



Pós-Graduação em  
Geografia, Natureza  
e Dinâmica do Espaço



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

**GILBERLENE SERRA LISBOA**

**PROCESSOS EROSIVOS POR VOÇOROCAMENTO EM LINHA DE  
TRANSMISSÃO DE ENERGIA NO MUNICÍPIO DE SÃO LUÍS - MA**



São Luís  
2018

**GILBERLENE SERRA LISBOA**

**PROCESSOS EROSIVOS POR VOÇOROCAMENTO EM LINHA DE  
TRANSMISSÃO DE ENERGIA NO MUNICÍPIO DE SÃO LUÍS - MA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Geografia da Universidade Estadual do Maranhão, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geografia.

Linha de pesquisa: Dinâmica da Natureza e Conservação

Orientador: Prof. Dr. José Fernando Rodrigues Bezerra

São Luís  
2018

Lisboa, Gilberlene Serra.

Processos erosivos por voçorocamento em linha de transmissão de energia no Município de São Luís – MA / Gilberlene Serra Lisboa.– São Luís, 2018.

135 f

Dissertação (Mestrado) – Curso de Geografia, Universidade Estadual do Maranhão, 2018.

Orientador: Prof. José Fernando Rodrigues Bezerra.

1.Processos erosivos. 2.Linha de transmissão. 3.São Luís. I.Título

CDU: 551.3.053(812.1)

**GILBERLENE SERRA LISBOA**

**PROCESSOS EROSIVOS POR VOÇOROCAMENTO EM LINHA DE  
TRANSMISSÃO DE ENERGIA NO MUNICÍPIO DE SÃO LUÍS - MA**

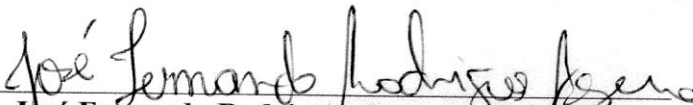
Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação  
em Geografia da Universidade Estadual do Maranhão,  
como parte dos requisitos para obtenção do título de  
Mestre em Geografia.


Linha de pesquisa: Dinâmica da Natureza e Conservação

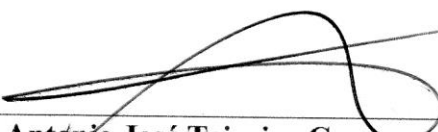
Orientador: Prof. Dr. José Fernando Rodrigues Bezerra

Aprovada em: 11/09/18

BANCA EXAMINADORA

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

  
\_\_\_\_\_  
**Profa. Dra. Quesia Duarte da Silva**  
Universidade Estadual do Maranhão- UEMA

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

*Dedicado à memória da minha avó,  
Yvone da Conceição Serra, em  
gratidão ao seu amor e apreço.*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida, por esta sempre comigo ao longo desse trabalho e de toda minha vida, guiando os meus passos, dando-me forças, coragem e proteção.

À minha Família pelo apoio e carinho nessa caminhada em especial as minhas avós Yvone Serra (*In Memoriam*) e Zima Bentivi (*In Memoriam*) e minha mãe Maria do Socorro.

Ao professor Dr. José Fernando Rodrigues Bezerra da Universidade Estadual do Maranhão pelo imenso apoio, incentivo e iniciação a pesquisa científica, dedicação e orientação na vida acadêmica, profissional.

Ao professor Antonio José Teixeira Guerra por todas as dicas, pelos diálogos, e sugestões para a pesquisa, pelos ensinamentos, eternamente grata.

Aos meus irmãos, Francineide, Marcília, Raremilson, Elton, Lucília, Maria Regina e Mailson que sempre estiveram presentes, me auxiliando e incentivando, compreendendo as minhas angústias, companheiros de todas as horas, que sempre me estimularam a continuar, me dando carinho, atenção e apoio.

Aos Meus sobrinhos Joseph Louis e Filipe pelo carinho.

À Minha Cunhada Ludylena Nascimento pelo incentivo e apoio.

Ao Laboratório de Geociências da Universidade Estadual do Maranhão, pelas análises dos solos, e os voluntários Thayane, Renan, Washington, Luciano, Alzivan pela ajuda nas análises.

Aos professores do Programa de Pós Graduação em Geografia da Universidade Estadual do Maranhão Quésia Duarte, Regina Célia, Cláudio Eduardo, José Sampaio, Ana Rosa Marques, Luís Carlos, Wasti.

Aos companheiro do grupo de pesquisa Geomorfologia e Mapeamento (GEOMAP), em especial a Danyella França, Jefferson Viana, Anny Karollyny, André Castro, Leandro Coelho e Marly Silva.

A secretária do Programa de Pós Graduação em Geografia Nana Alves, por todas as nossas conversas, puxões de orelha, por todos os auxílios durante á pesquisa.

Aos meus grandes amigos: José Marreiros, Fernanda Carvalho, Lilian Pantoja, Geovania Aires, Valdenilde Carvalho, Glauciane Rabelo, Amanda Garcia, Leonisa Santana, Alyson Almeida, Aline Carvalho, Pedro Wallace (*In Memoriam*).

A Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão- FAPEMA, pela concessão da bolsa de mestrado.

*“ A verdadeira viagem de descobrimento não consiste em procurar novas paisagens, mas em ter novos olhos”.*

**(Marcel Proust)**

## RESUMO

A pesquisa tem como objetivo analisar os processos de erosão por voçorocamento na linha de transmissão de energia, da área de influência indireta da LT ( linha de transmissão) 230 kV no município de São Luís- MA. Os procedimentos metodológicos constaram de: levantamento bibliográfico; atividade de campo; elaboração dos mapas temáticos; análise no laboratório; mensuração das taxas de infiltração. A metodologia usada para as análises dos atributos foram as seguintes: o manual de descrição de solo de Lemos; Santos (2015) e Oliveira (2011), para as seguintes características: cor, textura, estrutura (forma e tamanho), consistência e pegajosidade. Os atributos físicos dos solos coletados nos voçorocamentos foram realizadas considerando as seguintes propriedades: densidade aparente do solo, densidade de partículas , porosidade total, granulometria, conforme manual de análise de solos da EMBRAPA (2011) e o método do balão volumétrico segundo Blake; Hartge (1986) e Bowes (1986), os atributos químicos pH e matéria orgânica EMBRAPA (2017). Os teste de infiltração decorreram de acordo com os procedimentos apresentados por Hills ( 1970) e a proposta de Guerra (2011). Na Linha de transmissão identificou-se diferentes feições erosivas como as voçorocas Torres 1 , Torres 2, Sacavém, BR 1 e BR 2. Os atributos morfológicos predominantes nas erosões foram : cores do solo amarelo avermelhado e vermelho; textura entre média, arenosa e argilosa; formas subangulares e tamanhos variando pequena e média; consistência do solo em sua maioria são macia, muito friável, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa. Nestes processos erosivos os atributos físicos como a densidade aparente do solo variou entre 1,28 a 1,96 g/cm<sup>3</sup> sendo na voçoroca BR 1, a densidade de partículas variou entre os limites 2,35 g/cm<sup>3</sup> na voçoroca Torres 1 a 3,33 g/cm<sup>3</sup> na mesma voçoroca. Em relação à porosidade, o menor valor é de 26% encontrada na voçoroca BR 1 e o maior valor foi encontrado na voçoroca Torres 1 (ponto 2) de 52,25%, a granulometria com frações areia e texturas variando de franco arenosa, franco siltosa e areia franca. As taxas de infiltração nas feições erosivas mostraram resultados significativos nas voçorocas Sacavém, BR 1 e BR 2, onde as taxas de infiltração da água no solo é mais acelerada. A ocorrência das incisões está ligada às torres de energia elétrica da linha de transmissão e ocupações irregulares ao longo da faixa de servidão , bem como as características geoambientais da área em questão. A origem e desenvolvimento destes processos estão ligados a implantação das torres de energia elétrica , aos fatores controladores da erosão, como a erodibilidade, erosividade, cobertura vegetal, uso e manejo do solo e declividade.

**Palavras Chave:** Processos erosivos. Linha de transmissão. Município de São Luís.



## ABSTRACT

The objective of this research was to analyze the erosion processes by gully process in the power transmission line of the area of indirect influence of the 230 kV TL in the municipality of São Luís-MA. The methodological procedures included: bibliographic survey; field activity; preparation of thematic maps; laboratory analysis; of infiltration rates. The methodology used for the analysis of attributes was the following: the soil description manual of Lemos ; Santos (2015) and Oliveira (2011), for the following characteristics: color, texture, structure (shape and size), consistency and tackiness . The physical attributes of the soils collected in the gully process were carried out considering the following properties: soil bulk density, particle density, total porosity, grain size, according to the EMBRAPA soil analysis manual (2011) and the Blake ; Hartge volumetric balloon method (1986) and Bowes (1986), the chemical attributes pH and organic matter EMBRAPA (2017). The infiltration tests were carried out according to the procedures presented by Hills (1970) the proposal of Guerra (2011). In the Transmission Line, different erosional features were identified as the gullies Torres 1, Torres 2, Sacavém, BR 1 and BR 2. The predominant morphological attributes in erosions were reddish yellow and red soil color; texture between medium, sandy and clayey; subangular shapes and varying small and medium sizes; consistency of the soil are mostly soft, very friable, slightly plastic, slightly sticky. In these erosive processes the physical attributes such as the apparent density of the soil varied between 1.28 to 1.96 g / cm<sup>3</sup> being in the gull BR 1, the density of particles varied between the limits 2.35 g / cm<sup>3</sup> in the gullies Towers 1 to 3 , 33 g / cm<sup>3</sup> in the same gully. In relation to the porosity, the lowest value is 26% found in the gull BR 1 and the highest value was found in the gullies Torres 1 (point 2) of 52.25%, the particle size with sand fractions and textures ranging from sandy loam, franc silt and sand. The infiltration rates in the erosive features showed significant results in the Sacavém gull, BR 1 and BR 2 where the rates of infiltration of water into the soil is more accelerated. The occurrence of the incisions is related to the transmission line towers and irregular occupations at the along the range of easement, as well as the geoenvironmental characteristics of the area in question. The origin and development of these processes are linked to the electrical energy towers, erosion control factors, such as erodibility, erosivity, vegetation cover, land use and management, and slope.

**Keywords:** Erosive processes. Line of transmission. Municipality of São Luís.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Localização da área de estudo.....	19
Figura 2	Tipos principais de voçorocas... ..	29
Figura 3	Estágio evolutivo das voçorocas.....	29
Figura 4	Formas das características das voçorocas.....	30
Figura 5	Modelo de evolução.....	31
Figura 6	Ilustrativo sobre os diferentes tensões e suas respectivas faixas de Servidão.....	48
Figura 7	Infiltrômetro.....	52
Figura 8	Régua para medição do nível de água e prendedor para fixação da régua .....	53
Figura 9	Tabela do teste de infiltração.....	54
Figura 10	Cronometragem do infiltrômetro para medição da taxa de infiltração.....	55
Figura 11	Materiais utilizados nas análises no Laboratório.....	58
Figura 12	Procedimento para análise da densidade do solo e de partículas.....	59
Figura 13	Forno mufla usado para a análise de matéria orgânica pelo método direto.....	63
Figura 14	pHgametro digital.....	63
Figura 15	Geologia do município de São Luís.....	68
Figura 16	Declividade do município de São Luís.....	71
Figura 17	Hipsometria do município de São Luís .....	72
Figura 18	Geomorfologia do município de São Luís.....	73
Figura 19	Solos do município de São Luís.....	78
Figura 20	Índices Pluviométricos do município de São Luís .....	80
Figura 21	Uso e ocupação da linha de transmissão .....	84
Figura 22	Voçoroca Torres 1 .....	85
Figura 23	Voçoroca Torres 2.....	86
Figura 24	Voçoroca Sacavém.....	86
Figura 25	Voçoroca BR 1.....	87
Figura 26	Voçoroca BR 1 em 2018.....	87
Figura 27	Voçoroca BR 2.....	88
Figura 28	Voçoroca BR 2 construção muro de arrimo.....	88
Figura 29	(A) Consistência do solo seco; (B) Determinação da pegajosidade (C) Consistência do solo molhado (plasticidade e pegajosidade)	89

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Média dos índices pluviométricos nas estações	79
Tabela 2 – Características morfológicas da voçoroca Torres 1 ( ponto 1)	90
Tabela 3 - Características morfológicas da voçoroca Torres 1 ( ponto 2)	92
Tabela 4 - Características morfológicas da voçoroca Torres 2	93
Tabela 5 - Características morfológicas da voçoroca Sacavém	95
Tabela 6 - Características morfológicas da voçoroca BR 1	96
Tabela 7 - Características morfológicas da voçoroca BR 2	97
Tabela 8- Análise dos atributos físicos do solo	98
Tabela 9 - Distribuição granulométrica do ponto 2 voçoroca Torres 1	102
Tabela 10 - Distribuição granulométrica do Ponto 02 – Voçoroca Torres 1	103
Tabela 11 – Distribuição granulométrica – Voçoroca Torres 2	104
Tabela 12 – Distribuição granulométrica da Voçoroca Sacavém	105
Tabela 13 - Distribuição granulométrica da Voçoroca BR 1	106
Tabela 14 - Distribuição granulométrica da Voçoroca BR 2	106
Tabela 15 - Resultado das análises químicas do solo	108
Tabela 16 - Resultado do teste de infiltração das voçorocas estudadas	112

## LISTA DE SIGLAS

AID – Área de Influência Direta

AII - Área de Influência Indireta

APP - Área de Preservação Permanente

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

ASTM- American Society for Testing Materials

CPNSP- Comissão Tripartite Permanente de Negociação do Setor Elétrico no Estado de SP

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

DNAEE- Departamento de Águas e Energia Elétrica

DNPM- Departamento Nacional de Produção Mineira

DSG – Diretoria de Serviços Geográficos

EIA- Estudos de Impactos Ambientais

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FS- Faixa de Servidão

FUNAI- Fundação Nacional do Índio

GEOMAP – Geomorfologia e Mapeamento

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INCRA- Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

kV- Kilovolt

LT- Linha de Transmissão

LP- Licença Prévia

LI- Licença Instalação

LO- Licença Operação

MA – Maranhão

MDE- Modelo Digital de Elevação

MMA- Ministério do Meio Ambiente

MME- Ministério de Minas e Energia

PNMA- Política Nacional de Meio Ambiente

RIMA- Relatório de Impactos Ambientais

SIG- Sistema de Informações Geográficas

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	21
<b>2.1. Geomorfologia e suas aplicabilidades nos estudos de solos</b> .....	21
<b>2.2. Processos erosivos</b> .....	23
<b>2.3. Abordagem sistêmica nos estudos dos processos erosivos</b> .....	36
<b>2.4. Impactos ambientais causados por linha de transmissão de energia</b> .....	43
<b>2.5. Licenciamento ambiental para linha de transmissão</b> .....	45
<b>3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS</b> .....	50
<b>3.1. Levantamento bibliográfico</b> .....	50
<b>3.2. Atividade de campo</b> .....	50
3.2.1. Mensuração das taxas de infiltração .....	51
<b>3.3. Elaboração dos mapas temáticos</b> .....	55
<b>3.4. Análise de laboratório</b> .....	56
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	64
<b>4.1. Caracterização da área de estudo</b> .....	64
<b>4.2. Processos erosivos por voçorocamento em linha de transmissão</b> .....	85
<b>4.3. Análises dos atributos do solo</b> .....	88
4.3.1. Atributos morfológicos do solo .....	88
4.3.2. Atributos físicos do solo .....	97
4.3.3. Atributos químicos do solo .....	107
<b>4.4. Infiltração</b> .....	110
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	114
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	116

## 1 INTRODUÇÃO

O espaço geográfico é produto e produtor de diferenciações sociais e ambientais, processo que tem importante reflexo na saúde das populações. Tais processos envolvem o valor do solo, do uso que se faz dele, de modo a valorizar regiões com melhores condições ambientais e desvalorizar áreas degradadas (BARCELLOS *et. al.* 2002).

O espaço reflete e reproduz as desigualdades, não apenas as desigualdades socioeconômicas oriundas da distribuição de riqueza e renda, mas também formas díspares de exposição às ameaças ambientais vivenciadas por diferentes estratos sociais, culturais, étnicos, entre outros (GOUVEIA e HEBERMANN, 2007).

As ações humanas, tanto relativas a riscos, quanto quaisquer outras dão-se no espaço geográfico e, da mesma forma, esse espaço geográfico constitui-se em um agente para que elas ocorram. A produção do espaço acrescenta valores e significados ao uso da terra, e esses usos representam a forma física do mundo social e a base para a prática regulatória, traduzida pela ocupação e uso do solo (GOUVEIA e HEBERMANN, 2007).

A ocupação antrópica rompe a dinâmica geomorfológica natural e intensifica os processos erosivos e deposicionais (FUJIMOTO, 2002), temas analisados pela Geomorfologia Urbana (COOKE *et al.*, 1985; GOUDIE e VILES, 1997; GUERRA e MARÇAL, 2006), que é a parte da Ciência que estuda as transformações causadas pelo homem ao meio ambiente, a relação entre a combinação dos fatores do meio físico (chuvas, solos, encostas, rede de drenagem, cobertura vegetal, etc.) e os impactos provocados pela ocupação humana, que induzem e/ou causam a aceleração dos processos geomorfológicos, por vezes com um caráter catastrófico (GUERRA ; MARÇAL, 2006).

As Linhas de Transmissão de Energia Elétrica normalmente compreendem grandes extensões, isso faz com que ultrapassem diferentes atributos estéticos, culturais, abióticos, bióticos e socioeconômicos (MENEZES, 2006). Por esse motivo, acabam por causar uma série de impactos ambientais, sendo o início e a aceleração de processos erosivos um dos mais relevantes (WOSNY *et al.*, 2009).

Devido à extensão das linhas e a dificuldade de acesso, as medidas mitigatórias relacionadas ao surgimento e aceleração de processos erosivos demandam tempo e alto investimento. Neste sentido, é considerado um dos impactos mais dispendiosos, principalmente por perpetuar durante toda a vida útil da linha, além de causar danos às estruturas de transmissão (WOSNY *et al.*, 2009).

No segmento de transmissão de energia, a Linha de Transmissão (LT) é um empreendimento de grande porte que visa conectar uma fonte geradora numa ponta, por uma subestação elevadora, até um centro consumidor na outra ponta, por uma subestação rebaixadora, e deve ter tensão acima de 138 kV (CPNSP, 2005).

A concentração urbana no Brasil é da ordem de 80% da população, e o seu desenvolvimento tem sido realizado de forma pouco planejada, com grandes conflitos institucionais e tecnológicos. Um dos principais problemas relacionados com a população urbana são as inundações e os impactos ambientais. A tendência atual do limitado planejamento urbano integrado está levando as cidades a um caos ambiental com custo extremamente alto para a sociedade (GUERRA; CUNHA, 2006).

A ocupação desordenada do solo, com rápidas mudanças decorrentes das políticas e dos incentivos governamentais, agrava seus desequilíbrios. Dentre as atividades que causam degradação podem ser citadas as práticas agrícolas, desmatamento, mineração, superpastoreio e urbanização. O mau uso da terra, desmatamento, mecanização intensa, monocultura, descalçamento e corte das encostas para a construção de casas, prédios e ruas são exemplos de atividades humanas que desestabilizam as encostas e promovem ravinas, voçorocas e movimento de massa (GUERRA ; CUNHA, 1996, p.360).

Percebe-se, portanto, a necessidade de estudos amplos e detalhados, onde devem ser considerados os elementos naturais, sociais e econômicos, para se almejar uma gestão sustentável dos recursos naturais.

Os desequilíbrios ambientais originam-se, muitas vezes, da visão setorializada dentro de um conjunto de elementos que compõe a paisagem. A bacia hidrográfica, como unidade integradora desses setores (naturais e sociais) deve ser administrada com esta função, afim de que os impactos ambientais sejam minimizados (GUERRA; CUNHA, 1996).

A Geomorfologia como área do conhecimento que estuda as formas de relevo, é descrita de acordo com as variáveis: morfologia, morfogênese, morfodinâmica e morfocronologia. A **morfologia** engloba a morfografia que é a descrição qualitativa das formas de relevo, e a morfometria que é a caracterização do relevo por meio das variáveis quantitativas, também denominadas índices morfométricos. A **morfogênese** refere-se à origem e ao desenvolvimento das formas de relevo, as quais são resultantes da atuação dos processos endógenos e exógenos, e a **morfodinâmica** está relacionada aos processos atuais (ativos), endógenos e exógenos que atuam nas formas do relevo enquanto a

**morfocronologia** refere-se à idade absoluta e relativa, das formas de relevo e aos processos a elas relacionados (FLORENZANO, 2008).

As variáveis descritas acima são bastante utilizadas para os estudos geomorfológicos, geológicos, e pedológicos que estão integrados no meio ambiente, inclusive na avaliação da fragilidade e vulnerabilidade dos ambientes. Nesse contexto, os estudos dos processos erosivos ganham destaque, devido à necessidade de uma abordagem integrada para o entendimento sobre o início e desenvolvimento das feições erosivas por voçorocamento.

Atualmente, a Geomorfologia vem sendo aplicada nos estudos ambientais, com ênfase no planejamento das áreas urbanas e rurais, e dentro dessa perspectiva, a erosão dos solos ganhando destaque nas pesquisas geomorfológicas.

A degradação do recurso natural solo, tido como um recurso finito, é um dos problemas mais críticos que a população está enfrentando atualmente. As respostas para estes problemas vêm sendo demonstradas por indicadores de recuperação, mas os efeitos da degradação do solo, muitas vezes, persistem ou se estabelecem novamente (FERREIRA, 2005).

Sendo assim, a erosão do solo constitui uma das principais causas visíveis de sua degradação, com grande distribuição espacial em todo o planeta, tornando-se assim, um dos mais sérios problemas ecológicos da atualidade. A mais impressionante expressão da degradação das terras pelos processos erosivos é a formação das voçorocas (GOMES, 2006).

A erosão é considerada um processo natural de degradação dos solos. Porém, a interferência antrópica pode acelerar esse processo, causando uma rápida evolução, dando origem, assim, às voçorocas que de acordo com Neboit (1983, *in* OLIVEIRA, 1999), o termo voçoroca vem sendo associado à erosão acelerada dos solos, derivando da concepção de que ravinas e voçorocas resultam da intervenção causada pela atividade humana.

Segundo Florenzano (2008), o termo erosão engloba a remoção e o transporte de material intemperizado. Sendo a erosão pluvial principalmente em áreas de clima tropical úmido. O período de chuva é notável para que ocorra o processo erosivo, desta maneira uma parte da água da chuva vai para as plantas voltando para atmosfera através da transpiração das plantas ou mesmo indo para o solo participando do processo erosivo, que primeiramente causa o efeito *splash*, intensificando o surgimento de ravinas e posteriormente voçorocas.

A ocorrência dos processos erosivos envolve uma série de fatores que segundo Guerra (1999), determinam as variações nas taxas de erosão e podem ser subdivididos em:



erosividade (causada pela chuva), erodibilidade (proporcionada pelas propriedades dos solos), características das encostas e da cobertura vegetal.

As áreas degradadas, segundo Morgan (1981), podem ser definidas como a perda da produtividade da terra, quantitativamente ou qualitativamente, através de vários processos como erosão, ação eólica, salinização, diminuição dos nutrientes, deteriorização da estrutura do solo e poluição. A perda da produtividade pode ser parcial ou total. Os danos causados pela degradação de terras são primeiramente analisados em relação aos aspectos físicos do ambiente, como solo, relevo e clima. Outro aspecto muito importante no processo de degradação é a ação antrópica.

Para Thornes (1980) *apud* Guerra e Cunha (2012, p. 165), “os mecanismos dos processos erosivos básicos variam no tempo e no espaço, e a erosão ocorre a partir do momento em que as forças que removem e transportam materiais excedem aquelas que tendem a resistir à remoção.”

De acordo com Christofolletti (1980) voçoroca pode ser formada através de uma passagem gradual da erosão laminar para em sulcos e ravinas cada vez mais profundas ou então, diretamente a partir de um ponto de elevada concentração de água sem a devida dissipação de energia, em forma de U com o fundo plano.

A erosão é um fenômeno natural, locais que possuam declividade com inclinação superior a 3°, podem sofrer erosão. Os problemas acontecem quando taxa de perda de solo ultrapassa os níveis naturais, muitas das vezes pela falta de práticas de conservação. A erosão pode causar como exemplo, a remoção de nutrientes no topo do solo, a redução da penetração de raízes de plantas e de armazenamento de água, a diminuição de áreas utilizadas para agricultura e pecuária, o aumento do assoreamento dos rios e lagos, e a poluição dos corpos hídricos ainda destaca que as atividades humanas realizadas no solo são uma das essenciais causas de erosão. Pois com o aumento populacional se requer uma maior área de cultivo e criação de animais, tendo como consequência os desmatamentos das áreas, para a realização das atividades (GUERRA, 2013).

