.55-66, 2010.

SUDO, H. Processos erosivos e variabilidade climática. In: SANT' ANNA NETO, J. L.; & ZAVATINI, J. A. (Orgs). **Variabilidade e mudanças climáticas – implicações ambientais e sócioeconômicas**. Maringá. UEM. 2000.

SUERTEGARAY, D. M. A. Desertificação: recuperação e desenvolvimento sustentável. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B (Org). **Geomorfologia e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: Bertland Brasil, 2003. p. 249-290.

SUERTEGARAY, D. M. A.; NUNES, J. O. R. A natureza da Geografia Física. **Rev. Terra Livre**, São Paulo, n. 17, p. 11-27, 2001.

SUGUIO, K. **Geologia Sedimentar**. São Paulo: editora Edgard Blücher Ltda, 2003. 400p.

TELLES, T. S. **Os custos da erosão do solo**. Universidade Estadual de Londrina. Londrina, p. 61. 2010.

THOMAZ, E. L.; DIAS, W. A. Bioerosão – **Evolução do Rebanho Bovino Brasileiro e Implicação nos Processos Geomorfológicos**. *Revista Brasileira de Geomorfologia*. v.10, n.2, p. 3-11, 2009.

TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. **Desastres naturais. Conhecer para prevenir**. Instituto Geológico – Secretaria do Meio Ambiente – Governo do Estado de São Paulo. São Paulo, 2009. 196 p.

TOY, T. J.; HADLEY, R. F. **Geomorfology and reclamation of disturbed lands**. London: Academy Press, 1987. 480 p.

TUCCI, C. E. M.; COLLISCHONN, W. Drenagem urbana e controle de erosão. In: TUCCI, C. E. M.; MARQUES, D. L. da M. (Org.). **Avaliação e controle de drenagem urbana**. Porto Alegre: Ed. UFRGS, 2000. V. 1, p. 113-127.

VALE. **Duplicação da Estrada de Ferro Carajás - EFC**: estudo ambiental e plano básico ambiental – EA/PBA (Capítulo 5.1 - Diagnóstico do Meio Físico). São Luís, MA: Amplo Engenharia e Gestão de Projetos LTDA, 2011.

VIDAL-TORRADO, P.; LESPSCH, I. F.; CASTRO, S. S.; COOPER, M. **Pedogênese em uma seqüência Latossolo-Podzólico na borda de um platô na depressão periférica paulista**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 23, n. 4, p. 909-921, 1999.

VIEIRA, I. M.; KURKDJIAN, M. L. N. O. **Integração de dados de expansão urbana e dados geotécnicos como subsídios ao estabelecimento de critérios de ocupação em áreas urbanas**. In: VII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Curitiba, 1993.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R.. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.1, p.1-53, 2000.

VIEIRA, N. M. **Os processos morfogenéticos atuantes nas boçorocas de Franca (SP, Brasil)**. *Notícia Geomorfológica*, Campinas, SP, v. 15, n. 29, p. 3–52, 1975.

VIEIRA, L. S. **Manual da ciência do solo: com ênfase aos Solos Tropicais**. 2. ed. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 1988. 464 p.

WILD, A. **Soils and the environment**: na introduction. Cambridge University Press, 1993. 287 p.

ZACHAR, D. **Soil erosion (Development in Soil Science 10)**. Forest Research Institute, Zvolen. Tchecoslováquia. 1982. 548p.

ZIMBACK, C. R. L. Geoestatística. **Grupo de estudos e pesquisas agrárias georreferenciadas**. Botucatu, Universidade Estadual Paulista, 2003.

ZUQUETTE, L. V.; CARVALHO, J. A. R.; YAMANOUTH, G. R. D. B. **Feições erosivas na bacia do córrego do Espraiado, São Pedro (SP), seus tipos e evolução entre 1972 - 2002**. Revista Brasileira de Geociências, Curitiba, v. 37, p. 414-425, junho 2007.

## **APÊNDICE**

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA, NATUREZA E DINÂMICA  
DO ESPAÇO

MESTRANDO: AUGUSTO ANTONIO CARVALHO CAMPOS

ORIENTADOR: JOSÉ FERNANDO RODRIGUES BEZERRA

### **Roteiro de perguntas para entrevistas**

**1) Há quanto tempo você reside no bairro Santos Dumont?**

**2) Você se sente ameaçado pelo avanço da erosão?**

**3) Na sua opinião, o que causa esse problema?**

**4) Alguma ação já foi feita para resolver ou amenizar o problema?**