As erosões hídricas são aquelas ocasionadas pela água, onde o solo exposto sofre o impacto das águas de chuvas ou da ação das enxurradas. Assim esse tipo de degradação se divide em erosão entressulcos (laminar) e erosão em sulcos (linear). A erosão entressulcos se inicia com o impacto da água da chuva ou de irrigação sobre solos que estão desprotegidos de sua camada vegetal, facilitando o destacamento e transporte de partículas. Este processo se intensifica no momento em que se forma um filme líquido no solo através de sua saturação, e o material liberado pela erosão entressulco se caracteriza por serem partículas

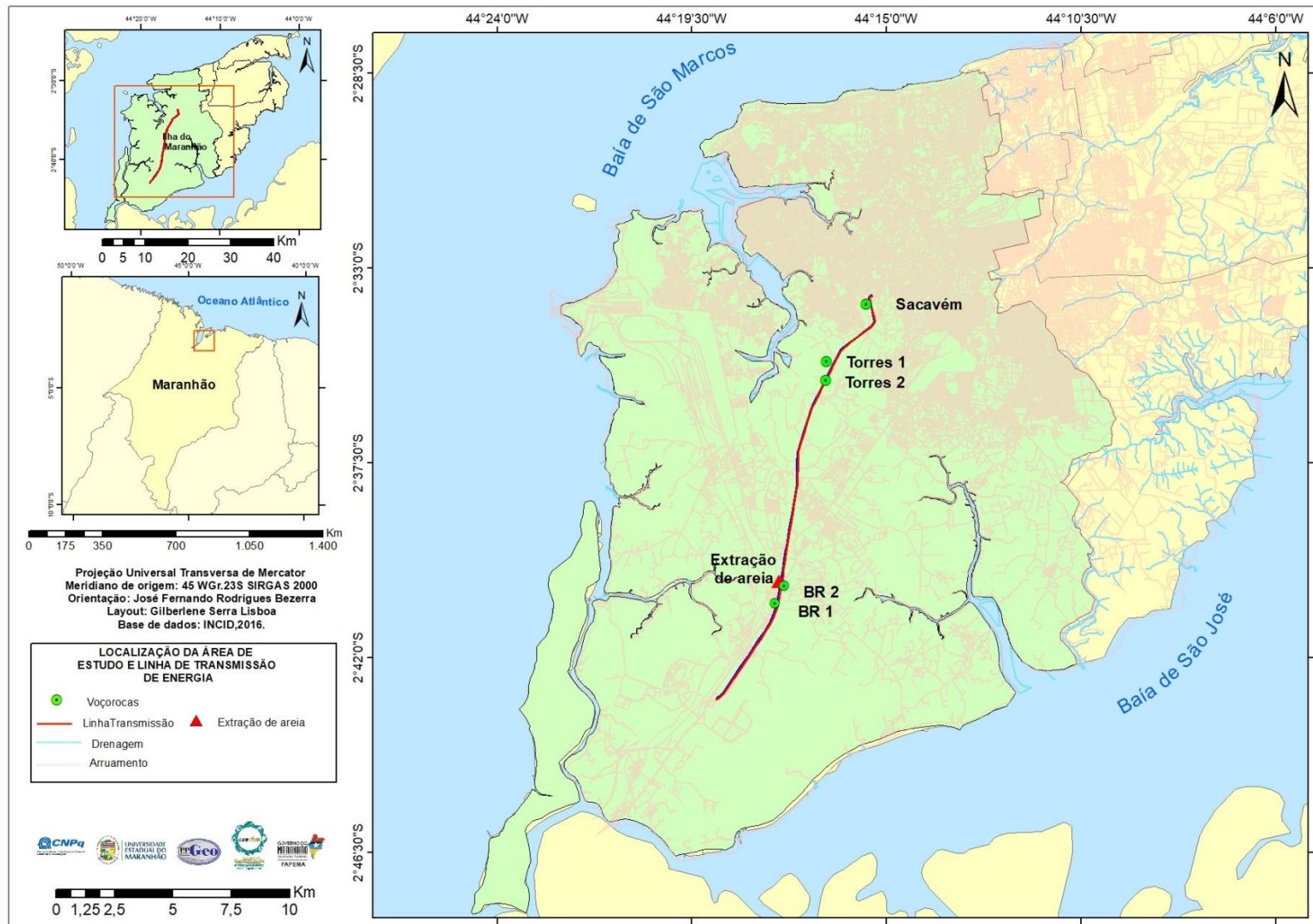
mais finas e mais leves. Já as erosões em sulcos são aquelas que se tem destaque no terreno, e o transporte do solo se ocasiona através das enxurradas ou pelo escoamento superficial, e sua granulometria é igual ao solo original, ou seja, são erosões visíveis nos campos. (MMA, 2016)

A erosão é uma das principais ameaças à capacidade de produção agrícola e à sustentabilidade dos ecossistemas Lal (2003). Neste tipo de empreendimento, ela ocorre principalmente na construção das bases e fundações das torres, na abertura de novos acessos e melhoria dos existentes e na exposição do solo às intempéries (JÚNIOR; GOPFERT, 2010).

No Brasil, vários trabalhos sobre início e desenvolvimento de processos erosivos vêm sendo desenvolvidos em diversas cidades do país, como por exemplo: em Manaus – Amazonas (VIEIRA *et al.*, 2002; DIRANE, 2016); em Natal e Parnamirim – Rio Grande do Norte (RAMALHO, 1999); em Barreiras – Bahia (ANDRADE *et al.*, 2002); em Recife – Pernambuco (SILVA & GUERRA, 2002); Uberlândia – Minas Gerais (ALVES *et al.*, 2002; BEZERRA, 2006); em Petrópolis - Rio de Janeiro (GONÇALVES & GUERRA, 2001); em Macaé – Rio de Janeiro (LIMA *et al.*, 2008); em Goiânia e Quirinópolis - Goiás (SOUSA, 2002; SOUSA, 2010); em Sorriso – Mato Grosso (ALMEIDA & GUERRA, 2001; LOUREIRO *et al.*, 2008); em São Luís – Maranhão (MENDES *et al.*, 2008; BEZERRA *et al.*, 2009; GUERRA *et al.*, 2009; SATHLER, 2010, BEZERRA, 2011, LISBOA, 2014); em Tepequém - Roraima (NASCIMENTO, 2015) em Jacareí e Presidente Prudente – São Paulo (ALBUQUERQUE, 2015; MATHIAS, 2016) entre outros, evidenciando a preocupação de estudiosos e profissionais com a problemática dos processos erosivos.

No Município de São Luís, foram identificados vários trechos em que se identificam fenômenos erosivos em larga escala, destacando-se as feições erosivas ao longo da linha de transmissão de energia (Figura 1).

**Figura 1 – Localização da área de estudo**



O objetivo geral da dissertação foi analisar os processos erosivos por voçorocamento na linha de transmissão de energia, da área de influência indireta da LT 230 kV no município de São Luís/MA. Os objetivos específicos foram: 1) analisar os atributos morfológicos, físicos e químicos dos solos; 2) mensurar a taxa de infiltração nas voçorocas selecionadas, de acordo com os procedimentos proposto por Hills.

Logo, a estrutura da dissertação foi organizada da seguinte forma: em cinco capítulos. Tem-se no capítulo 1, uma introdução acerca do tema proposto, transcorrendo sobre a degradação do solo, a erosão, a geomorfologia como área do conhecimento nos estudos ambientais e a área de estudo é a linha de transmissão de energia com ênfase nos processos erosivos por voçorocamento.

No capítulo 2 aborda o referencial teórico perpassando sobre a geomorfologia e suas aplicabilidades nos estudos de solos, processos erosivos, abordagem sistêmica nos estudos dos processos erosivos, os impactos ambientais causados por linha de transmissão de energia e o licenciamento ambiental para este tipo de empreendimento.

No capítulo 3 os procedimentos metodológicos das etapas que ocorreram na pesquisa como: levantamento bibliográfico, atividade de campo, mensuração da taxa de infiltração, elaboração dos mapas temáticos, análise no laboratório dos atributos propostos.

No capítulo 4 são descritos os processos erosivos por voçorocamento encontrados ao longo da linha de transmissão, caracterização geoambiental da área de estudo como: localização, geologia, geomorfologia, solos, clima, hipsometria, declividade e uso e ocupação, os atributos morfológicos, físicos divididos em densidade do solo, partículas, porosidade e granulometria do solo, atributos químicos, a taxa de infiltração.

No capítulo 5 são apresentados as conclusões finais da pesquisa.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste item a pesquisa mostrará abordagens de autores com relação às bases teóricas conceituais de temas como Geomorfologia, Processos erosivos, abordagem sistêmica, dando ênfase à legislação e os impactos ambientais em na linha de transmissão.

### 2.1 Geomorfologia e suas aplicabilidades nos estudos de solos

A Geomorfologia tem sido fundamental nos estudos relacionados á erosão dos solos, sendo que sua contribuição podem diminuir os efeitos danosos aos solos e ao meio ambiente como um todo, produzidos principalmente, pela agricultura e pela pecuária (GUERRA; MARÇAL, 2014).

O conhecimento da geomorfologia procura entender as formas de relevo e os processos associados, podendo ser mais bem empregados no uso mais racional dos solos, evitando danos tanto no local onde as atividades rurais são praticadas, como áreas mais afastadas. A propósito, Guerra e Mendonça (2004) apontam que “os processos erosivos acelerados causam prejuízos ao meio ambiente e à sociedade, tanto no local (*onsite*), onde os processos ocorrem como em áreas próximas ou afastadas (*offisite*).

A ciência geomorfológica compreende as formas de relevo, em diferentes escalas espaciais e temporais, explicando não só a sua gênese, mas também como evoluem no tempo e no espaço. Para que esse estudo atinja os objetivos é preciso que o geomorfólogo tenha conhecimentos em vários campos do saber, tais como: Pedologia, Climatologia, Geologia, Biogeografia etc. Ou seja, as formas de relevo e os processos associados têm sua origem na combinação dos processos que ocorrem no interior do planeta (forças endógenas) e aqueles externos (forças exógenas), vindo da atmosfera (GUERRA; MARÇAL, 2014).

O diagnóstico de uma área degradada, neste sentido a geomorfologia passa a ter um importante papel, juntamente a Pedologia, no diagnóstico de áreas degradadas, porque todas ou quase todas as atividades que os seres humanos desenvolvem na superfície terrestre está sobre algum tipo de relevo ou de solo. Assim como a geomorfologia tem um papel fundamental no diagnóstico, possui também grande

relevância na recuperação das áreas degradadas. Essas áreas ocupam sempre alguma porção de uma encosta, o topo de uma chapada, o fundo de um vale, a margem de um rio, parte de uma praia ou restinga, alguma falésia, enfim, alguma porção do relevo terrestre que foi afetada por um dano ambiental, provocado pelo homem ou por causas naturais (GUERRA; MARÇAL, 2014).

A geomorfologia aplicada às linhas de transmissão de energia elétrica onde as torres de transmissão de energia elétrica podem causar sérios impactos ambientais relacionados à erosão dos solos, bem como a movimento de massa, que podem ser ocasionados pelo desmatamento que é necessário para a instalação das torres de transmissão de energia. Além disso, há necessidade de algumas pequenas estradas serem construídas para a manutenção permanente que existe, ao longo das linhas de transmissão. Esse tipo de atividade econômica tem causado uma série de impactos no Brasil e no mundo, em função de, na maioria das vezes, não serem levadas em conta as propriedades químicas e físicas dos solos onde as torres são construídas, bem como outras características das encostas, distribuição pluviométrica, cobertura vegetal etc., que são importantes no desencadeamento desses processos geomorfológicos (SMALL e CLARK, 1982; PARSON, 1988; GOUDIE, 1990 E 1995; SELBY, 1990 E 1993; GUERRA, 2002, 2003 E 2005; MORGAN, 2005).

Como aponta Hart (1986), a Geomorfologia pode ser aplicada a uma gama bem variada de setores, e um deles se refere às linhas de transmissão de energia. Os problemas relacionados ao manejo dessas áreas atingidas por esses empreendimentos devem ser analisados com muita cautela, pela Geomorfologia, na medida em que vai procurar entender quais os tipos de mudanças que ocorreram na cobertura vegetal, bem como nas encostas onde foram colocadas as torres e nos solos que sofreram todos esses tipos de impacto.

A erosão dos solos é um exemplo de processo geomorfológico que vem acarretando a degradação ambiental em vários países do mundo (COOKE e DOORNKAMP, 1990; BLUM, 2002; MORGAN, 2005; BOARDMAN, 2006; GUERRA, 2014 e 2016; GOUDIE, 1995; FULLEN e CATT, 2004;; JORGE e GUERRA, 2013; BEZERRA, 2011; IONITA *et al.*, 2015 ; CHICAS *et al.*, 2016; GUERRA *et al.*, 2017,). Ela ocorre, sobretudo, devido à interação de alguns fatores controladores, sendo eles erosividade da chuva, erodibilidade do solo, características da encosta e cobertura vegetal. Porém, as atividades humanas desenvolvidas sem a preocupação com a conservação dos solos têm acelerado a ocorrência no tempo-espaço

de processos erosivos, ligados ao escoamento superficial e subsuperficial da água, causando danos/riscos para a população (GOUDIE, 1995; MORGAN, 2005; GUERRA e MARÇAL, 2012; GUERRA, 2013; JORGE e GUERRA, 2013; HOLZ *et al.*, 2015).

Em muitas partes do mundo, o rápido processo de urbanização tem causado diversos tipos de impactos às sociedades e ao meio ambiente. Para combater esses tipos de impactos, muitas cidades têm introduzido diferentes tipos de políticas públicas. No entanto, o uso da Geomorfologia no planejamento ambiental não tem sido tarefa fácil para os administradores (PERVEEN *et al.*, 2017). Para facilitar essa tarefa, os autores aqui citados propõem um método de planejamento que se baseia em cenários que produzem diferentes visões para o crescimento urbano, de maneira sustentável, ao incorporar diversas abordagens socioambientais. Dessa forma, Perveen *et al.* (2017) chamam atenção para as dificuldades em criar modelos de crescimento urbano associados aos impactos que esses cenários podem proporcionar, para fortalecer e quantificar o futuro das políticas urbanas relacionadas com o planejamento ambiental.

A propósito disso, Guerra e Marçal (2015) apontam a importância do conhecimento geomorfológico em relação à abordagem dos sistemas físicos, porque as atividades desenvolvidas na superfície terrestre estão sempre sobre alguma forma de relevo e algum tipo de solo. Ou seja, esse conhecimento, além de poder evitar a ocorrência de impactos ambientais sobre o ambiente, pode auxiliar no tão propalado desenvolvimento sustentável a que se refere Haughton (2017).

## 2.2 Processos Erosivos

Sudo, Godoy e Freire (1991, p.1) destacam que “a erosão do solo representa um dos aspectos mais importantes da degradação ambiental rural, comum a várias regiões do país, como consequência da longa pressão antrópica sobre os recursos naturais”. Na perspectiva do geógrafo e do geólogo, e a “[...] realização de um conjunto de ações que modelam uma paisagem” (GUERRA; GUERRA, 2009, p. 229).

O termo “erosão” se refere a um: Conjunto de processos que atuam na superfície terrestre, levando à remoção de materiais minerais e rochas decompostas. Quando a água constitui o agente essencial o processo de dissolução torna-se muito importante. Os principais agentes de remoção física e transporte durante os processos de erosão são os seguintes: eólico, fluvial, marinho e glacial. (SUGUIO, 1998, p. 276).

O termo erosão provém do latim “erode-erodere” cujo significado é corroer e tem várias definições na literatura. De uma forma geral, erosão é um termo que representa um conjunto de ações, incluindo o desprendimento (desagregação), o arraste (transporte) e a deposição das partículas de solo causada por agentes erosivos, tais como o gelo, o vento, a gravidade e a água. Em particular, a erosão onde o agente erosivo é a água é chamada de erosão hídrica (BERTONI E LOMBARDI NETO, 1985; GALETI, 1985; JACINTHO *et al.*, 2006).

Corrêa (1998, p. 118) diz que “a erosão é um fator natural, mas que devido a práticas incorretas, tem sido muito acelerada pelo homem”. Nascimento (1994, p. 77) menciona que “os danos causados por essas erosões têm sérias consequências socioeconômicas, que vão da perda de casas e de solos agricultáveis à perda de vidas” e Nolla (1982, p. 68) assevera que “as causas de existência da erosão são, portanto, a eliminação progressiva das condições naturais do solo, o que faz com que seu equilíbrio, a harmonia do seu conteúdo sejam abaladas”.

Para Bertoni e Lombardi Neto (2005), a erosão é produto da interação de forças ativas como as características da chuva, declividade e comprimento do terreno e a capacidade de absorver água do solo e, as forças passivas, constituídas pela resistência do solo à abrasão da água, bem como, pela densidade da cobertura vegetal.

Veyret e Richemond (2013) consideram a erosão acelerada dos solos como um tipo de risco natural agravado, ou provocado pelas atividades humanas. No entanto, muitos estudos de caso tratam a possibilidade de ocorrência de processos erosivos como suscetibilidade (VIERO, 2004; LIMA, 2008; COSTA *et al.*, 2009; VALE JUNIOR *et al.*, 2009; XAVIER *et al.*, 2010; SILVA *et al.*, 2012; GUIMARÃES e VALE, 2012; GUO *et al.*, 2013; DUARTE *et al.*, 2014; SILVA, 2014).

Um dos tipos de degradação do solo mais grave e perceptível é a erosão hídrica acelerada. Embora a erosão seja um processo natural, ela pode constituir-se em um tipo de processo de degradação do solo (MULLAN, 2013).

Os processos erosivos podem ser causados por ações antrópicas, como a retirada da camada vegetal deixando o solo exposto. Lembrando que a intensidade e a magnitude de uma erosão têm relação com as condições naturais, por exemplo, a declividade e a vulnerabilidade terreno, tipos de solos e sua associação com os volumes das águas de chuva, como infiltração e escoamento superficial. O clima, relevo, solo, formações rochosas e cobertura vegetal são fatores que contribuem na determinação ,extensão, e grau de severidade da erosão, e as variações de cada um destes fatores,



interfere em sua intensidade. A inclinação e o comprimento das encostas interferem na velocidade de escoamento superficial, resultando assim em uma maior eficiência no processo de erosão (MMA, 2016).

Os processos erosivos estão relacionados aos solos com maior ou menor resistência a ação da água. A erodibilidade dos solos, está associada à resistência do solo a sofrer erosão. Solos que tem uma alta erodibilidade são solos que tem um maior potencial a sofrer erosão. Podemos destacar a granulometria, estrutura e agregação dos horizontes superficiais, capacidade de infiltração e retenção de água, teor de matéria orgânica e espessura dos solos como fatores que definem sua resistência à erosão. Solos arenosos apresentam macro poros que facilitam a infiltração da água diminuindo o escoamento superficial (MMA, 2016).

O surgimento de voçorocas ocorre especificamente em terras íngremes quando cultivadas de maneira inadequada ou quando terras ligeiramente inclinadas ficam expostas a chuvas torrenciais durante certo intervalo de tempo (NOLLA, 1982; CASSETI, 1987/1988; CARNEIRO, 2005; AMARAL, 1981; FLEURY, 1983). O fenômeno da erosão acelerada, na forma de voçorocas, tem despertado interesse crescente, no seio da ciência geográfica.

Vários trabalhos têm ressaltado o caráter destrutivo da erosão acelerada em áreas urbanas e rurais, dentre os quais se destacam Iwasa e Prandini (1980), Nolla (1982), Fleury (1983), Casseti (1987/1988), Bertoni e Lombardi Neto (1993), Guerra, Silva e Botelho (1999), Carneiro (2005), Carvalho *et al.* (2006), Suertegaray (2008), e outros.

As taxas erosivas nas áreas rurais tendem a aumentar, em frequência e magnitude, em terrenos deixados descobertos durante parte do ano (GUERRA; MENDONÇA, 2004). Os solos submetidos à agricultura altamente mecanizada por um período prolongado também estão vulneráveis aos processos de erosão, principalmente lineares. O declínio de matéria orgânica nos horizontes superficiais do perfil pedológico proporciona a formação de crostas, o que dificulta a infiltração e incrementa o escoamento superficial (GUERRA, 1999).

Segundo Infanti Jr. e Fornasari Filho (1998), os fenômenos associados à formação de erosões lineares são comandados fundamentalmente por dois conjuntos de fatores ou condicionantes, denominados de fatores antrópicos e fatores naturais. Os primeiros referem-se ao desmatamento e as variadas formas de uso e ocupação do solo, como urbanização, construção de estradas/rodovias, áreas agrícolas, pastagens, dentre

outras. Os segundos determinam a intensidade dos processos, destacando-se a chuva, a cobertura vegetal, o relevo, os tipos de solo e o substrato rochoso.

Para Bertolini e Lombardi Neto (1994), a erosão implica diminuição da produção agrícola, menor cobertura do solo, redução da matéria orgânica e degradação física, química e biológica do solo.

Guerra (1994) considera a erosão uma das causas da degradação dos solos, apresentando como fases, a remoção, o transporte e a deposição. Quanto à noção de perda de solo, esta deve considerar o quanto está disponível para a agricultura, pois o uso agrícola aumenta a erodibilidade.

Nas áreas rurais, a erosão laminar é a predominante e mais problemática, enquanto nas áreas urbanas, a forma mais crítica é a voçoroca, segundo Bigarella; Mazuchowski (1985).

Como consequência da erosão, temos ainda, a diminuição da produtividade agrícola e a poluição dos mananciais. Esta última é decorrente do arraste de sedimentos, nutrientes químicos e defensivos agrícolas, ocorrendo também o manejo inadequado de pulverizadores e o descarte incorreto das embalagens vazias, e o transporte de vinhaça nas regiões sucroalcooleiras (BERTOLINI ; LOMBARDI NETO, 1994).

As voçorocas são formas agressivas de erosão dotadas de grande poder destrutivo e difícil controle, que ocorrem em diferentes formas de encostas resultantes de alguma alteração do meio físico. Seu nome, voçoroca, tem origem na língua Tupi-guarani, *ibiçoroca*, *yby* = terra + *coroca* = romper; literalmente terra rompida (OLIVEIRA ; MEIS,1985).

Na definição do novo dicionário geológico geomorfológico,(Guerra e Guerra , 2006), voçoroca é definida como uma escavação ou rasgão do solo ou da rocha decomposta, ocasionada pela erosão de escoamento superficial e também pelo escoamento subsuperficial. Ressalta ainda o mesmo verbete, que tem a aparência de *bad lands* quando em grande número e relativamente paralelas uma das outras.

Salomão e Iwasa (1995), resumem e descrevem uma voçoroca como, palco de diversos fenômenos sendo a erosão superficial, erosão interna, solapamentos, desabamentos e escorregamentos, manifestações que se conjugam e conferem a esse tipo de erosão característica de evolução rápida e elevado poder destrutivo.

Oliveira (2007), ao conceituar voçoroca, reporta-se que estas podem ser vistas como canais incisos que resultam de desequilíbrios naturais ou induzidos pelo homem.

Para Guerra (2007), as voçorocas características erosivas nas encostas, possuem paredes laterais íngremes e em geral fundo chato, com fluxo de água em seu interior por ocasião do período chuvoso, ou dependendo da profundidade, por atingir o lençol freático.

Segundo Sobreira (1998), as voçorocas originam-se de um desequilíbrio morfohidropedológico das encostas, e são aceleradas por fatores antrópicos como desmatamento, atividades agrícolas e até mesmo urbanas.

De acordo com Bigarella *et al.* (2007), nas voçorocas atuam outros processos e fatores além daqueles ligados ao escoamento superficial, enfatizando que a erosão acelerada tem nas águas de subsuperfície o fator que comanda a eclosão e a continuidade desse fenômeno erosivo, que pode assumir forma catastrófica.

Segundo Fleury (1983, p. 202), a voçoroca seria uma “escavação ou rasgão natural nos solos, podendo atingir até o horizonte C do regolito, às vezes com profundidades acentuadas, pela ação de água de enxurradas, de forma turbulenta e direcionada no terreno, com sedimentos suspensos, advindas logo após chuvas torrenciais ou copiosas”.

O mesmo pesquisador (1983, p. 203-204), informa que as voçorocas podem ser classificadas em vários tipos. São elas:

a) Voçorocas mortas ou inativas são aquelas em que cessaram, ou foram reduzidas ao mínimo, as causas da sua origem ou desenvolvimento, quer naturalmente, quer por controle através de métodos de combate. Este tipo pode ser reativado se o que bloqueou a ação da água for liberado;

b) viva ou ativa, em que se acha em franca progressão, com afundamento e alargamento da valeta, ou com um desses processos em progressão, isoladamente;

c) Voçorocas isoladas, quando se tem várias voçorocas separadas por largas faixas de terreno;

d) Voçorocas múltiplas, quando se tem voçorocas muito próximas entre si, de forma radial ou paralela;

e) Voçoroca seca, quando a erosão não atinge o lençol freático, portanto não tem água permanente no fundo da valeta;

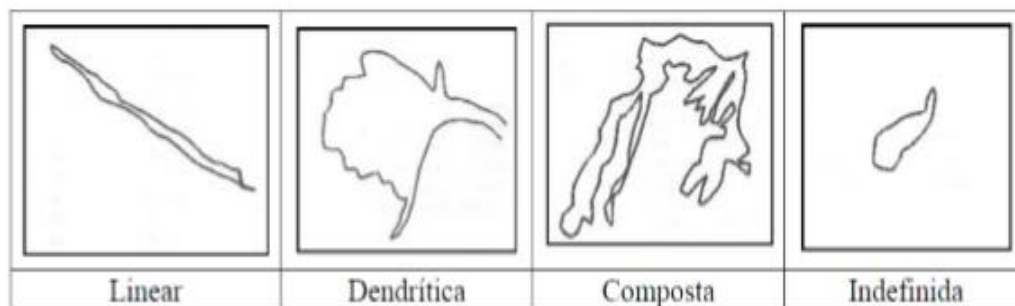
f) Voçoroca úmida, quando a erosão atinge o lençol freático mantendo um fluxo d’água permanente no fundo da valeta, ou um excesso de umidade permanente.

De uma maneira geral, autores como Gorshkov e Yakushova (1970 apud MACIEL FILHO, 1997), Fendrich (1982 apud FENDRICH *et al.*, 1991) e Bigarella (2003) destacam quatro estágios de desenvolvimento de uma voçoroca: (a) No primeiro estágio ocorre a formação de sulcos com o escoamento superficial concentrado; (b) No segundo há um aprofundamento e alargamento da voçoroca com o surgimento da cabeceira da feição devido à erosão regressiva; (c) No terceiro estágio ocorre o encontro do nível base de erosão com a formação do fundo plano. Geralmente há o surgimento de fontes que colocam em evidência a contribuição da água subterrânea para o processo erosivo. (d) Na quarta e última etapa a voçoroca começa a se estabilizar, com o abrandamento dos taludes e a implantação da vegetação oriunda dos escorregamentos.

Autores como Fendrich *et al.* (1991) classificam as voçorocas de acordo com o formato da seção transversal (formato em U e em V). A voçoroca com formato em “U” é encontrada normalmente em regiões onde o solo e subsolo são mais facilmente erodíveis, não significando necessariamente um perfil mais estabilizado. Neste caso, as paredes são quase verticais e a ampliação lateral é realizada por erosão superficial ou por descalçamento da base da parede devido à ação da água subterrânea.

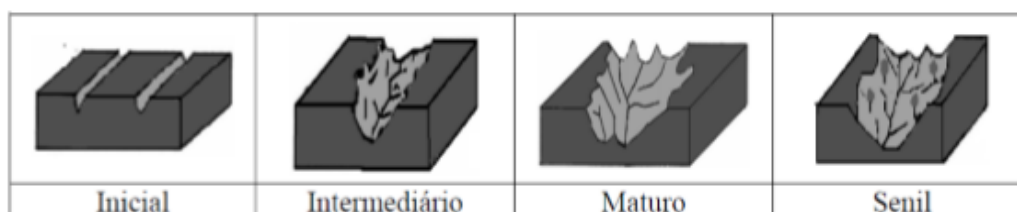
A voçoroca com formato em “V” está relacionada a solos mais resistentes à erosão, onde o escoamento superficial concentrado atua preponderantemente à ação da água subterrânea. Este formato é mais comum no início do processo erosivo, muito embora seja frequente encontrar ambos os formatos numa mesma voçoroca, independentemente de sua idade ou estabilização.

Augustin e Aranha (2006), em seus estudos em Gouveia/MG, encontraram a partir de mapeamento e fotointerpretação quatro tipos principais de voçorocas (Figura 2), e ressaltam que as formas variadas dependem de fatores naturais como tipo de rocha e páleorelevo e/ou fatores antrópicos. As de forma linear têm como característica principal ausência de ramificações significativas, as dendríticas ou arborescentes tem como padrão dominante um crescimento e desenvolvimento com vários ramais ou dígitos. As compostas são aquelas que não apresentam padrão único, mas podem ser bulbosas e depois lineares e vice-versa e ainda as indefinidas que, segundo os autores, apresentam em seus canais um processo de abertura não mostrando ainda uma forma definitiva.

**Figura 2-** Tipos principais de voçorocas

Fonte: Augustin e Aranha (2006)

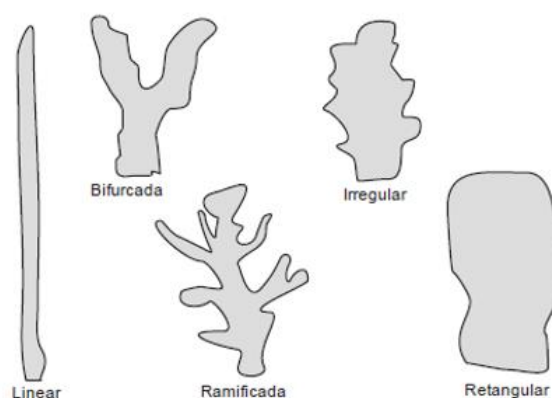
Para outros autores, como Morgan (1996), Vandaele *et al.* (1996) e Poesen *et al.* (2003) citados por Ferreira e Pejon (2007), as voçorocas apresentam 4 estágios desde sua formação até sua inatividade (Figura 3). No primeiro estágio – Inicial: formam-se pequenos sulcos ou reentrâncias nas encostas devido a diversos fatores associados ao escoamento superficial, e o resultado é a formação de um canal principal bem definido, com uma escarpa de cabeceira onde se desenvolvem fluxos críticos que aceleram o processo. 2º estágio – Intermediário: ocorre progressão acelerada da cabeceira da feição pelo aprofundamento do canal e progressão para montante, e lateral resultantes do escoamento tanto de superfície como subsuperfície. Os vales exibem formas em V e o fundo normalmente apresenta vários degraus. 3º estágio – Maduro: não ocorre mais aprofundamento, a feição apresenta uma forma em U sem números significativos de degraus, com progressão predominante nas laterais. Nesse estágio normalmente a largura é maior que a altura. 4º estágio – Senil: a partir desse ponto a erosão torna-se uma feição estável de relevo e podem ser consideradas inativas.

**Figura 3-** Estágio evolutivo das voçorocas

Fonte: Modificado de Guimarães (2008)

As formas das voçorocas (Figura 4) podem auxiliar no entendimento de sua origem. Nesse sentido Vieira (2008), definiu cinco padrões de voçoroca: linear, está ligada á existência de uma zona principal de convergência de drenagem; a bifurcada apresenta duas zonas de contribuição de fluxos superficiais concentrados; a ramificada se caracteriza pela ocorrência de vários canais de drenagem superficiais; a irregular pode está ligada a existência de um ou mais fluxos superficiais concentrados, caracterizando-se transitório entre as outras formas existentes; a retangular pode ser, na maioria dos casos a forma final da expansão de uma das outras formas descritas.

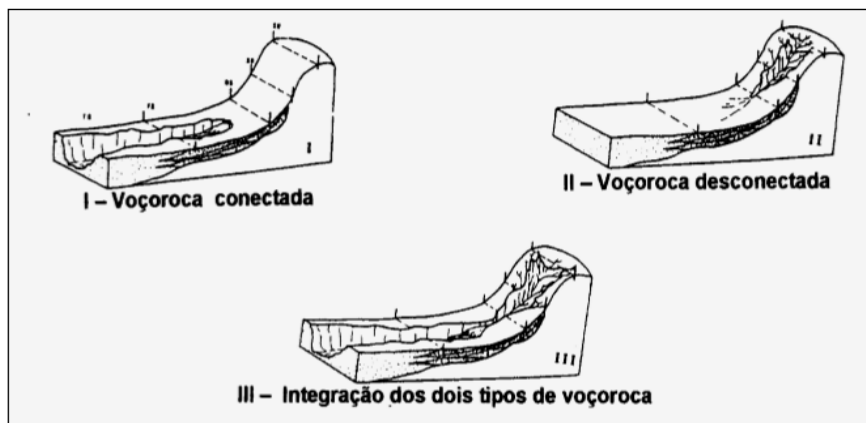
**Figura 4** - Forma das características das voçorocas



Fonte: Vieira, 2008.

As voçorocas segundo Oliveira (1989), podem ser de três tipos (Figura 5):

- 1) conectadas - se associam ao escoamento hipodérmico e/ou subterrâneo nas partes baixas da encosta, podendo ser consideradas canais de primeira ordem;
- 2) desconectadas - encontrando-se na parte superior da encosta, estão ligadas ao escoamento superficial e/ou a movimentos de massa e não poderiam ser consideradas canal de primeira ordem por não estarem ligadas a nenhuma rede de drenagem; e,
- 3) integradas - são na verdade a junção das duas formas anteriores (voçorocas conectadas e voçorocas desconectadas), formando uma só incisão erosiva (VIEIRA, 2008) estas mudam totalmente a forma do relevo.

**Figura 5-** Modelo de evolução das voçorocas

Fonte: Oliveira, 1989.

As voçorocas podem ser classificadas também quanto ao tamanho (Quadro 1), pelo volume erodido em  $m^3$ . Vale destacar, que tal classificação ajuda a visualizar a magnitude da feição e o volume erodido, servindo também como subsídio para a recuperação da área degradada (VIEIRA, 2008).

**Quadro 1** - Classificação das voçorocas por tamanho ( $m^3$ )

Ord.	Volume erodido	Tamanho
01	Até $999m^3$	Muito pequena
02	De $1.000m^3$ até $9.999m^3$	Pequena
03	Entre $10.000m^3$ e $19.999m^3$	Média
04	Entre $20.000m^3$ e $40.000m^3$	Grande
05	Mais de $40.000m^3$	Muito grande

Fonte: Vieira e Albuquerque (2004)

Os tipos de voçorocas (conectada, desconectada e integrada) foram verificados diretamente em campo pelo modelo de evolução (Figura 5) de voçorocas de Oliveira (1992). A forma (Figura 4) (retangular, bifurcada, ramificada, linear e irregular – também foi observada diretamente em campo e ajudou a entender a origem e até mesmo o estágio de evolução de cada incisão. A adoção de uma classificação por tipo e forma ajuda a estabelecer o estágio de evolução das voçorocas (VIEIRA, 2008). O monitoramento das voçorocas realizados em campo possibilitará a previsão do risco das voçorocas em direção a pista, que será baseada na escala de risco erosivo (Quadro 2) de Tavares e Vieira (2010).

**Quadro 2** -: Escala de risco erosivo

Nível	Intervalo*	Descrição	Meses
1	0 – 3	risco imediato	0 – 6
2	3 – 6	risco a curto prazo	6 – 15
3	6 – 15	risco a médio prazo	15 – 36
4	> 15	risco a longo prazo	> 36

\*Intervalo em metros

Fonte: Tavares e Vieira (2010).

Segundo Oliveira (1999) os principais mecanismos responsáveis pela erosão em ravinas e voçorocas são: (a) destacamento das partículas de solo por impacto das gotas de chuva; (b) transporte de partículas do solo pelo escoamento superficial difuso e pelo fluxo concentrado; (c) erosão por queda-d'água (*plunge pool erosion*); (d) solapamento da base dos taludes; (e) liquefação das partículas de solo; (f) movimentos de massa localizados; e (g) arraste das partículas do solo por percolação em meio poroso e através de dutos (*piping*).

Para Oliveira (1999) as feições erosivas são encontradas no interior de ravinas e voçorocas, como resultado dos mecanismos responsáveis por estas erosões. São inúmeras as feições erosivas, entre elas podemos citar:

(a) *demoiselles*, também chamadas de erosão em pedestal, são uma forma de erosão com desenvolvimento lento, ocorrendo quando o solo erodível é protegido da ação do salpicamento, seja por seixo ou por uma camada de solo oxidada. Através deste tipo de erosão é possível deduzir, aproximadamente, qual o volume de solo erodido, tendo como base a altura dos pedestais.

(b) sulcos e ravinas formados na superfície exposta do talude, no interior das voçorocas, indicam o caminho preferencial do escoamento superficial concentrado.

(c) alcovas de regressão são feições erosivas que podem ser observados sob diferentes condições litológicas e climáticas, podendo ser esculpidas tanto pelo escoamento superficial na forma de filetes subverticais quanto



pelo afloramento do lençol freático, ou pela combinação desses dois mecanismos.

(d) filetes subverticais são encontrados, preferencialmente, em paredes de voçorocas esculpidas em materiais pouco coesivos em contato com materiais de maior coesão. As marmitas ou panelas (*plunging pool*) resultam do efeito da erosão por queda-d'água na base do talude ou em degraus no interior das voçorocas.

(e) movimentos de massa constituem diversas feições erosivas no interior das voçorocas, como escorregamentos rotacionais e translacionais, corrida de lama e queda de torrões, sendo responsáveis pelo alargamento e avanço das incisões erosivas.

(f) erosão interna (*piping*) pode estar vinculada à erosão por voçoroca. Segundo Camapum de Carvalho *et al.* (2006) erosão subterrânea ou *piping* é o processo de formação de tubos ou canais a partir da face de um talude através do transporte de partículas do solo, podendo evoluir para grandes cavidades no subsolo. A presença de terrenos estratificados é um condicionante geológico geralmente favorável à ocorrência de *piping*, pois concentra o fluxo em uma determinada camada em função da diferença de textura e, aliada ao relevo ondulado, é um fator determinante para a erodibilidade do solo/rocha.

(g) pináculo, comumente encontrada no interior dos anfiteatros das voçorocas. Segundo Bertoni e Lombardi Neto (1985) e Camapum de Carvalho *et al.* (2006) essa forma de erosão deixa altos pináculos nos fundos das ravinas e voçorocas, sendo relacionado com a dificuldade do solo em ser erodido.

A taxa de infiltração de água no solo contribui diretamente na formação e aceleração dos processos erosivos. A infiltração sofre influência de diversos fatores, como as características do solo, tipo de cobertura do solo, tipo de preparo e manejo do solo e o encrostamento superficial (Brandão *et al.*, 2003). Se a infiltração ocorrer mais rapidamente, haverá uma menor quantidade de água na superfície do solo para formar o escoamento superficial, diminuindo o número de eventos erosivos ocasionados por estes escoamentos.

O escoamento superficial é um dos meios que proporciona a circulação da água no ciclo hidrológico, podendo ocorrer pelo escoamento do excedente hídrico gerado durante as chuvas nas vertentes e pelo escoamento em canais.

Para Villela e Matos (1977, p...?), “[...] o escoamento superficial abrange desde o excesso de precipitação que ocorre logo após uma chuva intensa e se desloca livremente pela superfície do terreno, até o escoamento de um rio, que pode ser alimentado tanto pelo excesso de precipitação como pelas águas subterrâneas”.

O transporte de solo pela água depende de uma série de fatores, como por exemplo, da quantidade, intensidade e duração da chuva, do tipo de solo, da cobertura vegetal, da declividade, do uso e ocupação do solo. A interpelação desses diferentes fatores confere maior ou menor resistência à formação de processos erosivos, o que pode ser chamado de vulnerabilidade ou risco do solo a erosão (DOMINGOS, 2006).

De acordo com Jorge e Guerra (2013, p. 10), a taxa de formação dos solos no mundo é em média de 1 tonelada/hectare/ano, porém “na África, Ásia e América do Sul, as perdas chegam a 30 t/ha/ano, e 17 t/ha/ano na Europa, mesmo em condições de clima temperado, com chuvas menos intensas”. Os danos ambientais causados pela erosão podem ser percebidos no local (*onsite*) e fora do local (*offsite*), sendo exemplos, respectivamente, a diminuição da fertilidade dos solos e o assoreamento de rios, lagos e reservatórios (JORGE e GUERRA, 2013; GUERRA e MENDONÇA, 2014; GUERRA, 2014; LIU *et al.*, 2015).

Segundo Guerra *et al.* (2014), o Brasil é marcado por uma grande diversidade de tipos de solos e características ambientais relacionadas, revelando potencialidades no uso da terra no país, como também limitações impostas pelas características naturais e socioeconômicas. Os autores afirmam que a taxa de erosão nas encostas varia bastante, dando o exemplo do Rio Grande do Sul, em que a estimativa de erosão é de, aproximadamente, 40 t/ha/ano numa área cultivada de 6 milhões de hectares, e no Paraná, onde a média ficou entre 15-20 t/ha/ano numa área sob cultivo mecanizado, cabendo a adoção de medidas que visem a conservação dos solos e recuperação das áreas degradadas, reduzindo desta maneira as perdas de recursos naturais e financeiros.

Também as características físicas do solo como o grau de agregação, a permeabilidade e a profundidade, influenciam na suscetibilidade do solo à erosão. Por exemplo, solos de textura grosseira e rasos são os mais suscetíveis aos processos

erosivos devido à fraca agregação entre partículas e baixa capacidade de armazenamento de água (MAGALHÃES, 2010).

Neste sentido, o fenômeno da erosão, apesar de ser um processo natural, vem sendo cada vez mais acelerado pelo homem, causando problemas não apenas em seu local de origem, mas em todo o contexto de uma bacia hidrográfica, reduzindo a fertilidade do solo; criando ravinas e voçorocas; assoreamento de rios, lagos e reservatórios, além de contribuírem com inundações (DOMINGOS, 2006).

A morfologia do solo é a descrição da aparência do solo no campo (perfil) com características visíveis a olho nu ou perceptíveis por manipulação, a descrição morfológica dos solos permite delimitar horizontes e estabelecer relações entre eles, isto é, fazer inferências sobre os fatores e processos envolvidos em suas formações, seus funcionamentos atuais e suas relações com a dinâmica evolutiva da paisagem (LEMOS ; SANTOS, 2015).

A densidade aparente do solo, definida como sendo o quociente de sua massa de sólidos por seu volume, e um importante atributo físico, por fornecer indicações a respeito de sua conservação, sendo largamente utilizada na avaliação da compactação e adensamento do solo (CARVALHO *et al.*, 2007).

A determinação da densidade aparente do solo é um método comum para se avaliar a compactação. A densidade do solo aumenta quando os constituintes do solo ficam mais próximos uns dos outros e/ou as partículas menores ocupam os espaços vazios entre as maiores (SWEIGARD e BLUESTEIN, 2000).

A porosidade do solo pode ser de origem estrutural ou textural, e os poros resultam do arranjo das partículas elementares do solo. A porosidade estrutural e mais alterada pelo manejo e pela compactação (TAMARI, 1994), caracterizados principalmente pelo decréscimo da porosidade total, da macroporosidade e do aumento da microporosidade (TARAWALLY *et al.*, 2004). Os dados de distribuição de tamanho de poros são úteis para a caracterização de evolução do solo (RICHARD *et al.*, 2001), e são empregados para descrever os efeitos do manejo agrícola (LIPIEC e HETANO, 2003).

As análises granulométricas constituem uma importante análise nos estudos sobre os processos erosivos. A textura do solo caracteriza-se pela proporção relativa das classes de tamanho de partículas de um solo. A Sociedade Brasileira de Ciência do Solo considera quatro classes de tamanho de partículas menores do que 2 mm, usadas para a definição da classe de textura dos solos: Areia grossa – 2 a 0,2 mm ou 2000 a 200  $\mu\text{m}$ ;

Areia fina – 0,2 a 0,05 mm ou 200 a 50  $\mu\text{m}$ ; Silte – 0,05 a 0,002 mm ou 50 a 2  $\mu\text{m}$ ; Argila – menor do que 2  $\mu\text{m}$  (DALVAN ; REICHERT, 2006).

Os componentes químicos e orgânicos dos solos são importantes por contribuírem para formação e estabilidade de agregados e melhorias na qualidade física do mesmo. Solos que apresentam menos de 2% de carbono orgânico, equivalente a 3,5% de matéria orgânica, são considerados erodíveis (MORGAN, 2005). A matéria orgânica está relacionada com a decomposição de espécies da fauna e flora oriundos do ambiente, cujas atividades humanas, desenvolvidas sobre a superfície e subsuperfície do solo, acabam influenciando em sua oferta e concentração. Logo, o teor de matéria orgânica varia bastante no espaço, sobretudo, em decorrência das diferentes relações entre clima, vegetação natural, textura e drenagem do solo, concentração de cálcio e uso da terra (BRADY, 1989; MORGAN, 2005; BRADY e WEIL, 2008; GUERRA, 2013; BERTONI e LOMBARDI NETO, 2014; GUERRA, 2016).

A matéria orgânica favorece o aumento das ligações e reações químicas entre as partículas do solo que, além de contribuir para a estabilidade dos agregados, aumenta sua fertilidade através do fornecimento de nutrientes, tem boa capacidade de reter água melhorando a infiltração e diminui o impacto da gota de chuva sobre a superfície do solo, já que se concentra no horizonte superficial formando serapilheira, em muitos casos (BRADY, 1989; MORGAN, 2005; GUERRA, 2013; BERTONI e LOMBARDI NETO, 2014).

### **2.3 Abordagem sistêmica nos estudos dos processos erosivos**

A Teoria Geral dos Sistemas (TGS) foi apresentada em caráter inaugural no seminário filosófico em Chicago no ano de 1937 pelo biólogo Ludwig Von Bertalanffy. O autor sedimenta a concepção sistêmica salientando que:

É necessário estudar não somente partes e processos isoladamente, mas também resolver os decisivos problemas encontrados na organização e na ordem que o unifica, resultante da interação dinâmica das partes, tornando o comportamento das partes diferentes quando estudado isoladamente e quando tratado no todo (BERTALANFFY, 1973, p. 53).

Somada à teoria “clássica” dos sistemas, uma série de outros enfoques dessa (meta) teoria se empenha no estudo dos fenômenos em sua totalidade e complexidade, como a Teoria dos Compartimentos, a Teoria dos Conjuntos, a Teoria das Redes, a

Cibernética, a Teoria da Informação, a Teoria dos Autômatos, a Teoria dos Jogos, a Teoria da Decisão e a Teoria da Fila (BERTALANFFY, 1973).

Mais recentemente, encarregadas do estudo dos sistemas dinâmicos, tomam vulto a Teoria do Caos e a Teoria dos Sistemas Dinâmicos, preconizadas ainda no final do século XIX pelo matemático francês Jules Henri Poincaré (CHRISTOFOLETTI, 2004). Contemporânea e independentemente se deu o surgimento da geometria fractal (MANDELBROT, 1982), engendrada na Geografia por Lam e De Cola (1992).

O conceito de geossistema foi concebido entre os muros da Escola Soviética e apresentado no ano de 1962 por Viktor Sotchava, conceito este extraído de uma atmosfera propícia às especulações sistêmicas. A esse respeito Vicente & Perez Filho (2003) informam que o pedólogo russo Dokoutchaev, influenciado pela Escola Alemã, desenvolveu a sua teoria sobre os solos e o conceito de “esfera físico-geográfica”, abordando um conjunto de elementos formadores da paisagem e dando os primeiros fundamentos para a abordagem geossistêmica.

O termo geossistema, na concepção de Sotchava (1978), corresponde ao termo biogeocenose, ou área homogênea elementar, cujo estabelecimento é o primeiro procedimento para a sua classificação:

As áreas homogêneas similares unem-se no fácies, ainda também segundo o princípio da homogeneidade. Daí para as generalizações, às classes superiores vão se superpondo (grupos e classes de fácies, geomias, etc.) até formarem em sua totalidade a classificação da fileira dos geômeros (SOTCHAVA, 1978, p. 06).

Ao gosto do pensamento geográfico soviético, Troppmair (1983; 2001) propõe para o estado de São Paulo um conjunto de geossistemas materializados em áreas de extensões relativamente grandes em sua maioria, situadas numa ordem de centenas e mesmo milhares de quilômetros, unidades de grandezas estas que, na visão do autor, podem ser transpostas nas dimensões territoriais brasileiras, e que, subdivididas em subconjuntos, formam mosaicos que podem ser compreendidos como geofácies.

Tal como Sotchava, Troppmair (1983; 2001; 2004) considera o geossistema como um sistema natural complexo que sofre exploração biológica, ação esta onde se inscreve o papel antrópico. Tal entendimento é assim justificado:

O Geossistema, que é um **SISTEMA NATURAL** mantém suas características **NATURAIS FUNDAMENTAIS** como: horas de insolação, oscilação térmica reduzida pela influência da maritimidade, elevado teor de umidade do ar, alta pluviosidade, embasamento geológico, mosaico de solos,

água do solo com grande excesso anual e proximidade da superfície, hidrografia meândrica, formações vegetais típicas como mangue, jundu, restinga ou mata tropical, mesmo que estas formações sejam apenas alguns restos ou testemunhos (TROPPMAIR, 2004, p. 5).

Pelo lado da Escola Francesa, Bertrand (1971) também propôs discussão conjunta para o geossistema e a paisagem enquanto categorias de análise integrada em Geografia, apresentando a seguinte assertiva:

A paisagem não é a simples adição de elementos geográficos disparatados. É, numa 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 (BERTRAND, 1971, p. 02).

De acordo com Christofolletti (1979), o sistema é um conjunto de unidades com relações entre si, no qual o estado de cada unidade é controlado, condicionado ou dependente do estado das outras unidades. Segundo Christofolletti (1980), a teoria geral dos sistemas, lastreada nas concepções desenvolvidas por Ludwing Von Bertalanffy em 1932, foi iniciada, com literatura especificamente geográfica, por Arthur N. Strahler em 1952, mas é a partir dos trabalhos de John T. Hack em 1960, Richard J. Chorley em 1962 e Alan D. Howard em 1965 que esta teoria começou a contribuir para os trabalhos básicos e essenciais em Geomorfologia.

Segundo Christofolletti (1979) os sistemas devem ter:

- Elementos ou unidades – que são as partes componentes;
- Relações – os elementos integrantes do sistema encontram-se interrelacionados, um dependendo dos outros, através de ligações que denunciam os fluxos;
- Atributos – são as qualidades que se atribuem aos elementos do sistema, a fim de caracterizá-los. Conforme o sistema pode-se selecionar algumas qualidades para melhor descrever as suas partes. Os atributos podem se referir ao comprimento, área, volume, características da composição, densidade dos fenômenos observados e outros;
- Entrada (*input*) – é constituída por aquilo que o sistema recebe. Um rio recebe água e sedimentos fornecidos pelas vertentes; uma indústria recebe matéria prima e energia para o seu funcionamento; a Terra recebe energia solar; um animal recebe alimentação. Cada sistema é alimentado por determinados tipos de entradas;
- Saída (*output*) – as entradas recebidas pelo sistema sofrem transformações em seu interior e, depois, são encaminhadas para fora. Todo produto fornecido pelo sistema representa um tipo de saída.

De acordo com Christofolletti (1979), na abordagem sistêmica, o critério funcional e o da complexidade estrutural são os mais importantes para a análise geográfica. Considerando-se o critério funcional existem os sistemas fechados e abertos. Nos fechados não há troca de matéria, mas, somente de energia, sendo que, segundo Chorley (1971), nesse sistema as condições iniciais de energia determinam suas posteriores condições de equilíbrio. Já nos sistemas abertos, Chorley (1971) afirma que, para a manutenção e preservação do sistema, é necessário constante suprimento de material e energia.

Também é muito importante o princípio do “equilíbrio dinâmico” ou “*steady state*” embora na prática esse equilíbrio raramente seja exato, mas, existe uma tendência em atingi-lo (CHORLEY, 1971). Segundo o autor citado (p. 13): as condições de *steady state* podem ser interrompidas por um distúrbio no fluxo de energia ou na resistência, ocasionando a formação de novos ajustamentos em vista ao novo *steady state* a ser alcançado. A forma de ajustamento é devido à capacidade de autoregulação dos sistemas abertos.

Segundo Chorley (1971), em uma situação de equilíbrio (*steady state*) a importação e exportação de energia são equacionadas por meio do ajustamento das formas; no entanto, a tendência para o desenvolvimento de um equilíbrio não demanda uma igualdade entre a força e a resistência sobre a paisagem, as formas da paisagem são reguladas de maneira que a resistência da superfície seja proporcional à tensão (*stress*) nela aplicada.

O relevo, enquanto sistema morfológico caracteriza-se como um sistema aberto, pois necessita de um suplemento de energia para sua manutenção e preservação (REINER e SPIEGELMAN, 1945 citado por CHORLEY, 1971) e é mantido por constante suplementação e remoção de material e energia (VON BERTALANFFY, 1952 citado por CHORLEY, 1971).

Foco desta pesquisa, a erosão é um importante agente escultor do relevo a qual pode ser compreendida como um processo que ocorre em um sistema aberto, pois necessita de constante suplementação e remoção de material e energia para sua existência (CHORLEY, 1971). Desta forma, é essencial a dinâmica de entrada (*input*) e saída (*output*) de matéria e energia.

A interferência humana no meio natural frequentemente provoca alterações na dinâmica erosiva natural, ocasionando a chamada erosão acelerada. O que Perez Filho e Seabra (2004, p.6) confirmam ao afirmar que:

O equilíbrio dinâmico dos ecossistemas que compõem a biosfera é constantemente alterado pela ação antrópica. Como toda a causa tem seu efeito correspondente, todo benefício que o homem extrai da natureza tem certamente também seus malefícios. Desse modo, parte-se do princípio de que toda ação humana no ambiente natural ou alterado causa algum impacto em diferentes níveis, gerando alterações com graus diversos de agressão, levando, às vezes, as condições ambientais a processos até mesmo irreversíveis (PEREZ FILHO; SEABRA, 2004, p.6).

Segundo Pinheiro (2006), a erosão acelerada, provocada pela ação humana, representa alteração na hidrografia (sistema em seqüência) e no relevo (sistema morfológico). A nova conjuntura (desequilíbrio), estabelecida por essa intervenção, provocará uma busca pelo equilíbrio, o que implicará em uma nova dinâmica de entrada e saída de energia e matéria. De acordo com Cunha (2001, p. 35) é impossível compreender o relevo sem considerar os fluxos de matéria e energia responsáveis por sua gênese e esculturação, no qual o relevo é resultado da interação de vários fatores, sendo necessário o estudo destes fatores para sua compreensão.

Gregory (1992), considera a abordagem sistêmica como uma metodologia unificadora para a Geografia e eficaz para o emprego em trabalhos de solos. Comenta o autor que, em certos ramos da Geografia Física a abordagem sistêmica foi utilizada como parte de uma base fundamental para o estudo de bacias de drenagem, ou de canais fluviais, e tem sido utilizada como instrumento básico para outros ramos da Geomorfologia.

Zavoianu (1985), refletindo sobre uma bacia de drenagem, com suporte em uma concepção sistêmica, considera o solo como dependente de outras variáveis. Depende do tipo de embasamento, da vegetação, da posição geográfica da bacia e dos fatores climáticos. Para o autor, as características do solo podem oferecer informações sobre as condições ambientais entre os fatores de formação e qualquer mudança nesse equilíbrio se refletirá em descontinuidades verticais nos perfis.

Guerra (1991), argumenta que qualquer que seja a extensão, o quadro sistêmico deve permitir vincular proposição teórica metodológica, estando aberto a prestar-se ao teste empírico, como são feitos nos modelos mistos de mensuração e análise, como, por exemplo, quando se utiliza a simulação.

Ainda, segundo o autor, a erosão do solo pode ser entendida como um processo resultante dos agentes ecodinâmicos, sendo, desta maneira considerada pelos pedólogos como sendo sinônimo de erosão geológica ou natural (TRICART, 1977).



Com a inserção da Teoria Geral dos Sistemas, o tratamento dado à natureza levou em consideração a interação dos elementos ou a sua associação. A aplicabilidade de tal conhecimento inseriu-se na Geografia Física, inicialmente, na Geomorfologia pelos trabalhos de Arthur Strahler (1950). A abordagem sistêmica propiciou aos estudos de Geografia Física uma substituição da morfologia da paisagem por uma tipologia de padrões espaciais (MENDONÇA, 1991).

Tricart (1977), procurando relacionar a Geomorfologia com análise sistêmica ressalta que a paisagem reflete o funcionamento do ecossistema. Antes, porém, Tricart (1977) se referiu a valor da abordagem sistêmica como instrumento lógico para estudar os problemas do meio, dando condições de uma visão de conjunto do aspecto dinâmico.

Com aplicabilidade da análise sistêmica, a representação da paisagem natural passa a ser percebida como algo delimitado, com padrões e atributos para cada elemento. A natureza começa, então, a ser humanizada, seja por meio de amostragens ou pela quantificação ou até mesmo pela noção de causa e efeito de cada elemento componente no sistema.

Colângelo (1997), ao tratar de processos erosivos, faz uma relação direta com a aplicação de modelos e a abordagem da Teoria Geral dos Sistemas, para o autor, os processos erosivos decorrentes as atividades vinculadas à hidrologia das vertentes são estimuladas a partir da fixação de um ou vários dos seguintes parâmetros:

Embasamento rochoso, formações superficiais, incluídos os volumes pedológicos, morfologia e morfometria interfluvial e cobertura vegetal. Assim são estabelecidas as já referidas relações entre pares de variáveis, fundamentais para a valoração dos limiares vinculados à ocorrência de um determinado processo. Além disso, o conhecimento de um conjunto de relações simples entre pares de variáveis constitui a base para a elaboração de modelos mais sofisticados, onde um maior número de variáveis pode ser correlacionado numa expressão matemática (COLÂNGELO, 1997, p.53).

Ainda segundo o autor:

A construção de modelos, apesar de representar na etapa avançada em relação ao trabalho experimental, não corresponde, contudo, à obtenção de produtos acabados, definitivos. Continuamente testados, os modelos sofrem correções, adições, ou são simplesmente substituídos por outros mais rigorosos e abrangentes, ou seja, mais poderosos quanto à velocidade estatística e amplitude de aplicação (COLÂNGELO, 1997, p.53).

Outros autores discorrem sobre o assunto. Segundo Boardman (1992), os modelos de erosão dos solos ofereceram respostas mediante às modelagens

matemáticas, tendo nos sistemas de transferências de sedimentos diferentes efeitos de variação nos *inputs* a serem avaliados mais fáceis e rapidamente.

Gregory (1992) lembra que a mudança temporal era estudada com referência a modelos há muito tempo estabelecidos e muitas vezes quantitativas ou nos processos ambientais atuais. Com a aquisição de mais dados e com a compreensão dos processos contemporâneos, houve um avanço rumo ao desenvolvimento dos modelos mais sofisticados de mudança temporal, o que tem sido de grande significado para a Geografia Física.

Haines Young e Petech (1986) apresentam modelos como sendo os recursos ou instrumentos utilizados para fazer predições. Eles são meios pelos quais as teorias podem ser testadas. As situações de teste são projetadas para permitir um conflito entre teoria e observação. Afirma, ainda que, os conflitos podem ser provocados pelos elementos do modelo.

Algumas discussões, entretanto, são inerentes a aplicabilidade dos modelos, como, no caso, a mensuração e os experimentos. De acordo com Morgan (1986), considerando a mensuração da erosão dos solos, diz que esta e seus efeitos controladores podem ser obtidos em campo e em laboratório, ambos, em experimentos. De Ploy *et al* (1978), entretanto, distingue conceitualmente mensuração de experimento, a primeira tida para obter informações sobre as taxas de erosão, e o experimento para fornecer explicações; contudo, o experimento sempre envolve a mensuração e análise.

Cabível em nosso estudo é a posição de Baccaro (1999), quando acentua, que, buscando o entendimento dos processos erosivos, há necessidade de se realizar o monitoramento por meio de medidas e experimentos de campo e/ou laboratório, buscando índices quantitativos dos processos erosivos, levando-se em conta a periodicidade das mensurações, a regularidade das amostragens, a fim de se ter uma ideia real das frequências e taxas dos processos erosivos.

## **2.4 Impactos Ambientais causados por Linha de Transmissão de energia**

O conceito de Impacto Ambiental vem definido no Artigo 1º da Resolução CONAMA 001/1986:

[...] qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam [...] a saúde, a segurança e o bem-estar da população; atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente e a qualidade dos recursos ambientais.

A passagem de Linhas de Transmissão (LTs) pode causar diversos tipos de impactos ambientais, comprometendo a integridade dos solos, da flora, da fauna, da própria segurança das linhas e, conseqüentemente, da população que vive nas proximidades (WOSNY *et al.*, 2009).

As áreas susceptíveis às ações diretas e indiretas do empreendimento, tanto na fase de implantação como na de operação, são chamadas de área de influência, classificadas de acordo com a função de cada área temática e do enfoque a ser atribuído à avaliação dos cenários futuros. Sendo assim, em estudos ambientais, comumente são utilizados os conceitos de Área de Influência Direta (AID), aonde os impactos ocorrem com relação direta de causa e efeito, e de Área de Influência Indireta (AII), em que os impactos são sentidos com menor intensidade com relação à AID. Além disso, também é definida uma faixa de servidão administrativa ao longo do eixo da LT que possui restrições de uso, necessária para garantir a segurança das instalações e das pessoas que convivem com a linha (DOSSEL, 2014).

Neste sentido, vários trabalhos vêm sendo feitos a respeito dos impactos ambientais causados por Linhas de Transmissão afim de avaliar a viabilidade do empreendimento. Para analisar os riscos em sistemas de transmissão, é necessário levar em consideração todos os elementos envolvidos e aplicar métodos de avaliação para quantificá-los (VUČKOVIĆ *et al.*, 2005).

Com o intuito de identificar os principais impactos ambientais produzidos no percurso das Linhas de Transmissão, TOBOUTI; SANTOS (2014) analisaram 5 (cinco) Relatórios de Impactos Ambientais (RIMAs) e Estudos de Impactos Ambientais (EIAs) de Linhas de Transmissão de 500 kVs. Segundo os autores, os impactos considerados de grande amplitude são a fragmentação da vegetação nativa e a dinamização da economia local. Constataram ainda que, outros impactos possuem medidas mitigatórias ou mesmo de neutralização e sua significância não supera o desenvolvimento econômico regional e a melhoria na qualidade de vida.

A modificação sobre o sistema natural de drenagem e o início e aceleração de processos erosivos estão estritamente relacionados, visto que o segundo pode ser considerado uma das causas do primeiro. Ocorrem principalmente na abertura de novos acessos e melhoria dos existentes, na abertura das áreas de torres e ao longo dos corredores e praças para lançamento dos cabos, quando ocorre a supressão da vegetação. Neste sentido, medidas mitigadoras devem ser tomadas para evitar a

ocorrência de novos processos erosivos em virtude da desagregação e remoção do solo, assim como o carreamento de sedimentos para os cursos d'água (DOSSEL, 2014).

Em empreendimentos deste tipo, é necessário que haja um monitoramento constante ao longo do traçado durante toda a vida útil da LT, de forma que o surgimento desses focos erosivos sejam devidamente identificados e controlados. Além disso, medidas preventivas e/ou corretivas deverão ser implantadas na fase de construção, por meio da utilização de técnicas especiais de instalação, principalmente nas etapas de abertura de acesso e fundação das torres, que são as fases de grande movimentação de solo (DOSSEL, 2014).

Devem ser feitas ainda, drenagens eficientes na faixa de servidão da linha a fim de assegurar o bom escoamento das águas, definir obras especiais nos trechos de maior fragilidade, principalmente no que se refere à estabilidade de taludes, revestimento vegetal de taludes sujeitos à erosão, monitoramento das áreas com preexistência de processos erosivos que possam vir a causar problemas ao sistema operacional da linha (DOSSEL, 2014).

Alguns dos impactos decorrentes da implantação de trechos de linhas de transmissão elencados por Pires (2005) são causados principalmente pela ocupação do solo; exposição aos campos eletromagnéticos; e impacto visual gerado pela torre inserida a paisagem.

Com a estrutura em funcionamento, o segundo impacto se descreve pelos efeitos causados pela exposição da população aos campos elétricos magnéticos que podem ser percebidos pela indução de corrente e tensão em objetos metálicos, sensações desagradáveis ou mesmo pequenas contrações musculares, além de interferência nos sinais de rádio e de televisão e ruídos (ANEEL, 2002). A maior preocupação para implantação de novos trechos de Linha de Transmissão trata das questões relativas aos efeitos dos campos elétricos magnéticos sobre a saúde, ruído audível e interferências devido à proximidade com as áreas habitadas (FERNANDES, 2010).

Acerca do tema, a Lei nº 11.934 de 05 de maio de 2009 dispõe sobre limites da exposição humana a campos elétricos magnéticos com intuito de estabelecer os limites permitidos em atividades de transmissão para que não sejam nocivos a saúde humana. Esta lei regulamenta os índices os quais a concessionária fica condicionada para que desenvolva suas atividades dentro dos padrões aceitáveis à saúde humana. O terceiro impacto elencado é resultante do aumento da demanda de energia, uma vez que influencia diretamente na quantidade de torres e cabos para sua transmissão. Esta

situação, através da imposição visual gerada, modifica a paisagem e por isso é impactante, dada a repetição contínua das torres e condutores.

Ainda se tratando dos impactos causados pelo sistema de transmissão, Wosny (2010) destaca os impactos relacionados à valorização ou principalmente desvalorização imobiliária. Segundo o autor, o tema continua insuficientemente explorado e inconclusivamente teorizado, principalmente porque as linhas de transmissão são popularmente relacionadas a um fator negativo na propriedade privada.

- Elliott e Wadley (2002), em seus estudos indicam um modelo que ao relacionar diferentes variáveis, estima a influência gerada sobre o valor da propriedade. A literatura, conforme afirma Wosny (2010), relata que os modelos para avaliação de propriedade atingida por LT's - Linhas de Transmissão, podem seguir diferentes critérios:
- estudo de caso com base em modelos de regressão para estimar o impacto da Linha de Transmissão nos valores de bens imóveis;
- apreciação ou avaliação com base em estudos de caso, utilizando amostras relativamente pequenas de propriedades que analisem o efeito do valor das Linhas de Transmissão sobre bens imóveis;
- estudo de caso de inquéritos ou que incidem sobre a percepção do efeito de Linhas de Transmissão sobre o valor do imóvel.

## **2.5 Licenciamento Ambiental para linha de transmissão**

A ideia de licenciamento ambiental surgiu no Brasil e no mundo na década de 70, primeiramente voltada para o controle da poluição industrial, com suas diretrizes pautadas no Segundo Plano Nacional de Desenvolvimento (1975).

Somente no início da década de 80, com a Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA) (Lei nº 6.938/1981), a base institucional e legal do licenciamento ambiental foi lançada. A partir de então, a utilização de recursos ambientais, a construção, instalação, ampliação e funcionamento de estabelecimentos e atividades passaram a ser legalmente disciplinados (FARIA, 2011).

A PNMA cria como instrumento a "avaliação de impactos ambientais" e o "licenciamento [...] de atividades efetiva ou potencialmente poluidoras". A mesma lei, em seu Art. 10 prevê:

art. 10 A construção, instalação, ampliação e funcionamento de estabelecimentos e atividades utilizadores de recursos ambientais, efetiva ou potencialmente poluidores ou capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental dependerão de prévio licenciamento ambiental.

A Resolução CONAMA n° 001 de 1986 estabeleceu as definições, as responsabilidades, os critérios básicos e as diretrizes gerais para a vinculação da Avaliação de Impacto Ambiental (AIA), principal instrumento da PNMA, ao processo de licenciamento ambiental, estipulando listagem de atividades modificadoras do meio ambiente cujo licenciamento depende de AIA.

A própria Constituição Federal, em seu Art. 225 § 1º, IV, estabelece a obrigatoriedade do EIA para atividades ou obras potencialmente causadoras de impacto de significativa degradação. Uma vez estabelecido o significativo impacto ambiental, o Decreto 99.274/1990 estabelece três etapas para o licenciamento, a licença prévia (LP), de instalação (LI) e de operação (LO).

A LP é a primeira a ser emitida pelo órgão ambiental, na fase preliminar de planejamento do empreendimento, principalmente no que se refere à localização e à concepção do projeto. É neste momento que a exigência do estudo de impacto ambiental é feita. A LI depende do cumprimento das condicionantes da LP, apresenta autorização de instalação, ou seja, do início efetivo das obras. Por último, a licença que permite a operação do empreendimento é a LO, desde que atendidas às exigências das licenças anteriores (FARIA, 2011).

A Resolução CONAMA 237/1997, que atualiza e disciplina todo o processo de licenciamento ambiental, estabelece os prazos e validades de cada licença. Essa resolução, em seu Art. 1º define Licenciamento Ambiental como:

Procedimento administrativo pelo qual o órgão ambiental competente licencia a localização, instalação, ampliação e a operação de empreendimentos e atividades utilizadores de recursos ambientais, consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras ou daquelas que, sob qualquer forma, possam causar degradação ambiental, considerando as disposições legais e regulamentares e as normas técnicas aplicadas ao caso.

Sistemas de transmissão de energia elétrica (linhas de transmissão e subestações) são considerados empreendimentos com pequeno potencial de impacto, de acordo com o Art. 1º da Resolução CONAMA 279/2001. A portaria 421/11 do MMA define o tipo de estudo ambiental que deve ser apresentado de acordo com características do empreendimento.

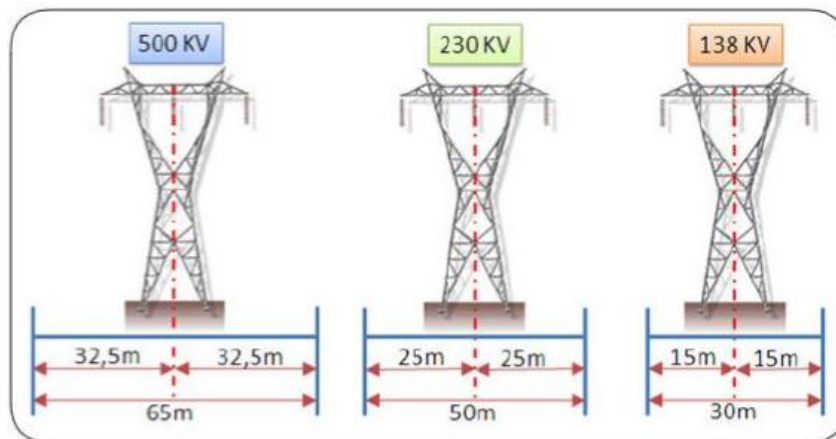
A Portaria nº 421/11 do MMA também estabelece os procedimentos para o licenciamento ambiental simplificado de empreendimentos de transmissão de energia. No Capítulo III é apresentado o Procedimento Simplificado de Licenciamento Ambiental Federal. Para tanto, de acordo com o Art. 5º, o empreendimento deve ser enquadrado como de pequeno potencial de impacto ambiental, neste caso, a área da subestação ou faixa de servidão administrativa da linha de transmissão não deve implicar simultaneamente em:

- I - remoção de população que implique na inviabilização da comunidade e/ou sua completa remoção;
- II - afetação de unidades de conservação de proteção integral;
- III - localização em sítios de: reprodução e descanso identificados nas rotas de aves migratórias; endemismo restrito e espécies ameaçadas de extinção reconhecidas oficialmente;
- IV - intervenção em terra indígena;
- V - intervenção em território quilombola;
- VI - intervenção física em cavidades naturais subterrâneas pela implantação de torres ou subestações;
- VII - supressão de vegetação nativa arbórea acima de 30% da área total da faixa de servidão definida pela Declaração de Utilidade Pública ou de acordo com a NBR 5422 e suas atualizações, conforme o caso; e
- VIII - extensão superior a 750 km. Parágrafo único. Serão consideradas de pequeno potencial de impacto ambiental, as linhas de transmissão implantadas ao longo da faixa de domínio de rodovias, ferrovias, linhas de transmissão e outros empreendimentos lineares pré-existentes, ainda que situadas em terras indígenas, em territórios quilombolas ou em unidades de conservação de uso sustentável.

A área a ser protegida de utilizações e, portanto, considerada Faixa de Servidão, tem abrangência determinada pela tensão dos cabos. Para torres de alta tensão de 138 kV (138.000 volts), determina-se que a Faixa de Servidão seja de 15 metros ao longo de todo o trecho para ambos os lados a contar do centro da torre, totalizando um corredor de 30 metros.

As tensões maiores, a exemplo de 230 e 500 kV exigem respectivamente 50 e 65 metros de corredor restritivo, ampliando a área de proteção (DNAEE/MME, 1997). A (Figura 6) ilustra as distâncias a serem respeitadas conforme a tensão nos cabos.

**Figura 6-** Ilustrativo sobre as diferentes tensões e suas respectivas Faixas de Servidão



Fonte: WOSNY, 2010.

Os cuidados relacionados às distâncias de Faixa de Servidão ainda estão relacionados à diminuição dos riscos impostos pela queda de cabos devido à possibilidade de energização do solo, efeitos biológicos dos campos eletromagnéticos e por risco de desligamento e comprometimento do sistema elétrico. (LAVANDOSCKI, 2010).

Além da porcentagem de ocupação da Linha de transmissão em relação à propriedade e sua posição ocupada (frente, fundos, diagonal, transversal, longitudinal), outros fatores devem ser considerados na determinação do valor indenizatório, segundo descrito em Eletrosul (2007). São eles:

- ✓ incômodos devido a construção e manutenção da LT;
- ✓ existência de riscos, efeitos psicológicos e de indução;
- ✓ existência de edificações situados na Faixa de Servidão;
- ✓ comprometimento de continuidade na atividade da propriedade;
- ✓ alteração do manejo empregado.

O principal problema enfrentado pelas concessionárias é a invasão da Faixa de Servidão por uma parcela da população que se mostra desatenta às legislações vigentes acerca dos riscos implícitos em sistemas de alta tensão (ARAÚJO, 2000).



Os elementos desencadeadores dessa situação, segundo descrito no relatório elaborado pelas empresas de energia, Sistema de Gestão Sócio Patrimonial (DNAEE/MME, 1997) são, em especial, o crescimento demográfico das cidades, a demanda por áreas passíveis de ocupação e a falta de gestão adequada do patrimônio imobiliário das concessionárias.

A remoção da população invasora, segundo descreve Araújo (2000), é difícil dada a forte repercussão social e o alto custo financeiro. De qualquer maneira, faz-se necessário o restabelecimento das condições impostas por lei no que diz respeito às utilizações da Faixa de Servidão.

Em situação de real invasão, os procedimentos voltados à remoção partem da indicação do ocorrido pela concessionária, através de comunicado extra-oficial, esclarecendo a irregularidade de modo a explicar ao invasor os riscos ao qual está exposto.(MARTINS, 2007).

Todos os esforços, desta forma, apresentam-se em função das medidas para evitar invasões nos trechos de transmissão, contemplados nos planos de gestão de cada concessionária, uma vez que se tornam consequências destas situações o aumento do número de acidentes, queda na qualidade da energia e, por conseguinte, o aumento da tarifa de energia. (MONTEIRO, 2010)

Para o planejamento, implantação e operação de empreendimentos de transmissão de energia elétrica é recomendável observar prioritariamente leis, resoluções e decretos que envolvam o sistema de energia elétrica, para que sejam atendidas todas as solicitações previstas, mantendo assim, o sistema e a população em segurança.(PIRES,2005).

Os regulamentos a serem obedecidos para Implantação de LTs variam de país para país, pois se baseiam na cultura e nos sistemas políticos e administrativos de cada um. A exigência de elaboração de Estudos de Impactos Ambientais para instalações de LT, porém, é comum a todos os países. (FERNANDES, 2010).

### **3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

As análises de campo e de laboratório foram fundamentadas nos estudos Hills (1970), Blake; Hartge (1986), Bowes (1986), Munsell (2009), Guerra (2011) Oliveira (2011), Venturi (2011), EMBRAPA (2011), Lemos e Santos (2015). Constaram de observações e mensurações de dados de campo relacionados com a infiltração do solo e os riscos de erosão em linhas de transmissão. Essas bibliografias fundamentaram na análise dos atributos morfológicos (cores do solo, estrutura e forma, textura e consistência), físicos (densidade aparente do solo, densidade de partículas, porosidade total e granulometria) e taxas de infiltração.

#### **3.1 Levantamento bibliográfico**

A bibliografia foi levantada na Biblioteca Central da Universidade Estadual do Maranhão e na Biblioteca Central da Universidade Federal do Maranhão, e no acervo local do GEOMAP (Grupo de pesquisa Geomorfologia e Mapeamento). Os artigos também foram adquiridos junto ao portal de periódicos da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), ReserchGate e diretamente nos endereços eletrônicos das principais revistas nacionais e internacionais sobre a temática do assunto.

Foram pesquisados conteúdos relacionados à geomorfologia e suas aplicabilidades nos estudos de solos, processos erosivos, abordagem sistêmica nos estudos dos processos erosivos, geração e transmissão de energia no Brasil e Maranhão, impactos ambientais causados por linha de transmissão de energia, licenciamento ambiental para linha de transmissão, classificação dos solos, taxa de infiltração e análise granulométrica em diferentes fontes, como livros, artigos científicos, monografias, dissertações e teses.

#### **3.2 Atividade de campo**

As atividades de campo foram realizadas de fevereiro de 2017 à julho de 2018, ao longo da linha de transmissão de energia LDLI-LT601 – Circuito 1 da linha entre a SE SLII e SL I (Extensão – 19.253,88 km) LDLI-LT602 – Circuito 2 da linha entre a SE SLII e SL I (Extensão – 19.259,44 km) no Município de São Luís, tendo como objetivo a identificação de áreas de voçorocamento na linha de transmissão

(Torres 1, Torres 2, Sacavém, BR 1 e BR 2), com observação *in loco* da influência da ação antrópica sobre esse tipo de degradação e registro fotográfico. Essas atividades também possibilitaram a coleta de amostras de solos para análise dos atributos morfológico, físicos dos solos e químicos, posteriormente para análise de laboratório (densidade aparente do solo, densidade de partículas e porosidade total) granulometria, pH e matéria orgânica.

As amostras deformadas no talude da voçoroca Torres 1 foram coletadas em dois pontos, no intervalo de 20 cm, totalizando 24 amostras no ponto 1; e no ponto 2 no intervalo de 67 cm, totalizando em 4 amostras. Na erosão linear Torres 2, foram coletadas amostras no intervalo de 50 cm, totalizando 16 amostras. No Sacavém foram coletadas 9 amostras no intervalo de 50 cm; nos processos erosivos BR 1 intervalo de 50 cm sendo 5 amostras e BR 2 no intervalo de 1 m num total de 5 amostras. Considerando um total de 63 amostras com a finalidade de analisar os parâmetros acima mencionados.

As amostras volumétricas (indeformadas) foram coletadas nas voçorocas Torres 1 e Torres 2, Sacavém, BR 1 e BR 2 totalizando 29 amostras, destinadas à verificação da densidade aparente do solo, densidade de partículas e porosidade, coletadas com o coletor volumétrico de bordas cortantes e com 100 cm<sup>3</sup>, nas profundidades de 10 cm.

### 3.2.1 Mensuração das taxas de infiltração

O teste de infiltração foi realizado na área de estudo, com o objetivo de se conhecer o índice de infiltração do solo das voçorocas estudadas. É a partir da obtenção desse fator que se pode caracterizar de forma mais precisa os processos erosivos da área, pois um solo com pouca capacidade de infiltração tem maior probabilidade de erosão, pois resulta em uma maior ocorrência de escoamento superficial, que é o tipo que precede a degradação e conseqüentemente erosão do solo.

Para esse objetivo utilizou-se a técnica proposta por Guerra (2011), que explica passo a passo a princípio da criação de um infiltrômetro, que pode ser produzido a partir de diversos materiais, no caso dessa pesquisa o material utilizado para criação do infiltrômetro foi o ferro, que segue as dimensões propostas pelo autor, ou seja, o mesmo possui 15 cm de altura, 10 cm de largura ( $r=5$ ) (Figura 7).

**Figura 7- Infiltrômetro**



Fonte: Lisboa, 2017.

Os testes de infiltração nas voçorocas ocorreram no período chuvoso e seco, em cada voçoroca foram escolhidos locais na borda das mesmas para a realização destes, na voçoroca Sacavém, BR 1 , BR 2, Torres 1 e 2 ambas foram feitos teste no semestre de 2018.1 correspondem ao período chuvoso e somente nas voçorocas Torres 1 e Torres 2 foram feitos os teste do período seco.

Foram utilizados materiais como: garrafas pet de 2 l (com água), uma régua, um prendedor de roupa, um infiltrômetro de Hills, cronômetro e bloco para anotação dos valores. As garrafas pet com água foram utilizadas para preenchimento do infiltrômetro, a régua foi utilizada para medição da altura da água no infiltrômetro, o prendedor como auxílio para prender a régua, para que a mesma estivesse imóvel, o cronômetro para marcação do tempo do teste e o bloco de anotações para efeito de preenchimento com os valores obtidos na técnica de infiltração.

O teste ocorreu nas voçorocas Torres 1, Torres 2, Sacavém, BR 1 e BR2 da seguinte forma: 1 – Foi escolhido um local na borda das voçorocas para colocação do infiltrômetro, 2 – Utilizou-se um martelo para fixar 5 cm do infiltrômetro no solo 3 ( Figura 8) – Prendeu-se a régua ao interior do infiltrômetro com o auxílio do prendedor,

no nível de 10 cm ; 4 – Foi preenchido o interior do infiltrômetro com água até que alcança-se 10 cm e 5 – Foi cronometrado e seguiu em anotação (Figura 9), segundo proposto de Guerra (2011), no tempo de 30 s, 60 s, 1:30 min., 2 min., 3 min., e assim respectivamente até 30 min. (tempo máximo do experimento) ( Figura 10).

**Figura 8-** Régua para medição do nível de água e prendedor para fixação da régua



Fonte: Lisboa, 2017.

**Figura 9** –Tabela do teste de infiltração

<b>Teste de infiltração</b>				
<b>Tempo (s/min)</b>	<b>Altura de infiltração (cm)</b>	<b>Volume infiltrado (ml)</b>	<b>Tempo (s/min)</b>	<b>Infiltração (ml)</b>
30s			30"	
1			60"	
1,5			1,5	
2			2	
3			3	
4			4	
5			5	
6			6	
7			7	
8			8	
9			9	
10			10	
11			11	
12			12	
13			13	
14			14	
15			15	
16			16	
17			17	
18			18	
19			19	
20			20	
21			21	
22			22	
23			23	
24			24	
25			25	
26			26	
27			27	
28			28	
29			29	
30			30	
<b>TOTAL</b>				

**Figura 10-** Cronometragem do infiltrômetro para medição da taxa de infiltração



Fonte: Lisboa, 2017.

### 3.3 Elaboração dos mapas temáticos

O mapa de localização do município de São Luís foi elaborado no *software* ARCGIS® 10.2 (EFL999703439), adquiridos com verbas do CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) e FAPEMA (Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão).

O mapa de solo, na escala de 1:250.000, foi produzido a partir do mapeamento pedológico do Estado do Maranhão disponibilizado no IBGE (2013). Este mapa foi sobrepostas às informações coletadas na área do município de São Luís. As classes de solos identificadas foram adaptadas para a nova classificação brasileira de solos (EMBRAPA, 2013). O mapa de geologia e geomorfologia de São Luís, na escala de 1:60.000 foi baseado dos estudos de Silva (2012).

O mapa de distribuição dos índices pluviométricos foi elaborado a partir do cruzamento dos dados das estações meteorológicas automáticas do Itapiracó, UEMA, Alcântara, Bacanga, Chapadinha, Zé Doca, Raposa, no período de 2007 a 2017 (

período de 11 anos) com a ferramenta estatística *Krigagem*, disponível na extensão *Spatial Analyst* (licença EFL 987834843) do *software* Arcgis® 10.2 (licença EFL99703439).

Para a elaboração dos mapas de hipsometria e declividade foram utilizadas as cartas da Diretoria do Serviço Geográfico do Ministério do Exército – DSG / ME, na escala de 1:10.000, com equidistância das curvas de nível de 5 m. A digitalização das cartas da DSG foi realizada com o software ARCGIS® 10.2. As curvas de nível (linha) e drenagem (linha e polígono) foram vetorizadas, e posteriormente processadas com a extensão *3D Analyst* (licença EFL 501222399), resultando numa Rede Irregular Triangular (TIN), que é um Modelo Digital de Elevação (MDE). Através do TIN, foram produzidos os mapas de declividade e hipsometria.

O mapa de uso e ocupação foi baseado nas imagens de satélite GLOVIS/USGS do ano de 2017, que recobre toda a área de estudo. Posteriormente, realizou-se a identificação dos grupos de pixels que representam a cobertura arbórea (Vegetação Secundária Mista), gramíneas, solo exposto, área construída e corpos d'água. A classificação supervisionada foi realizada com o método estatístico *maximum likelihood* que gerou a visualização das diferentes classes de uso do solo.

### **3.4 Análise de Laboratório**

As análises de laboratório foram realizadas no Laboratório de Geociências e do Grupo de Pesquisa em Geomorfologia e Mapeamento (GEOMAP) do Departamento de História e Geografia (DHG) da Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), considerando as seguintes parâmetros morfológicos dos solos: cor, textura, estrutura (forma e tamanho) consistência do solo (em condições seca, úmida e molhada), conforme os procedimentos metodológicos do manual de descrição e coleta de solo da EMBRAPA, (LEMOS; SANTOS, 2015) e o do capítulo Técnicas de Pedologia (OLIVEIRA, 2011) do livro Geografia: Práticas de Campo, Laboratório e Sala de Aula (VENTURI, 2011).

As análises dos atributos físicos dos solos coletados foram determinadas as seguintes propriedades: densidade do solo, densidade de partículas, porosidade total e granulometria, conforme manual de análise de solos da EMBRAPA (2011) e método do balão volumétrico segundo Blake; Hartge (1986) e Bowes (1986).



A determinação das cores do solo foi feita a partir do uso da Carta de Munsell (2009), comparando-se a cor de cada amostra de solo seca com as cores da escala Munsell e anotando-se a cor mais aproximada.

Os estudos de morfologia do solo se caracterizam pela análise da sua aparência no meio ambiente natural, como também a descrição dessa aparência segundo as características visíveis a olho nu. O conjunto de propriedades “perceptíveis” constitui a base para a identificação do solo, que deverá ser completada com análises de laboratório. As principais características a serem observadas nas amostras das voçorocas ao longo da linha de transmissão são: cor, textura, estrutura (forma e tamanho) consistência do solo (seco, úmido e molhado).

A **textura** refere-se à proporção relativa das frações granulométricas que compõem a massa do solo. Para a análise textural, as amostras foram umedecidas e esfregadas entre os dedos, a fim de avaliar pela sensação do tato a aspereza, a sedosidade e a pegajosidade para avaliar a quantidade da fração areia, silte e argila, respectivamente.

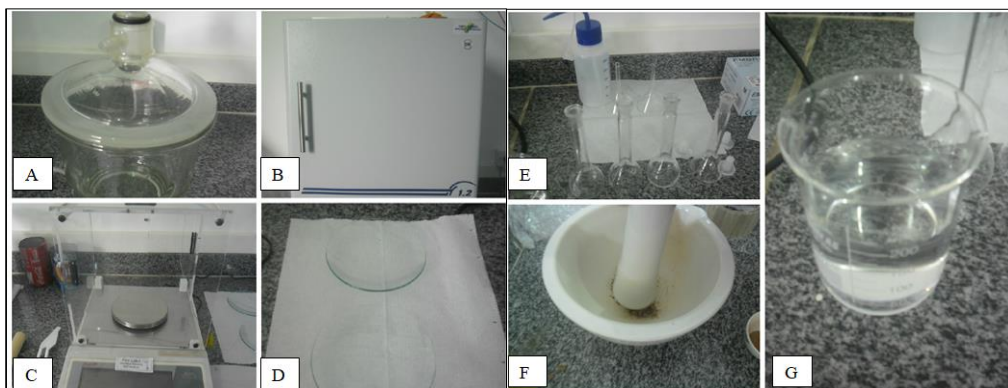
Para a caracterização da **estrutura** foi feita a manipulação dos agregados entre os dedos, submetendo-os a uma determinada pressão, a fim de verificar se o agregado se quebra com maior ou menor facilidade, sem uma determinada forma e tamanho definido, em unidade estrutural.

A avaliação da **consistência em solo seco**, foi feita a compressão de um torrão entre o polegar e o indicador, podendo classificar a consistência como: solta, macia, ligeiramente dura, dura, muito dura e extremamente dura. A consistência em **solo úmido** foi caracterizada por sua friabilidade, tentando-se esboroar um torrão na mão, podendo ser: solta, muito friável, friável, firme muito firme e extremamente firme. Quanto à **consistência do solo molhado**, foi considerada a plasticidade determinada formando-se um cilindro de aproximadamente 3 a 4 mm de diâmetro e 6 cm de comprimento, podendo ser: não plástica, ligeiramente plástica, plástica, e muito plástica e a pegajosidade é realizada com a amostra molhada, manipulada e pressionada entre o polegar e o indicador, para observação de sua aderência entre os dedos, podendo ser: não pegajosa, ligeiramente pegajosa, pegajosa, muito pegajosa.

Para as análises da densidade aparente do solo e de partículas usou-se materiais como (Figura 11) dessecador (A), estufa (B), balança de precisão (C), vidro de

relógio (D), (Figura 11) balão volumétrico aferidos 50ml (E), almofariz (F) bureta, béquer (G), funil de vidro, piceta, álcool etílico.

**Figura 11-** Materiais utilizados nas análises no Laboratório



Fonte: Lisboa, 2017

A densidade aparente do solo pode ser definida como sendo a relação existente entre a massa de uma amostra de solo seca a 105°C e a soma dos volumes ocupados pelas partículas e pelos poros. A densidade do solo geralmente aumenta com a profundidade do perfil, pois, as pressões exercidas pelas camadas superiores pelas camadas superiores sobre as subjacentes, provocam o fenômeno da compactação, reduzindo a porosidade. (KIEHL, 1979).

Sendo  $D_a$ , a densidade do solo,  $M$  a massa em gramas e  $V$  o volume de centímetros cúbicos, por definição, temos que :

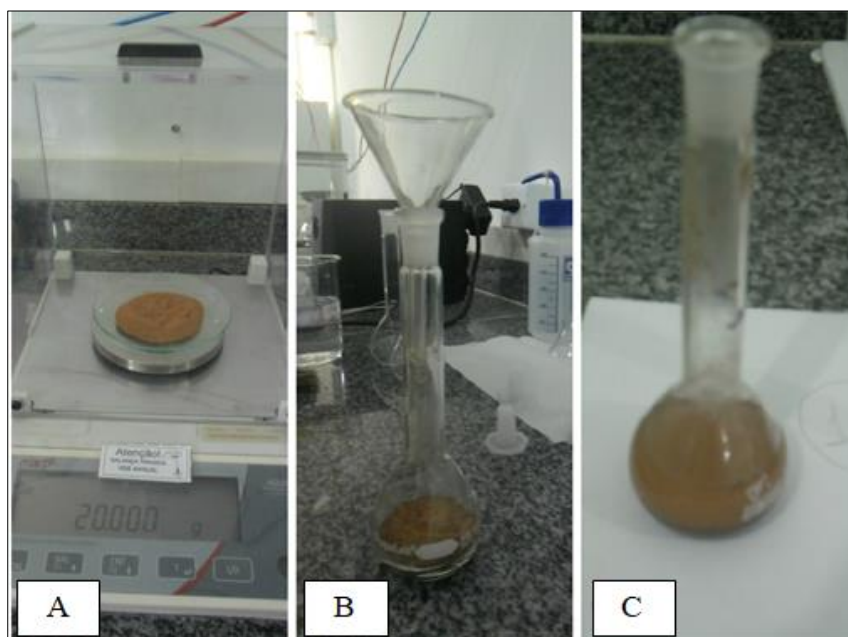
$$D_a = M/V \text{ g/cm}^3$$

Os métodos empregados na determinação da densidade do solo fundamentam-se na obtenção de dois dados principais: a massa e o volume da amostra do solo. A massa é facilmente determinada pesando-se a amostra depois de seca em estufa a 105° C. o volume do anel volumétrico de 100 cm<sup>3</sup>. O método do anel volumétrico (MAV) é considerado como método padrão de amostragem para a avaliação da densidade do solo, o qual consiste na amostragem do solo com estrutura indeformada num anel (cilindro metálico) de volume conhecido, Utiliza-se álcool etílico, em função da maior facilidade de penetração do álcool pelas interfaces dos

constituintes da amostra, por apresentar baixa tensão superficial quando comparado à água (KIEHL, 1979; EMBRAPA, 2011).

Aferiu-se o volume do balão volumétrico, pesou-se 20 g de TSFE e transferiu-se para balão volumétrico de 50 ml, colocado na bureta aferida com o balão, álcool etílico até a marca do zero, colocou-se no balão com TSFE mais ou menos 25 ml de álcool, agitou-se o balão durante 1 minuto, para facilitar a penetração do álcool nos capilares do solo, deixou-se repousar por 15 minutos e completar o volume do balão com álcool etílico, fazer a leitura do nível de álcool na bureta (L), determinar o volume de TSFE usando a expressão:  $V=50-L$  e calcular a densidade de partículas usando a expressão:  $D_p= 20/V$  (BLAKE, 1986; BOWES, 1986) (Figura 12).

**Figura 12** - Procedimento para análise da densidade do solo e de partículas



Fonte: Lisboa, 2017.

A determinação da densidade de partículas do solo ( $D_p$ ) possui grande relevância como indicativa da composição mineralógica, cálculo da velocidade de sedimentação de partículas em líquidos e determinação indireta da porosidade (FORSYTHE, 1975).

A escolha do método para a determinação da Dp leva em consideração aspectos como quantidade do material a ser analisado, disponibilidade de equipamentos e exatidão requerida na determinação (FLINT; FLINT, 2002), bem como praticidade e tempo de processamento. Os métodos mais usuais para determinação da Dp baseiam-se no deslocamento de um volume de líquido ou ar por uma amostra de solo de massa conhecida (FLINT ; FLINT, 2002).

A porosidade de um solo pode ser definida como sendo o volume de vazios ou os espaços dos solos não ocupados, os resultados das determinações são expressos em porcentagens. Calcula-se pela formula a seguir:

$$PT = (a-b/a) \times 100$$

PT = Porosidade Total

a= densidade partículas

b= densidade do solo

Análise granulométrica foram feitas a partir do método da dispersão total seguindo as etapas abaixo:

Preparo da amostra - Deixou-se as amostras expostas ao ar livre para secar um dia. Armazenou-se a amostra em um saco plástico com a devida identificação.

Ataque da amostra - Em um copo plástico de peso conhecido colocou-se 20g de solo, isto foi feito com todas as amostras, adicionou-se 10 ml de NH 1N (solução de hidróxido de sódio) em todas as amostras e posteriormente adicionou-se 100 ml de água, agitou-se o conteúdo com bastão de vidro e deixou-se em repouso por uma noite (24hs), tampando os recipientes com vidro de relógio.

Processo de sedimentação - depois da noite de repouso colocou-se o conteúdo para agitar no “Stirrer” durante 15 minutos. Depois de agitada despejou-se o conteúdo na proveta através de uma malha de 20 cm ou malha 0,053 (n° 270), colocada sobre um funil apoiado em um suporte, tendo logo abaixo uma proveta de 1000 ml . Lavou-se o material da peneira a uma certa distância da proveta para que a água tenha pressão sobre os sedimentos e a lavagem seja eficiente e rápida das areias. Lavou-se todo o material até atingir os 1000 ml. Agitou-se o material por 20 segundos com o

bastão e marcou-se o tempo de sedimentação conforme o quadro 1 baseado pela Lei de Stokes ( Quadro 3), considerando a densidade de partícula (real) igual a 2,65 (g/cm<sup>3</sup>).

**Quadro 3-** 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, 2011.

- Procedimentos finais da análise - Após o tempo de sedimentação colocou-se uma pipeta de 50 ml na profundidade de 5 ml e coletou-se a suspensão, transferiu-se o conteúdo para a cápsula numerada e de peso conhecido, eliminou-se o excesso da água e colocou-se na estufa para secar por 24 horas a 100° C até evaporar toda a água, passadas essas horas deixou-se esfriar no almofariz e pesou-se, obtendo assim o peso da argila.
- Separação das areias - O material retido na peneira foi colocado nas cápsulas com água e retirou-se o excesso da mesma. As areias repousaram por uma hora e foram levadas a estufa de 3 a 5 horas, até que evaporasse toda a água, depois de secas deixou-as esfriarem no almofariz e pesou-se as areias, primeiro pesou-se todo o material, obteve-se o peso da areia grossa mais areia fina, depois passou-se o conteúdo para a peneira de malha 0,2 mm ASTM (n°70) e obteve-se o peso da areia fina, Subtraiu-se o valor total da areia grossa e obteve-se a areia fina.
- Expressões para cálculo das frações granulométricas

<ul style="list-style-type: none"> <li>• ARGILA (%)           <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>[(A + T) - T] * 100 = +2</math></li> <li>•</li> <li>• Onde: A - Argila; T - Tara.</li> </ul> </li> </ul>
---

- 
- AREIA TOTAL (%)
- $AT \text{ (gramas)} * 100 = 20 * X$
- 
- SILTE (%)
- $100 - (AT + A) = SILTE$
- Onde: AT – Areia Total; A – Argila

O teor de matéria orgânica das amostras de solo foi obtido a partir do método estabelecido por Goldin (1987 *apud* Carmo e Silva, 2012), queima (ignição) da matéria orgânica em forno mufla ( Figura 13) e o segundo o Manual da Embrapa (2017), segundo os procedimentos:

1. Pesagem em balança analítica os cadinhos a serem utilizados; 2. Secagem previa das amostras em estufa a 105 °C, por um período de 24 horas, visando eliminar toda a água presente nos resíduos, como a higroscópica, a capilar ou de cristalização; 3. Pesar o conjunto (cadinho + resíduos) em balança analítica; 4. Após esse período, os cadinhos de cerâmica com as amostras foram acondicionadas em forno tipo mufla e incinerados em uma temperatura de 600 °C, por 6 horas; 5. Posteriormente, o conjunto cadinho + resíduos foi acondicionado em dessecador e, em seguida, pesado.

O teor de matéria orgânica foi determinado em razão da perda da massa do resíduo incinerado, considerando-se o material perdido pela queima no intervalo de variação da temperatura a 105 °C a 600 °C, conforme a formula:

$$MO\% = \frac{P - (T - C)}{P} \times 100$$

Onde:

P = Peso da amostra (g) depois de aquecida a 105 °C

C = Peso do cadinho (g)

T = Peso da cinza + cadinho (g)

**Figura 13-** Forno mufla usado para a análise de matéria orgânica pelo método direto



Fonte: Lisboa, 2018

Para a medição do pH das amostras de solo utilizou-se o medidor pHgametro digital (Figura 14). Para a determinação de pH utiliza-se uma adaptação do método determinado pelo Instituto Adolfo Lutz (1985), onde: 1 foram pesados 10 gramas de cada amostra e adicionado 50 ml Cloreto de Cálcio ( $\text{CaCl}_2$ ). 2 Deixar em repouso por 1 hora. 3 Com o pHgametro medir o pH em intervalos de 15, 30, 45 minutos, e depois calculado a média dos resultados.

**Figura 14-** pHgametro digital



Fonte: Lisboa, 2018.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Caracterização da área de estudo

O município de São Luís, possui uma área de 831,7 Km<sup>2</sup> localizando-se na parte centro-oeste da Ilha do Maranhão, com coordenadas 2° 19' 09" - 2° 51' 00" S e 44° 01' 16" - 44° 19' 37" W, tendo como limites: a leste - São José de Ribamar; ao norte - Oceano Atlântico; a oeste - Paço do Lumiar e ao sul - Rosário, com uma população em torno de 1.011.943 habitantes IBGE (2010) e a população estimada em 2017 é de 1.093.868 habitantes, sendo a maior e mais populosa cidade do estado, com densidade demográfica de 1.215,69 hab./km<sup>2</sup>. A área está compreendida na Mesorregião Norte Maranhense e na Microrregião da Aglomeração Urbana de São Luís. Sua localização se dá pelas coordenadas de 02°24'27" e 2°29'32" de Latitude Sul; 44°15'48" e 44°17'41" de Longitude Oeste.

Para Diniz (1993), o crescimento demográfico de São Luís, foi um dos fatores, que atrelados aos movimentos migratórios, mais contribuiu para a expansão urbana da cidade.

No sistema urbano maranhense, a cidade de São Luís, capital do Estado, situa-se no ápice da hierarquia por possuir maior número e diversidade de funções e por sua população urbana ser superior às demais. Convém ressaltar que, embora São Luís tenha limites político administrativos com os municípios de São José de Ribamar, Paço do Lumiar e Raposa, em termos econômicos esses são totalmente dependentes da capital. Portanto, uma análise da aglomeração urbana de São Luís requer uma abordagem extensiva a toda à ilha, já que as áreas ainda não totalmente integradas no espaço construído já se constituem em reservas de expansão, tanto do crescimento habitacional como aquele destinado a fins industriais, e demais atividades a serem induzidas (FERREIRA, 1989).

De acordo com Diniz (2007), a cidade de São Luís, capital do estado e maior cidade da Ilha do Maranhão, teve como ponto inicial de expansão e desenvolvimento um promontório envolto pelos rios Bacanga e Anil e se expandiu em direção à leste, em virtude dos limites estabelecidos pela drenagem em questão.

A Eletronorte desenvolveu e possui no estado um sistema com malha de aproximadamente 2.525,48 km de linhas de transmissão nas tensões de 230 kV e 500



kV, cuja capacidade de transporte é de até 4.100 MW, possui ainda, 11 (onze) SEs e 9.124 MVA de transformação. A capacidade de transmissão e a qualidade da energia fornecida pela Eletrobrás ELETRONORTE possibilitaram a instalação de importantes empreendimentos na região da Grande São Luís.

Entre eles está o complexo Alumar, que, com uma demanda média de 576 GWh/mês, é um dos maiores consumidores individuais de energia do país.

O município de São Luís é alimentado por duas linhas de 500 kV que derivam da SE Miranda e vem até a SE SL II, nesta subestação é rebaixado o nível de tensão para 230 kV que distribui várias linhas de transmissão nesse nível de tensão. a pesquisa está focada nas linhas de transmissão entre a SE São Luís II e a SE São Luís I e entre a SE São Luís II e SE São Luís III. LDLI-LT601 – Circuito 1 da linha entre a SE SLII e SL I (Extensão – 19.253,88 km) LDLI-LT602 – Circuito 2 da linha entre a SE SLII e SL I (Extensão – 19.259,44 km).

- **Geologia**

A bacia costeira de São Luís limita-se ao norte pela plataforma continental, ao sul pelos Altos Estruturais Arco Ferrer - Urbano Santos, dispostos aproximadamente E-W, a leste pelo Horst de Rosário e a oeste pelo Arco de Tocantins (PEREIRA, 2006).

Em relação à litoestratigrafia, a bacia costeira de São Luís apresenta as seguintes unidades: Formação Itapecuru, Terciário Paleógeno, Grupo Barreiras, Coberturas Lateríticas e Formação Açuí (RODRIGUES et al, 1994; ALMEIDA, 2000; VEIGA JÚNIOR, 2000b; PEREIRA, 2006).

A Formação Itapecuru designa um conjunto de sedimentos representados por arenitos finos, siltitos e folhelhos. Ela pode ser subdividida, segundo Rodrigues et al (1994), em Membro Inferior Psamítico e Membro Superior Alcântara.

O Terciário Paleógeno está caracterizado pela presença de siltitos e argilitos de cores variegadas nos tons róseo-avermelhados e esbranquiçados, com intercalações de arenitos finos a médios, esbranquiçados e róseos (SILVA, 2012).

O Grupo Barreiras é caracterizada por sedimentos areno-argilosos de coloração róseo-avermelhada e ferruginizados, com siltitos maciços de cores variando de amarelo a ocre; são conglomeráticos e desorganizados, ocasionalmente (RODRIGUES et al, 1994; PEREIRA, 2006).

As Coberturas Lateríticas segundo Rodrigues et al (1994), Almeida (2000), Veiga Júnior, 2000b e Pereira (2006) essas são consideradas imaturas por apresentarem um perfil geológico simples, caracterizado por horizontes bem definidos, a saber, horizonte concrecionário ou ferruginoso (limonítico), horizonte mosqueado, horizonte pálido e rocha-mãe, do topo para a base.

A Formação Açuí é composta de sedimentos arenosos inconsolidados e argilosos relacionados a diversos tipos de depósitos superficiais ocorrentes na Ilha do Maranhão e na de Curupu. Ela apresenta uma idade pleistocênica tardia e holocênica (RODRIGUES et al, 1994; ALMEIDA, 2000; VEIGA JÚNIOR, 2000b).

Segundo Silva (2012) a geologia do município de São Luís é composta por Depósitos Aluvionares e Coluvionares, Depósitos de Mangues, Depósitos de Mangues Aluvionares e Coluvionares, Depósitos litorâneos e marinhos, Depósitos Marinhos Litorânicos e Grupo Barreiras (Figura 15).

Os depósitos aluvionares e coluvionares são sedimentos presentes ao longo dos vales dos rios. Os aluvionares são caracterizados pelas

[...]areias médias, mal selecionadas, quartzosas, submaturas a maduras, apresentando intercalações de pelitos, formando os depósitos de canal, de barras de canal e da planície de inundação dos rios. Originam-se por processos de tração subaquosa; compreendendo fácies de canal e barras de canal fluvial (ALMEIDA, 2000, p. 22).

De acordo com Almeida (2000) e Veiga Júnior (2000b), os sedimentos coluvionares são compostos de material conglomerático oriundos de processos viscosos de detritos, sendo fácies de leques aluviais de enxurradas.

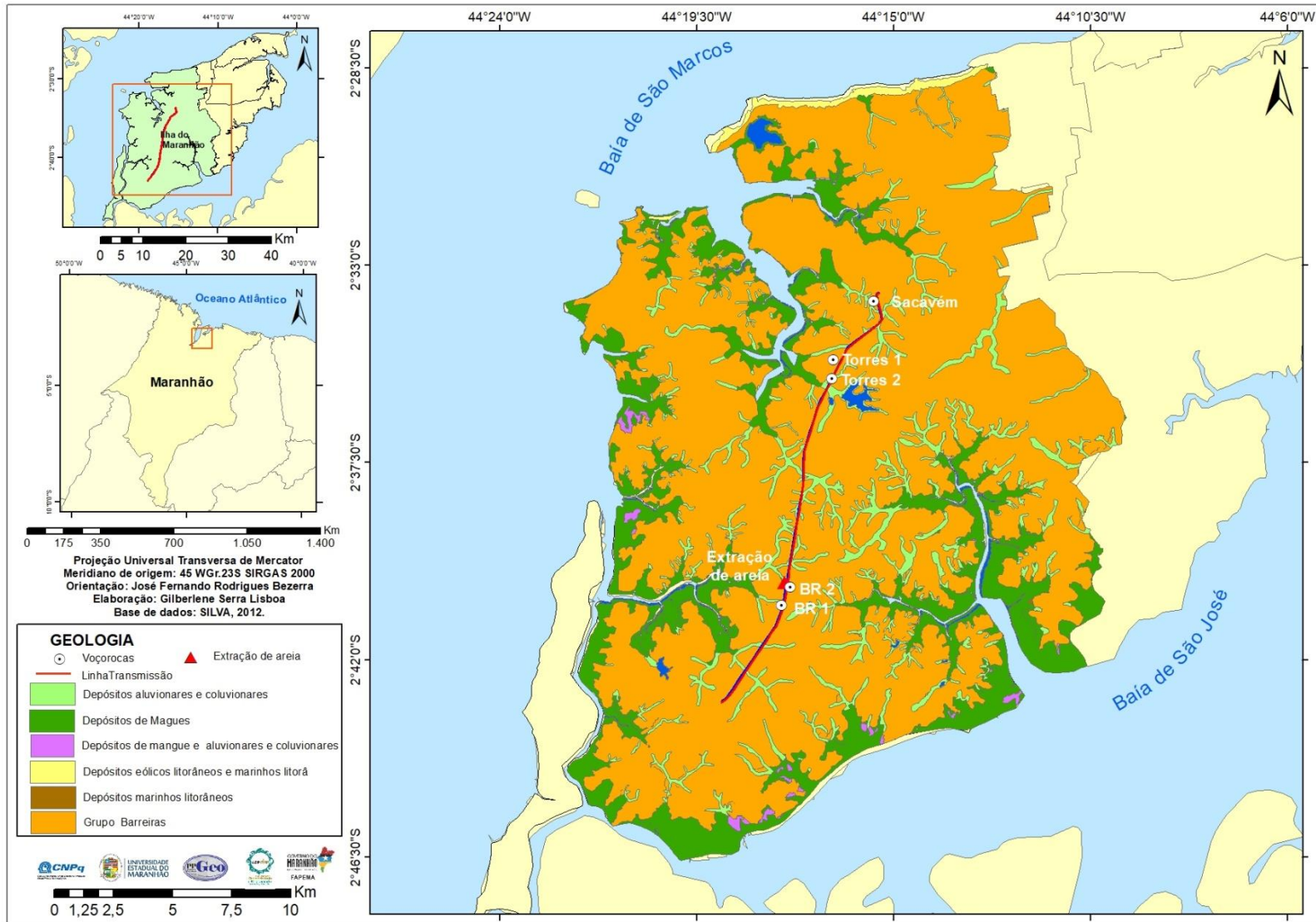
Os depósitos de mangues, originados por processos de tração/suspensão subaquosa, são encontrados nas áreas sob influência das marés, na fácies de intermaré/submaré rasa, e são constituídos por lamas arenosas, plásticas, não adensadas, maciças e bioturbadas, recobertas por mangues. (ALMEIDA, 2000).

Os depósitos marinhos litorâneos se referem àqueles depósitos de areias presentes nas praias, sob a ação das ondas, marés e correntes litorâneas. São sedimentos quartzosos, esbranquiçados, bem selecionados, [...] originados por processos de tração subaquosa[...] (ALMEIDA, 2000, p. 22).

Os depósitos eólicos litorâneos são caracterizados pelas areias esbranquiçadas, de textura fina a média, bem selecionadas e com grãos arredondados, gerados através dos processos eólicos de tração, suspensão e saltação (ALMEIDA, 2000; VEIGA JÚNIOR, 2000b).

Na área onde está inserida a linha de transmissão encontra-se predominantemente a geologia do grupo barreiras e depósitos aluvionares e coluvionares, este presente em todos os processos erosivos estudados (Figura 15).

**Figura 15 – Geologia do município de São Luís**



- **Geomorfologia**

As principais feições geomorfológicas identificadas na área de estudo foram: apicum, colinas esparsas, planície fluvial, planície de maré, praias e dunas, tabuleiros com topos planos, terraços e vertentes (SILVA, 2012) (Figura 18).

As planícies de maré correspondem às áreas que permanecem grande parte do tempo submersas, muito rasas e passíveis de serem observadas em imagens de alta resolução (ROSSETI, 2008).

Segundo Press et al (2006, p. 438) as planícies de maré são “áreas lamosas ou arenosas que estão acima da maré baixa, mas que são inundadas na maré alta”.

Rosseti (2008) afirma que as planícies de maré são morfologias deposicionais ocorrentes em costas planas a suavemente inclinadas, de baixa energia, em áreas de macromarés em que a ação morfodinâmica da maré é superior à das ondas. Estas planícies ocorrem nas costas lineares dos sistemas deposicionais costeiros.

Os Tabuleiros Costeiros são definidos como a própria etimologia indica, em função da predominância de formas tabulares e da proximidade do litoral, e podem ser diferenciados, por meio das formas erosivas, ou seja, segundo os processos de erosão atuantes, estando divididos em Tabuleiros Costeiros caracterizados por superfície tabular erosiva e Tabuleiros Costeiros caracterizados por superfície pediplanada (BRASIL, 1981). No primeiro caso, os processos erosivos estão relacionados, sobretudo, a transporte e deposição de sedimentos, por meio da influência fluvial e marinha. No segundo caso, a gênese das formas tabulares está atrelada, principalmente, ao processo de pediplanação, culminando no aplainamento de superfícies, que foram submetidas em tempos pretéritos a climas áridos, quentes ou semiáridos (GUERRA; GUERRA, 2011; AB’SABER, 1998).

Mabesoone e Castro (1975) usam a denominação de “superfície dos tabuleiros” para definir as áreas incluídas no contexto geológico da Formação Barreiras, que apresentam formas tabulares ao longo da costa do Nordeste brasileiro. Na perspectiva de Cintra et. al. (1997, p.77), os Tabuleiros Costeiros são definidos como “superfícies em forma de mesetas cujos topos apresentam-se planos ou com suaves ondulações e têm origem nos sedimentos do grupo Barreiras Terciário Superior. Para Guerra e Guerra (op.cit, p.594) são definidos como uma “forma topográfica de terreno que se assemelha a planaltos, terminando geralmente de forma abrupta. No Nordeste

Brasileiro os tabuleiros aparecem geralmente em toda a costa”. Na conceituação de Tabuleiros Costeiros proposta por Florenzano (2008) também é enfatizada a forma tabular e a quebra de limite abrupto, além de destacar a composição sedimentar do embasamento.

Segundo Bigarella (2001), esses terraços são formas escalonadas que representam períodos de estacionamento do movimento relativo do continente e oceano e podem resultar de movimentos epirogênicos, isostáticos e/ou eustáticos, sendo considerado também, como indicador de erosão costeira.

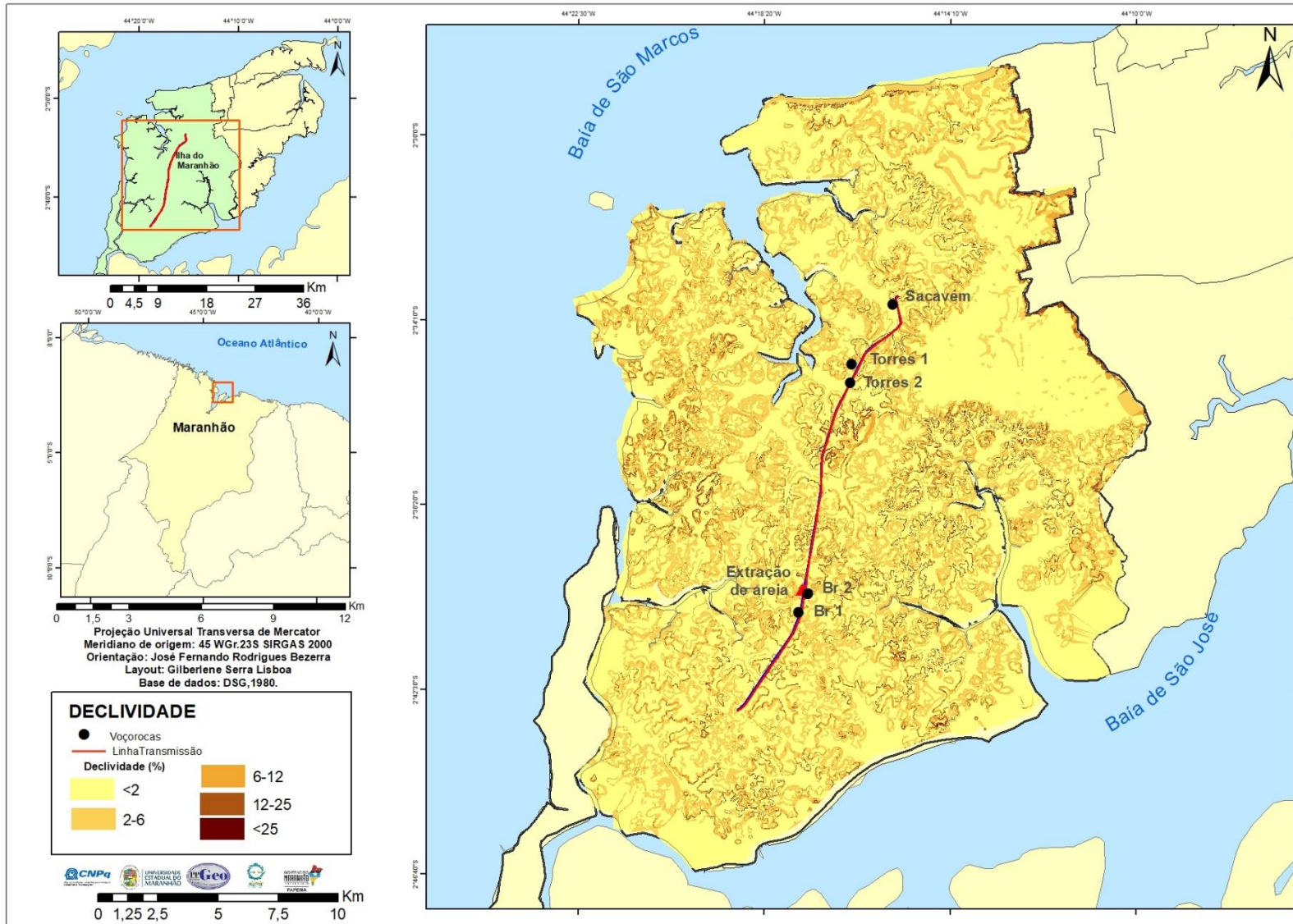
As colinas esparsas, também denominadas por Maranhão (1998b) de relevos subtabulares, Estas colinas “... representam as porções do tabuleiro que sofreram dissecação no decorrer do tempo geológico e ainda preservam seu topo relativamente aplainado com encostas brandas a íngremes...” (PEREIRA, 2006, p. 99).

Na área onde está inserida a linha de transmissão encontra-se predominantemente colinas esparsas e as vertentes, presente em todos os processos erosivos estudados (Figura 18).

Quanto à hipsometria, os dados gerados aqui apresentados indicam que na área de estudo tem-se dez classes, distribuídas em função da amplitude altimétrica, e também da necessidade de uma melhor visualização do comportamento altimétrico da área (Figura 17). Sobre a distribuição das classes hipsométricas, afirma-se que na maioria da área objeto de estudo está inserida nos intervalos de 0 a 30 m, sendo uma área predominantemente baixa. As duas classes que mais se destacam são de 0 a 6 m e de 6 a 12 m.

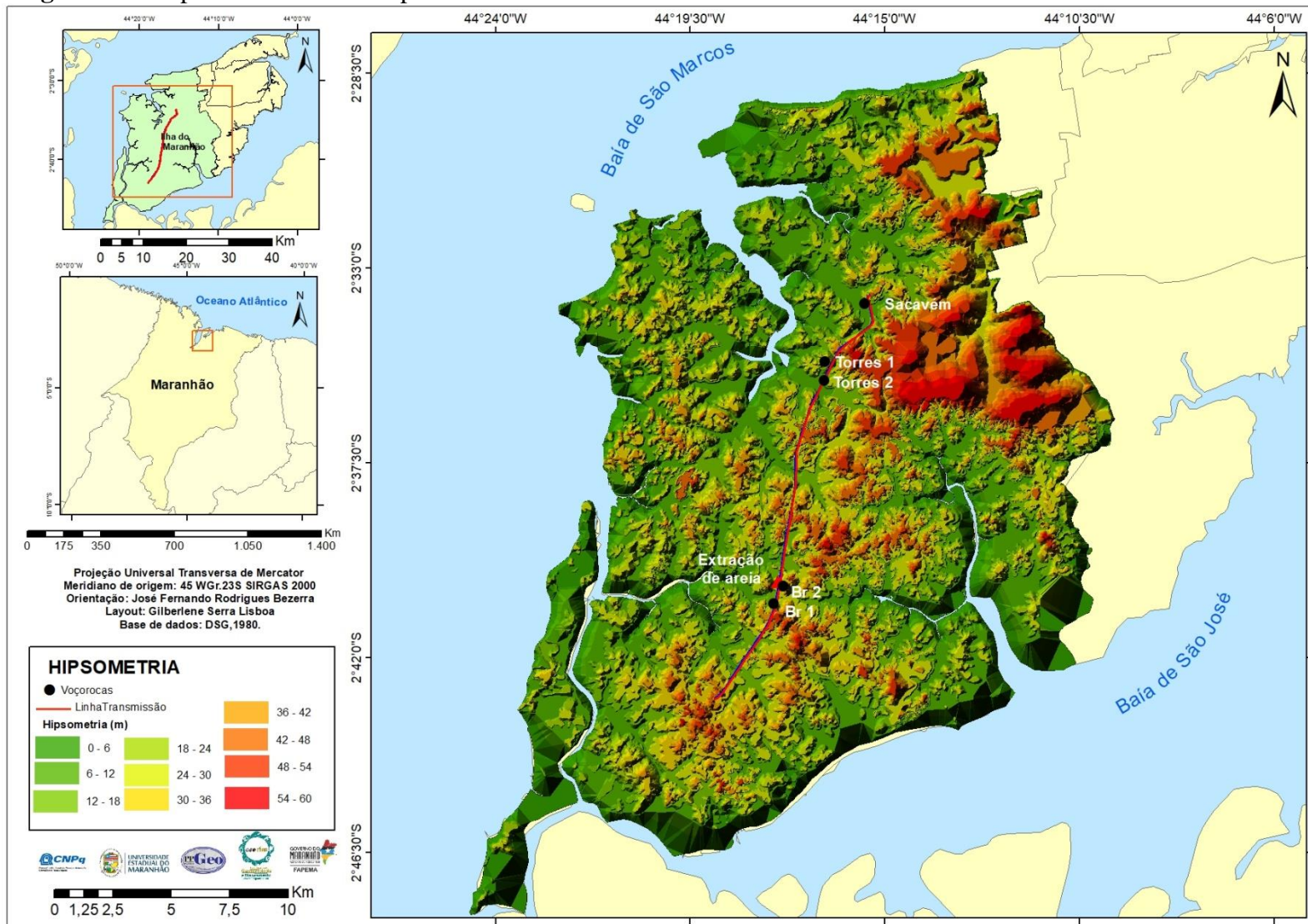
Quanto à declividade (Figura 16), pode-se compartimentar a área de estudo em duas grandes porções, isto é, uma área com o predomínio de declividades inferiores a 6% na porção centro-norte e centro-nordeste e a outra porção, centro-sul e noroeste, com vertentes apresentando declividades de 0 a mais de 30%. a classe de declividade predominante é de 2 a 6% toda a área de estudo. Em contraposição, a classe com declividades superiores a 25% ocupam apenas uma pequena porção da área total. As classes de 6 a 12%, 12 a 25% e de < 25% abrangem toda a área, com destaque para a primeira classe supracitada. Na área onde está inserida a linha de transmissão a hipsometria (Figura 17) encontra-se predominantemente 24 m e 42 m, na declividade de 2 a 12 % (Figura 16), este presente em todos os processos erosivos estudados.

Figura 16 – Declividade do município de São Luís



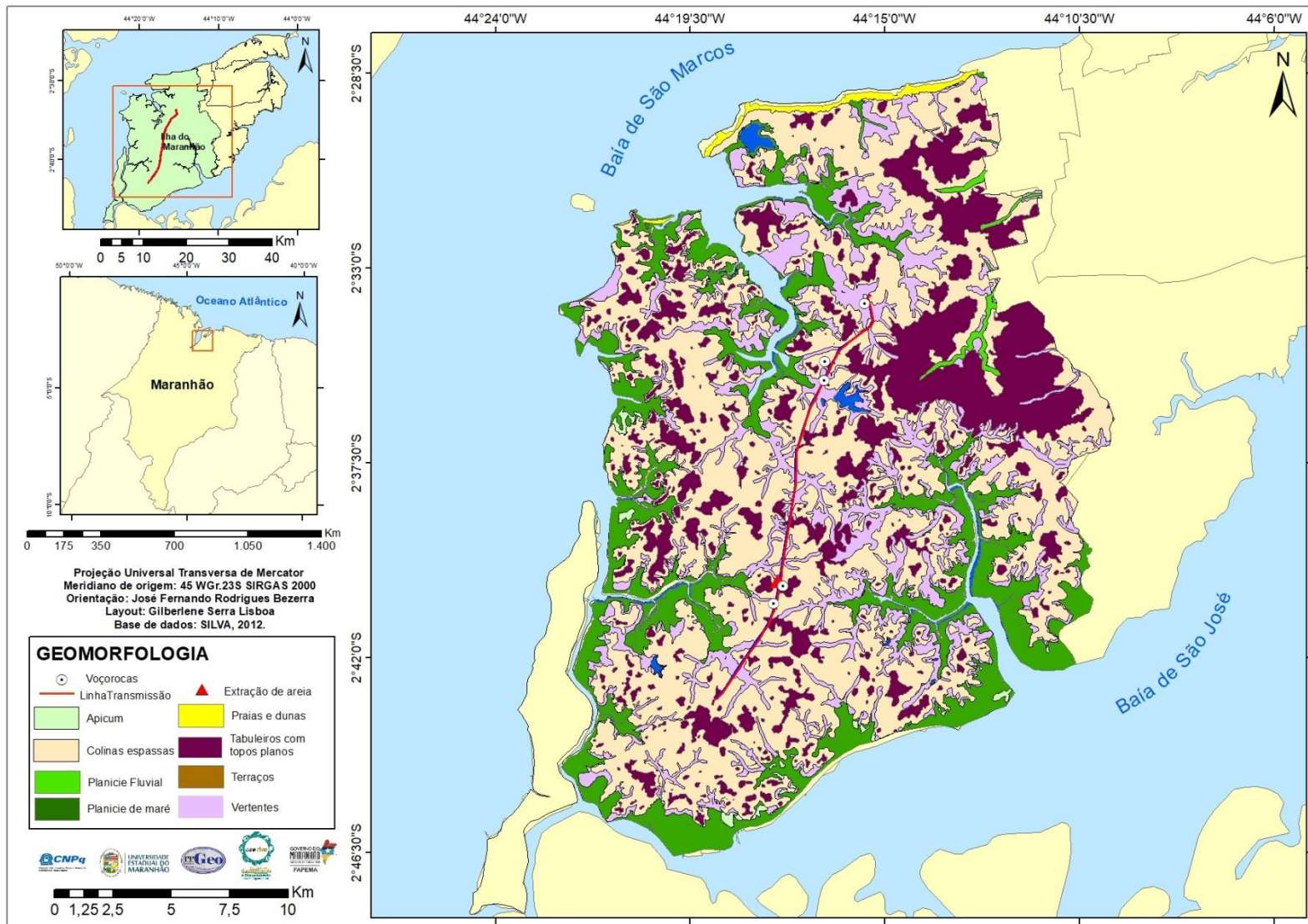


**Figura 17 – Hipsometria do município de São Luís**





**Figura 18**– Geomorfologia do município de São Luís



- **Solos**

Quanto aos aspectos pedológicos encontram-se na área de estudo os seguintes solos adaptados para a atual classificação da EMBRAPA (2013), IBGE (2015): Gleissolos Tiomórfico órtico, Latossolo vermelho distrófico, Argissolo vermelho amarelo distrófico, Neossolo quartzarênico órtico ( Figura 19).

Segundo a EMBRAPA (2013), o **Argissolo** caracteriza-se por material mineral, apresentando horizonte B textural imediatamente abaixo do A ou E, com argila de atividade baixa ou com argila de atividade alta conjugada com saturação por bases baixa e/ou caráter alítico na maior parte do horizonte B, e satisfazendo, ainda, os seguintes requisitos: Horizonte plíntico, se presente, não satisfaz os critérios para Plintossolo; Horizonte glei, se presente, não satisfaz os critérios para Gleissolo.

Em geral são bastante intemperizados, mas ao contrário dos Latossolos e Nitossolos, apresentam um horizonte B de acúmulo de argila, formando uma classe heterogênea, que tem em comum o aumento de argila em profundidade. Eles compreendem muitos solos intermediários para outras ordens, principalmente dos Latossolos, com os quais muitos ocorrem associados, uma vez que se desenvolvem também em condições de um ambiente tropical úmido (LEPSCH, 2011).

Muitos Argissolos são conhecidos em outros países como *Lixisols*, *Acrisols* e *Alisols* (FAO/Unesco e WRB); *Ultisols e Alfisols* (SoilTaxonomy); *SolsFerralitiques* (França) e *RedYellowPodzolicSoils* (antiga classificação dos EUA). A maioria, na classificação mais antigas do Brasil, era chamada de “Podzólicos Vermelho Amarelos”, “Podzólicos Bruno- Acizentados” e alguns de “Alissolos” ou “Rubrozéns”, estes dois últimos, quando com argilas de alta atividade (LEPSCH, 2011).

Os **Neossolos** são constituídos por material mineral ou orgânico pouco espesso (menos de 30 cm de espessura), sem apresentar qualquer tipo de horizonte B diagnóstico e satisfazendo os seguintes requisitos de acordo com o IBGE (2015):

- Ausência de horizonte glei, exceto no caso de solos com textura areia ou areia franca, dentro de 50 cm da superfície do solo, ou entre 50 cm e 120 cm de profundidade, se os horizontes subjacentes apresentarem mosqueados de redução em quantidade abundante;
- Ausência de horizonte vértico imediatamente abaixo de horizonte A;
- Ausência de horizonte plíntico dentro de 40 cm, ou dentro de 200 cm da superfície se imediatamente abaixo de horizontes A, E ou precedidos de horizontes de

coloração pálida, variedade ou com mosqueados em quantidade abundante, com uma ou mais das seguintes cores:

- Matiz 2,5 Y ou 5 Y; ou Matizes 10 YR a 7,5 YR com cromas baixos, normalmente iguais ou inferiores a 4, podendo atingir 6, no caso de matiz 10 YR;

- Ausência de horizonte A chernozêmico conjugado a horizonte cálcico ou horizonte C carbonático.

Para Lepsch (2011) são solos com pouca ou nenhuma evidência de horizontes pedogenéticos subsuperficiais, formando-se em materiais praticamente inertes, sem argilas e extremamente resistentes ao intemperismo (como areia de quartzo) ou estão tão pouco e recentemente expostos aos processos pedogenéticos que os horizontes diagnósticos típicos estão ausentes.

A maior parte é conhecida em outros países como *Arenosols*, *Regosols*, *Fluvisols*, *Leptosols* (WRB), *Lithosols* (FAO/Unesco), *Entisols* (EUA), *Alluvial Soils* (antiga classificação dos EUA), *Soils Minéraux Bruts* e *Sols Peu Évolués* (França). No Brasil, eram antes conhecidos como “Regossolos”, “Areias Quartzosas”, “Litossolos”, “Solos Litólicos” e “Solos Aluviais”.

De acordo com o IBGE (2015) os **Gleissolos** são solos característicos de áreas alagadas ou sujeitas a alagamento (margens de rios, ilhas, grandes planícies, etc.). Apresentam cores acinzentadas, azuladas ou esverdeadas, dentro de 50 cm da superfície. Podem ser de alta ou baixa fertilidade natural e têm nas condições de má drenagem a sua maior limitação de uso.

Para Lepsch (2011) são comuns nas baixadas úmidas, o que favorece neles a saturação com água por períodos suficientes para desenvolverem uma coloração com padrões acinzentados característicos. Os nomes mais comuns dos Gleissolos em outros países são *Gleysols* (FAO/Unesco e WRB), *Gleyzems* (Rússia), *Gleyb* (Alemanha), *Hidromorphic Soils*, *Low Humic* e *Humic Gley* (antigas classificações dos EUA). No Brasil, eram antes conhecidos como “Glei Tiomórfico”, “Solonchank com horizonte glei”, “Glei Húmico”, “Gleissolos com horizonte H, A húmico, chernozêmico ou proeminente” ou ainda “Hidromórfico Cinzento sem mudança textural abrupta”, “Hidromórfico Cinzento sem mudança textural abrupta”, “Glei pouco Húmico com A moderado”.

Segundo a EMBRAPA (2013), os **Gleissolos Tiomórficos** são solos de baixadas litorâneas, com pH muito baixo, sob influência de oscilações de marés,

distribuem-se nas regiões costeiras e planícies aluvionais, apresentam materiais sulfídricos ou horizonte sulfúrico dentro de 100 cm a partir da superfície

Ker (1998) contempla um breve relato da evolução do conceito de Latossolos e algumas características e distribuição destes solos no país, em seu trabalho de revisão sobre Latossolos do Brasil. De acordo com o autor:

O termo “Latosol” deriva de “laterite” e “solum”, ambos de origem latina, significando, respectivamente, tijolo ou conotando material altamente intemperizado, e solo, foi proposto pelo pedólogo americano Charles E. Kellog, em uma conferência americana sobre classificação de solos realizada em Washington, em 1949 (LEMOS, 1966; CLINE, 1975; SÉGALEN, 1994 *apud* KER, 1998. P. 17).

Inicialmente Kellog (1949) *apud* Ker (1998:17) conceitua Latossolo como:

Solos cujas características encontravam-se fortemente relacionadas à intemperização e lixiviações intensas e responsáveis pelas baixas atividades das argilas; baixa capacidade de troca de cátions; baixas relações moleculares sílica/alumínio ( $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 = \text{Ki}$ ) e sílica/óxidos de ferro e alumínio ( $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 = \text{Kr}$ ).

Após 1960, o sistema americano passou a classificar os solos latossólicos na ordem dos “Oxisols”, estabelecendo um horizonte subsuperficial oxídico, criando um horizonte B latossólico (Bw) diagnóstico da classe dos Latossolos, hoje diagnóstico da classe no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (KER, 1998; EMBRAPA, 2013).

De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2013), os Latossolos são solos em acelerado estágio de intemperização, muito evoluídos, como resultado de fortes transformações. Apresentam horizonte Bw, imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte A, dentro de 200 cm da superfície do solo ou dentro de 300 cm se o horizonte A apresenta mais que 150 cm de espessura. Possui pouquíssimos minerais primários mais resistentes ao intemperismo e tem capacidade de troca catiônica, inferior a 17 cmolc Kg<sup>-1</sup> de argila, grande estabilidade de agregados, sendo o grau de floculação igual ou próximo de 100%, à exceção dos horizontes mais ricos em matéria orgânica ou eletropositivos e pouca diferenciação entre os horizontes.

Em meio úmido, a transformação de uma crosta ferruginosa/ferricrete num latossolo corresponde à transformação de uma parte da caulinita em gibbsita por dessilicização e hidratação, e transformação de goethita em hematita por desidratação, quando da evaporação da água nesse sistema (TARDY *et al*, 1995).

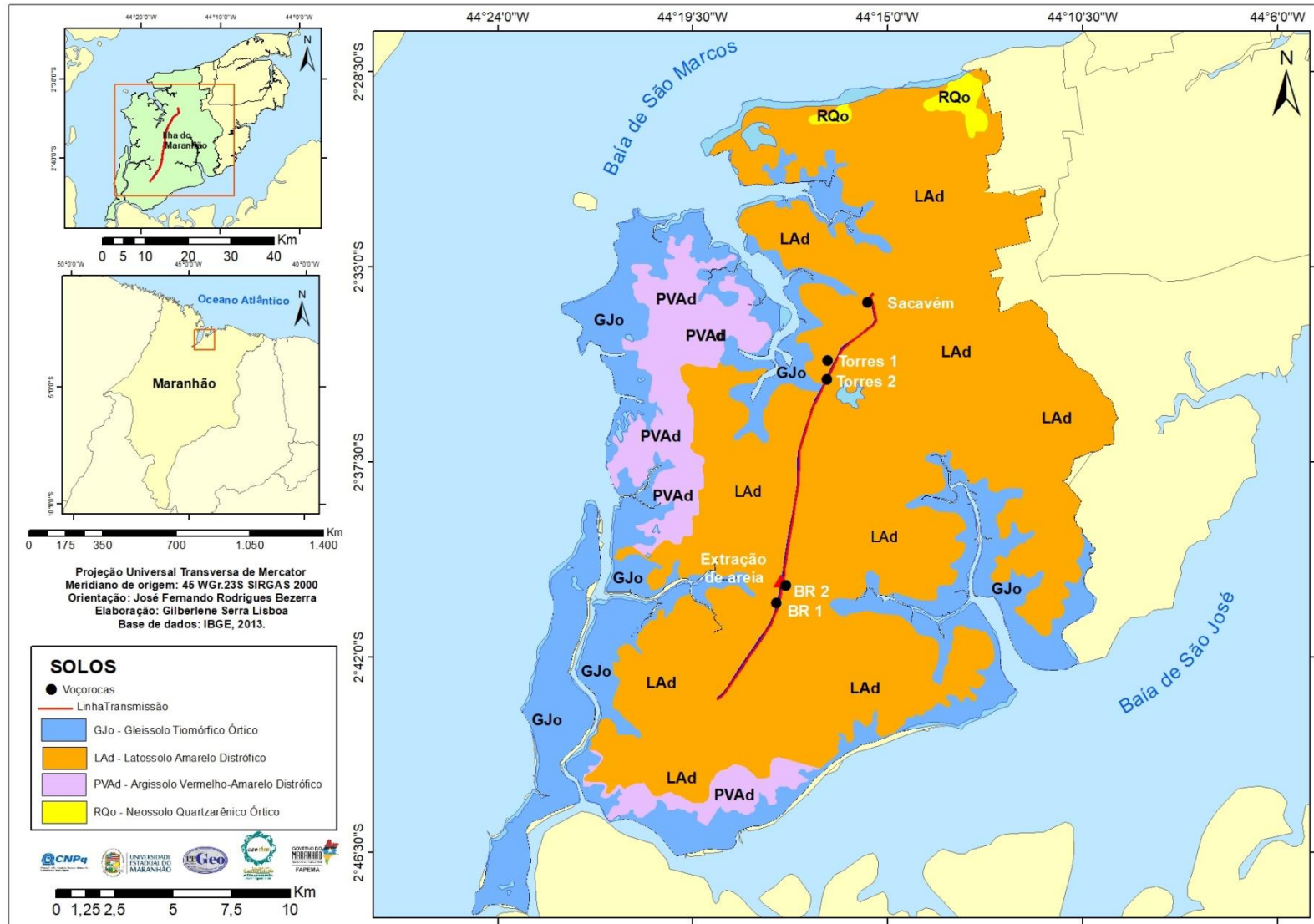
Os **Latossolos** em geral são solos muito intemperizados, profundos e de boa drenagem. Caracterizam-se por grande homogeneidade de características ao longo do perfil, mineralogia da fração argila predominantemente caulínica ou caulínica-oxídica, que se reflete em valores de relação Ki baixos, inferiores a 2,2, e praticamente ausência de minerais primários de fácil intemperização. Distribuem-se por amplas superfícies no Território Nacional, ocorrendo em praticamente todas as regiões, diferenciando-se entre si principalmente pela coloração e teores de óxidos de ferro, que determinaram a sua separação em quatro classes distintas ao nível de subordem no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS. IBGE (2015).

#### **Latossolos Amarelos**

São solos profundos, de coloração amarelada, muito homogêneos, boa drenagem e baixa fertilidade natural em sua maioria . Ocupam grandes extensões de terras no Baixo e Médio Amazonas e Zonas Úmidas Costeiras (tabuleiros). São cultivados com grande diversidade de lavouras IBGE (2015).

Na área onde está inserida a linha de transmissão encontra-se predominantemente os solos Latossolo vermelho distrófico, este presente em todos os processos erosivos estudados (Figura 19).

**Figura 19 – Solos do município de São Luís**



## • Clima

O clima da Ilha do Maranhão e entorno é caracterizado por ser tropical chuvoso, com períodos secos no inverno (PEREIRA, 2006); quente com chuvas de verão, isto é, Aw (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007); e quente e úmido, com características equatoriais (ARAÚJO ;SANT'ANNA NETO, 2002).

Quanto aos aspectos climáticos a área é marcada por dois períodos bem distintos: um chuvoso, que se caracteriza por apresentar moderados a grandes excedentes hídricos, enchentes dos rios, baixa evaporação, elevada umidade relativa do ar, solos úmidos e temperaturas moderadas que se estende de dezembro a junho; o outro caracteriza-se por déficit de precipitação, altas taxas de evaporação, baixa umidade relativa do ar, solos secos, temperaturas mais elevadas e vazantes dos rios, que vai de julho a novembro (MARANHÃO, 1998).

Considerando a metodologia adotada, e com base na média (Tabela 1) das estações abaixo, foi produzido o mapa de distribuição pluviométrica do município de São Luís onde mostra que a porção norte possui o maior índice de chuva. O mapa apresenta os seguintes intervalos: 1.760-1.768 mm; 1.768-1.773 mm; 1.773-1.778 mm, 1.778-1.783 mm; 1.783-1.789 mm (Figura 20).

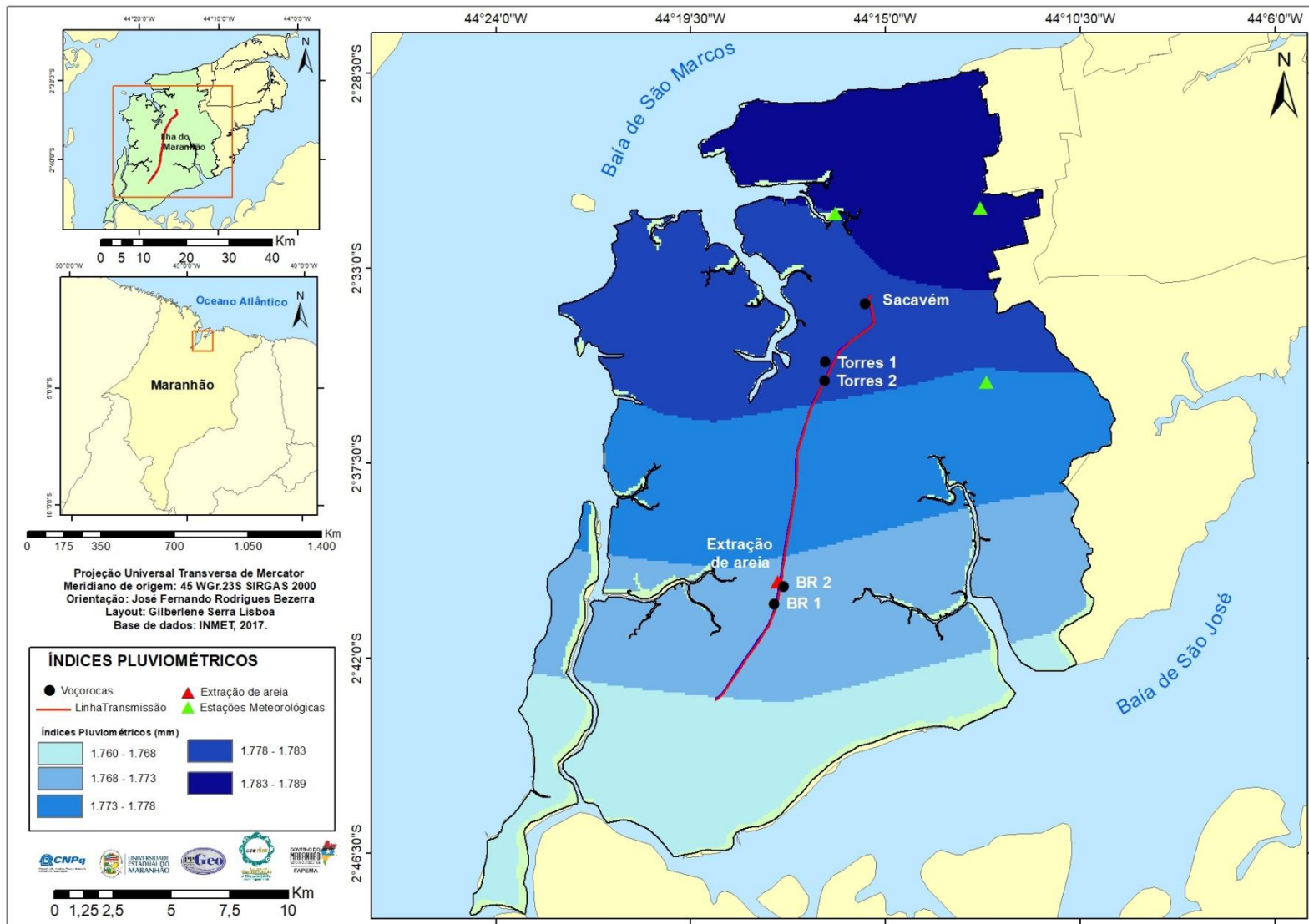
**Tabela 1-** Média dos índices pluviométricos nas estações

<b>ESTAÇÃO</b>	<b>MÉDIA 2007-2017</b>
<b>UEMA - MA</b>	1683,25
<b>Itapiracó -MA</b>	1971,89
<b>Alcântara - MA</b>	1861,37
<b>Bacanga - MA</b>	1671,41
<b>Chapadinha - MA</b>	1576,48
<b>Zé Doca- MA</b>	1602,76
<b>Raposa - MA</b>	1833,86

Fonte: INMET, 2017.



**Figura 20** – Índices pluviométricos do município de São Luís





- **Uso e ocupação do solo**

No município de São Luís, podem-se determinar as seguintes categorias de uso e ocupação do solo: área urbanizada, área tombada, restrita à ocupação, institucional, jurisdicional, ocupação desordenada, espaço não construído, aproveitamento econômico, lazer, turismo, expansão, diversos e águas (MARANHÃO, 1998).

Na linha de transmissão de energia, a partir da classificação supervisionada, foram identificados (5) categorias de uso e ocupação, sendo elas: água, área urbana, gramíneas, vegetação secundária mista e solo exposto (Figura 21).

A floresta secundária mista representa a cobertura vegetal oriunda “da devastação da floresta, por processos que vão desde o arrasamento da área [...] até a retirada das árvores com valor econômico”[...]. Adiciona-se a “ocorrência da vegetação secundária latifoliada [...] e as palmeiras” *op cit.* Pode ser subdividida em (mata secundária de terra firme, capoeira e palmácias/babaçuais). Na área de estudo abrange 31,4 km<sup>2</sup> o que implica a 33% sendo grande parte do Parque Estadual do Bacanga.

A categoria gramínea representa 0,23% equivalente a 0,21 km<sup>2</sup>, e situa-se nas áreas próximas à floresta secundária mista e às áreas urbanizadas, visto que a mesma aparece de forma sazonal e diferenciada ao longo da bacia, sendo melhor identificada após o período chuvoso.

O solo exposto, encontra-se nas proximidades de áreas urbanizadas onde acontecem a de extração de areia, silte, argila e laterita para construção civil. Sendo a cobertura vegetal constantemente utilizada para a construção de residências dos bairros circunvizinhos, causando conseqüentemente o aumentando das tensões no Parque Estadual do Bacanga, entre estes moradores e das entidades de gestão ambiental.

A categoria de uso urbanizada possui a maior área com 37,13 km<sup>2</sup> representando 39% do total (extensão construída englobando os mais diversos tipos de construção inclusive a áreas de ocupação<sup>1</sup>).

Portanto, corresponde àquelas superfícies em que predominam usos residenciais padronizados (oriundos de financiamento oficial ou particular) ou espaços residenciais consolidadas, bem como áreas em que se destacam atividades terciárias. Estas últimas se relacionam aquelas região

---

<sup>1</sup> As áreas de ocupação corresponde à forma com que a posse da terra se concretiza de fato, não significando, pois, a propriedade de direito Maranhão (1998).

em que se verifica concentração e desenvolvimento de estabelecimentos comerciais e de serviços, incluindo estacionamento, superfícies gramadas e/ou arborizadas (MARANHÃO, 1998).

### **Parque Estadual do Bacanga**

O Parque Estadual do Bacanga - PEB foi criado através do Decreto Estadual nº 7.545 de 2 de março de 1980 com uma área de 3.065ha, neste primeiro decreto área do PEB ocupava as zonas da Floresta Protetora dos Mananciais.

Segundo a SEMA (2015) sua flora apresenta árvores como: o Babaçu, o Buriti e várias árvores frutíferas à margem direita do Rio Bacanga. A fauna apresenta animais como a Preguiça, Cotias e várias espécies de aves, como Pica-pau amarelo, a Maracanã-do-buriti e o Gavião-da-cauda-branca. No parque há ainda, ruínas do complexo fabril, conhecido como Sítio do Físico, que possui cerca de 1.600 m<sup>2</sup> de áreas com ruínas de curtumes, fornos, tanques e armazéns.

A área do Parque Estadual do Bacanga corresponde à parte restante da antiga “Floresta Protetora dos Mananciais da Ilha de São Luís” assim declarada pelo Presidente da República Getúlio Vargas através do Decreto-Lei Federal no 6.833, de 26 de agosto de 1944 Maranhão (1992, p.11).

Seu primeiro Plano de Manejo foi criado em 1992 com o intuito de preservar a área. No entanto, sua implementação foi ineficaz frente ao elevado nível de degradação presente nas áreas do Parque, como: granja, extração mineral, áreas de lazer sem monitoramento e planejamento, áreas devastadas usadas para agricultura, invasões (Recanto Verde e Vila Itamar), desmatamentos e queimadas, que deixam o solo exposto e vulnerável (PEREIRA, 2006, p.60).

No ano de 2002, o PEB teve seu Plano de Manejo revisado, passando há ter somente 2.634,36 há, ou seja, menos 14% da criação. Este por sua vez também se mostrou ineficaz, tendo em vista que as ocupações irregulares continuaram a acontecer consequentemente desmatamentos entre outros, intensificando os processos erosivos acelerados como o caso da Voçoroca Torres 1 e Torres 2 dentro do Parque (Mapa 8)

### **APA do Maracanã**

A APA do Maracanã possui boa parte de sua área inserida na Bacia do rio Bacanga. Foi criada pelo Decreto de Estadual nº 12.103 de 01 de outubro de 1991 com uma área de 1.831 há. Limita-se ao norte com o Rio Maracanã (limite sul do PEB), ao leste pela BR – 135, a oeste pelo Módulo 9 do Distrito Industrial e ao Sul pela localidade Rio Grande.

Sua criação deu-se principalmente com o objetivo disciplinar o uso e ocupação do solo, bem como preservar os recursos hídricos existentes na região, sendo que estes deságuam no reservatório do Batatã.

Diferentemente do PEB a APA possui uma vegetação marcada por palmáceas e mangue, enquanto o PEB em sua grande maioria possui traços pré-amazônicos. Segundo Brasil (1999):

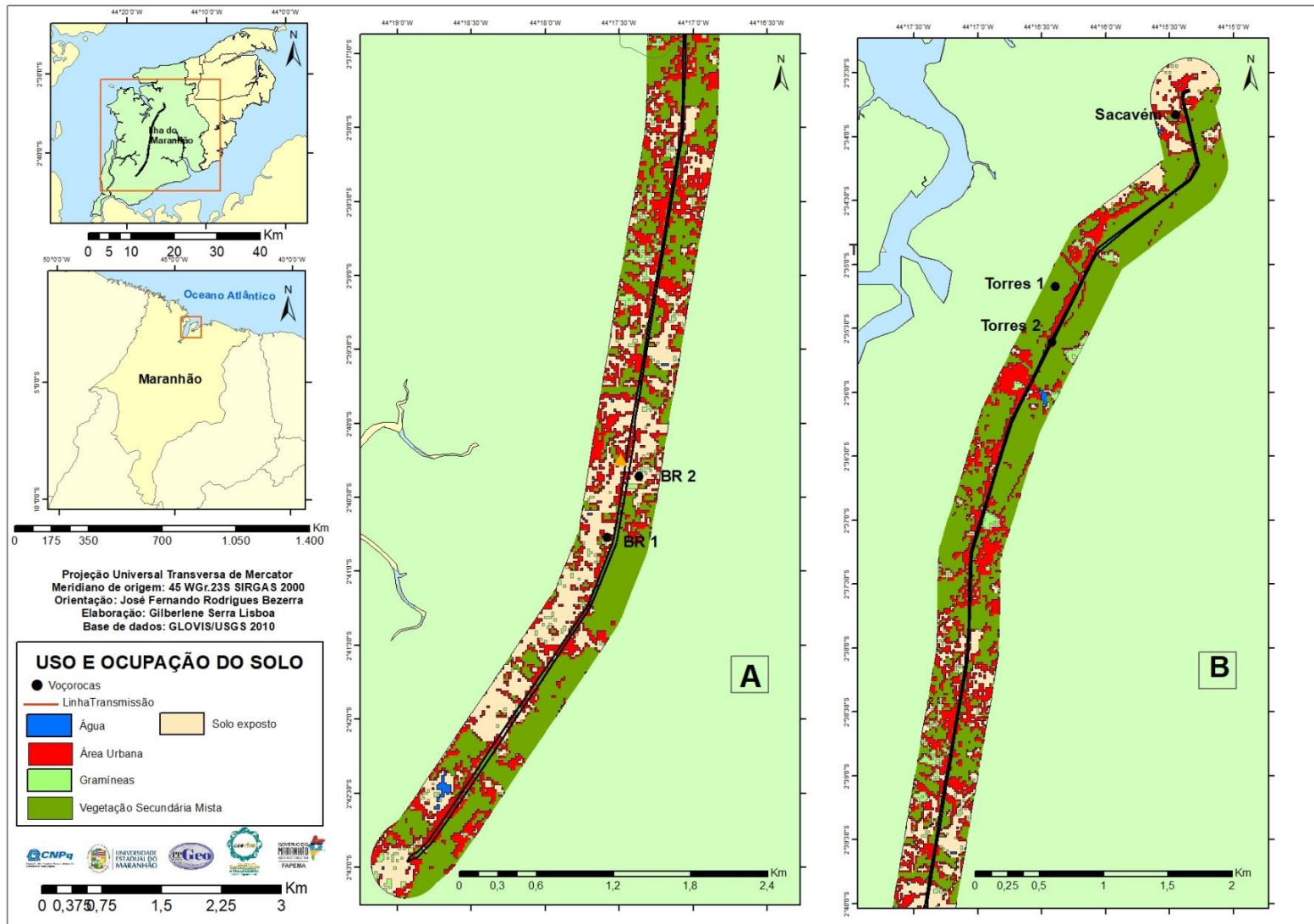
As áreas de proteção ambiental estão inseridas dentro das Unidades de Conservação de Uso Sustentável são áreas em geral extensas, com certo grau de ocupação humana, dotada de atributos abióticos, bióticos, estéticos ou culturais especialmente importantes para a qualidade de vida e o bem-estar das populações humanas, e tem como objetivos básicos proteger a diversidade biológica, disciplinar o processo de ocupação e assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais. (Artigo 15º da lei no 9.985, de 18 de julho de 2000).

No entanto mesmo sendo uma APA, são desenvolvidas diversas atividades que destroem a fauna, flora, solos e os recursos naturais da região. Destaca-se nessas atividades a extração de areia e silte desenvolvida ilegalmente na área.

Segundo Filho (2010, p.16) todos os problemas ambientais, somados a outros de cunho econômico, têm impactado seriamente os recursos da APA do Maracanã, o que se reflete em profundos desequilíbrios ecológicos. E ainda assim pouco tem sido feito por esta UC por parte principalmente do poder público. Neste sentido Oliveira (2011, p.4) destaca que:

A degradação da qualidade ambiental em decorrência de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente natural remanescente e cultural (construído) torna-se cada vez mais presente e visível no cotidiano da Área de Proteção Ambiental (APA) do Maracanã, exposta a toda sorte de impactos e agressões, advindos principalmente da intensa concentração populacional do entorno e do contínuo processo de urbanização e industrialização.

**Figura 21** – Uso e ocupação da Linha de transmissão de energia



## 4.2 Processos erosivos em linha de transmissão de energia

A voçoroca é nitidamente um fenômeno hídrico, que envolve tanto a ação das águas superficiais como subterrâneas, que neste ultimo caso podendo originar o processo de *piping*, que consiste na formação de dutos, que são canais abertos em subsuperfície e podem ocasionar o colapso do solo (GUERRA, 2009; GUERRA, 2012; SALOMÃO, 2012; BIGARELLA, 2003). Assim a voçoroca é palco de diversos fenômenos: erosão superficial, erosão interna, solapamentos, desabamentos e escorregamentos, que se conjugam no sentido de favorecer essa forma de erosão de elevado poder destrutivo (SALOMÃO, 2012).

Ao longo da Linha de transmissão do município de São Luís, foram identificados processos erosivos acelerados: Torres 1 (02° 36'10" S e 44° 16'23,2" W); Torres 2 (02° 37'20,5" S e 44° 16' 05,1" W) Sacavém (02° 33' 49,1" S e 44° 17'01,7" W) BR 1 ( 02° 40'43.8" S e 44° 17'33.7" W) BR 2 (02° 40'22,4" S e 44° 17' 24,8" W).

A voçoroca Torres 1 (Figura 22) encontra-se dentro do Parque Estadual do Bacanga, com vegetação de porte arbórea nas áreas circunvizinhas e sua origem está associada a implantação das Torres da ELETRONORTE (Centrais Elétricas do Norte do Brasil), bem como a rede de drenagem pluvial artificial, que influenciaram a evolução dessa feição. A referida erosão linear apresenta 27,13 m de largura; 67,70 m de comprimento e 4,80 cm de profundidade. A voçoroca Torres 2 (Figura 23 ) está localizada no Parque Estadual do Bacanga, 282 m de comprimento e 8 m de profundidade aproximadamente, com estratificação diferenciada com cores variando em tons de branco e rosado , com vegetação secundária ao redores.

**Figura 22-** Voçoroca Torres 1



Fonte: Lisboa , 2018.



**Figura 23-** Voçoroca Torres 2



Fonte: Lisboa . 2018.

A voçoroca do Sacavém (Figura 24) localiza-se na porção centro-oeste do município de São Luís, mais especificamente no bairro do Sacavém. Essa feição está disposta na cabeceira de drenagem na margem direita do rio das Bicas que compõe a bacia do Bacanga, possuindo ~35 m de comprimento e ~75 m de largura. A área apresenta afloramentos do Grupo Barreiras, com encostas íngremes e pouca vegetação (floresta secundária mista e capoeira), com intensa atividade de extração mineral, inclusive pela própria população local (BEZERRA, 2011).

**Figura 24-** Voçoroca Sacavém



Fonte: Lisboa , 2018.

A voçoroca BR 1 (Figura 25 ) está localizada as margens da BR 135, com dimensões variando aproximadamente de 30 m de largura, 40 m de comprimento e 2 m de profundidade; possui um relevo plano ondulado, com vegetação secundária mista ao redores e ocupações irregulares na faixa de servidão da linha de transmissão de energia ( Figura 26). A voçoroca BR 2 (Figura 27) encontra-se também as margens da BR 135 em uma área privada, cujas dimensões são aproximadamente 70 m de largura, 75 m de comprimento e 5 m de profundidade, com presença de gramíneas nas bordas e é a forma de vegetação dominante, e declividade mais acentuada no sentido a montante da feição erosiva o risco de erosão nesta área está intenso e acelerado, sua borda está com um muro construído todo ao seu redor para conter o avanço (Figura 28).

**Figura 25-** Voçoroca BR 1



Fonte: Lisboa , 2018.

**Figura 26-** Voçoroca BR 1 em 2018



Fonte: Lisboa , 2018.



**Figura 27-** Voçoroca BR 2



Fonte: Lisboa, 2018.

**Figura 28-** Construção do muro de arrimo



Fonte: Lisboa, 2018.

### **4.3 Análises dos atributos do solo**

#### **4.3.1 Atributos morfológicos do solo**

Nas voçorocas analisadas na linha de transmissão foram feitas a identificação das cores segundo Munsell (2009). No perfil da voçoroca Torres (4m 80 cm de profundidade) as cores que predominam são o Bruno avermelhado (2.5YR 5/3),



Vermelho (2.5YR 4/8) e amarelo avermelhado (5YR 6/8) (Tabela 2). As cores avermelhadas indicam boa drenagem e arejamento do solo, permitindo a existência de condições de oxidação para formar óxidos, já a cor bruno avermelhado está ligada à presença de goetita e de um pouco de hematita (RUELLAN; DOSSO, 2003).

A textura na voçoroca Torres 1 (ponto 1) , variou entre média e arenosa, a estrutura quando a forma e o tamanho é predominantemente subangular e pequena; a consistência (Figura 29) predominante no solo seco é macia, com exceções das profundidades P4 (80 cm) que é extremamente dura, P8 (1,60 cm) muito dura e P14 (2,80 cm) P16 (3,20 cm) que é solta; no solo úmido a predominância é do muito friável, com exceções das profundidades P4 (80 cm) extremamente firme e P8 (1,60 cm) e P13 (2,60 cm) que são firme; no solo molhado a predominância da ligeiramente plástica, com exceções das profundidades P8 (1,60 cm), P10 (2 m), P11(2,20 cm), plástica, P21 (4,20 cm), P22(4,40 cm) que foram todas classificadas como não plástica e quanto a pegajosidade são ligeiramente pegajosa (Tabela 2)

**Figura 29-** (A) Consistência do solo seco; (B) Determinação da pegajosidade ;(C)Consistência do solo molhado (plasticidade e pegajosidade)



Fonte: Lisboa, 2017.

Os horizontes coesos são caracterizados pelos graus de consistência, friável quando úmidos, e dura, muito dura ou extremamente dura quando secos, de ocorrência nos Argissolos Amarelos e Latossolos Amarelos, nos horizontes BA, parte do Bt ou do Bw, sendo a textura média (coesão menos evidente), argilosa ou muito argilosa, geralmente entre 30 e 70 cm de profundidade (ACHÁ PANOSO, 1976; JACOMINE, 1996, REZENDE, 2000, RIBEIRO, 1998; GIAROLA *et al.*, 2001; GIAROLA e SILVA, 2002; MOREAU, 2001; MOREAU *et al.*, 2003; NUNES *et al.*, 2011), dificultando a infiltração da água e a penetração de raízes (OLIVEIRA NETO, 1992; MELLO, 1993, *apud* FILIZOLA, 2001). Apresentam-se sem uma organização nítida, com grau de estrutura maciça-coerente e densidade do solo alta (GIAROLA & SILVA, 2002).

**Tabela 2-** Características morfológicas da Voçoroca Torres 1 ( ponto 1)

<b>Prof. (cm)</b>	<b>Cor Munsell</b>	<b>Textura</b>	<b>Estrutura</b>	<b>Consistência</b>
<b>Perfil (4,80m)</b>				
<b>0- 20</b>	2.5 YR 5/3 Bruno avermelhado	Arenosa	subangular pequena	Dura; muito friável; ligeiramente plástica e pegajosa
<b>20-40</b>	2.5 YR 5/4 Bruno avermelhado	Média	subangular pequena	Dura; friável; ligeiramente plástica e pegajosa
<b>40- 60</b>	5 YR 5/4 Bruno avermelhado	Arenosa	subangular pequena	Ligeiramente dura, plástica, pegajosa e muito friável
<b>60- 80</b>	5 YR 5/4 Bruno avermelhado	Média	subangular pequena	Extremamente dura, firme; ligeiramente plástica e pegajosa
<b>80-100</b>	5 YR 5/6 Vermelho amarelado	Média	subangular pequena	Ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa
<b>100- 120</b>	2.5 YR 5/8 Vermelho	Arenosa	subangular média	macia, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa
<b>120- 140</b>	5 YR 5/8 Vermelho amarelado	Média	subangular pequena	Ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa
<b>140- 160</b>	2.5 YR 4/8 Vermelho	Média	subangular média	Muito dura, firme, plástica,

---

<b>160- 180</b>	10 R 7/8 Vermelho claro	Média	subangular média	ligeiramente pegajosa Macia,muito friável, plástica, ligeiramente pegajosa
<b>180- 200</b>	10 R 5/6 Vermelho	Média	subangular pequena	Macia,muito friável,plástica,ligeira mente pegajosa
<b>200- 220</b>	10 R 5/8 Vermelho	Arenosa	subangular pequena	Macia, muito friável, plástica, ligeiramente pegajosa
<b>220- 240</b>	10 R 6/8 Vermelho claro	Média	subangular pequena	Ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa
<b>240- 260</b>	2.5 YR 4/8 Vermelho	Média	subangular pequena	Dura, firme, ligeiramente plástica,ligeiramente pegajosa
<b>260- 280</b>	5 YR 6/8 Amarelo avermelhado	Média	subangular muito pequena	Solta,muito friável, ligeiramente plástica,ligeiramente pegajosa
<b>280-300</b>	7.5 YR 7/6 Amarelo avermelhado	Arenosa	subangular pequena	Ligeiramente dura, muitofriável,ligeiram enteplástica, ligeiramente pegajosa
<b>300-320</b>	5 YR 8/4 Rosado	Média	subangular pequena	solta; muito friável; ligeiramente plástica e pegajosa
<b>320-340</b>	7.5 YR 5/8 Vermelho	Média	subangular muito pequena	Ligeiramente dura; muito friável; ligeiramente plástica e pegajosa
<b>340-360</b>	2.5 YR 4/8 Vermelho	Média	subangular pequena	Macia, friável, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa
<b>360-380</b>	10 R 4/8 Vermelho	Arenosa	subangular pequena	macia , muito friável, ligeiramente plástica e pegajosa
<b>380-400</b>	5 YR 7/6 Amarelo avermelhado	Média	subangular pequena	Ligeiramente dura,muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa
<b>400-420</b>	5 YR 7/6 Amarelo avermelhado	Arenosa	subangular média	macia,muito friável, não plástica e ligeiramente pegajosa

---

<b>420-440</b>	5 YR 7/6 Amarelo avermelhado	Arenosa	subangular pequena	Macia, muito friável, não plástica e ligeiramente pegajosa
<b>440-460</b>	5 YR 7/8 Amarelo avermelhado	Arenosa	subangular média	Macia, friável, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa
<b>460-480</b>	5 YR 7/6 Amarelo avermelhado	Arenosa	subangular média	Macia, muito friável, plástica, ligeiramente pegajosa

Fonte: Lisboa, 2017.

Na voçoroca Torres 1 no (ponto 2) a cor do solo que predominante é o vermelho avermelhado nas profundidades de (1,34 cm; 2,01 cm ; 2,68 cm) ( 5YR 5/8) , com exceção da profundidade 67 cm (2.5 YR 5/6 Vermelho); a textura dominante arenosa ; a forma é subangular, com exceção do (67 cm) que possui a forma angular e tamanho com predominância pequena e muito pequena ; a consistência predominante no solo seco é macia, com exceções das profundidades (2,01 cm) que é dura, (2,68 cm) muito dura ; no solo úmido a predominância é do muito friável, com exceções das profundidades (67 cm) solta; no solo molhado a predominância da ligeiramente plástica, com exceção da profundidade (67 cm) plástica, quanto a pegajosidade são ligeiramente pegajosa (Tabela 3).

**Tabela 3-** Características morfológicas da Voçoroca Torres 1 ( ponto 2)

<b>Prof. (cm)</b>	<b>Cor Munsell</b>	<b>Textura</b>	<b>Estrutura</b>	<b>Consistência</b>
<b>Perfil ( 2,68m)</b>				
<b>0-67</b>	2.5 YR 5/6 Vermelho	Arenosa	angular Muito pequena	Macia; solta; plástica ligeiramente pegajosa
<b>67-1,34</b>	5 YR 5/8 Vermelho avermelhado	Arenosa	Subangular, angulares Pequena, muito pequena	Macia ; muito friável; ligeiramente plástica e pegajosa
<b>1,34- 2,01</b>	5 YR 5/8 Vermelho avermelhado	Média	Subangular, angulares pequena	Dura, muito friável, ligeiramente plástica e pegajosa
<b>2,01- 2,68</b>	5 YR 5/8 Vermelho avermelhado	Arenosa	Subangular, angular, Pequena, muito pequena	Muito dura, muito friável; ligeiramente plástica e pegajosa

Fonte: Lisboa, 2017.

No perfil da voçoroca Torres 2, as cores do solo é o vermelho claro acinzentado nas profundidades de (150 cm;200cm;350cm; 400 cm; 450cm; 500cm; 550 cm;600 cm; 650cm; 700 cm;750 cm) com exceção das profundidades (50 cm ; cinzento rosado ) (100 cm; Bruno avermelhado claro) (250 cm; bruno ) ( 300 cm; amarelo avermelhado) ; a textura dominante média e argilosa com exceção da profundidade (800cm; arenosa); as forma é angular e laminar, com exceção do (200 cm; 750 cm ) que possui a forma subangular e tamanho com predominância pequena com exceção ( 250 cm; 500cm; 600cm; 700 cm ) média (450cm; 550 cm; 750cm; 800 cm) muito pequena; a consistência predominante no solo seco é muito dura, dura , ligeiramente dura e extremamente dura ; no solo úmido a predominância é do firme, friável, muito friável e extremamente friável; no solo molhado a predominância da plástica e ligeiramente plástica , quanto a pegajosidade são ligeiramente pegajosa (Tabela 4).

**Tabela 4-** Características morfológicas da Voçoroca Torres 2

<b>Prof. (cm)</b>	<b>Cor Munsell</b>	<b>Textura</b>	<b>Estrutura</b>	<b>Consistência</b>
<b>Perfil ( 8 m)</b>				
<b>0-50</b>	7.5 YR 7/2 Cinzento rosado	Argilosa	angular pequena	Muito dura; firme; plástica e ligeiramente pegajosa
<b>50-100</b>	2.5 YR 6/4 Bruno avermelhado claro	Média	laminar pequena	Muito dura; firme; plástica e ligeiramente pegajosa
<b>100- 150</b>	2.5 YR 7/2 Vermelho claro acinzentado	Argilosa	laminar pequena	dura, firme, plástica e ligeiramente pegajosa
<b>150- 200</b>	2.5 YR 6/2 Vermelho claro acinzentado	Média	Subangular pequena	dura, firme; ligeiramente plástica e pegajosa
<b>200-250</b>	7.5 YR 5/4 Bruno	Média	laminar média	Muito dura, friável, plástica e ligeiramente pegajosa
<b>250- 300</b>	7.5 YR 6/6 Amarelo avermelhado	Argilosa	angular pequena	Dura, friável, plástica e ligeiramente pegajosa
<b>300- 350</b>	2.5 YR 7/2 Vermelho claro acinzentado	Argilosa	angular pequena	Ligeiramente dura, friável, plástica e ligeiramente pegajosa
<b>350- 400</b>	2.5 YR 7/2 Vermelho claro acinzentado	Argilosa	angular pequena	Ligeiramente dura, friável, plástica, ligeiramente pegajosa

<b>400-450</b>	5 YR 7/3 Vermelho claro acinzentado	Média	laminar muito pequena pequena	Extremamente dura,muito friável, ligeiramente plástica ligeiramente pegajosa
<b>450- 500</b>	5 YR 7/3 Vermelho claro acinzentado	Média	Laminar pequena média	Extremamente dura, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa
<b>500-550</b>	5 YR 7/3 Vermelho claro acinzentado	Média	laminar muito pequena pequena	Extremamente dura, extremamente firme, ligeiramente plástica ligeiramente pegajosa
<b>550-600</b>	10 R 7/3 Vermelho claro acinzentado	Média	Laminar pequena média	Extremamente dura, extremamente firme, ligeiramente plástica ligeiramente pegajosa
<b>600- 650</b>	10 R 7/4 Vermelho claro acinzentado	Média	laminar pequena	Extremamente dura, extremamente firme, ligeiramente plástica ligeiramente pegajosa
<b>650-700</b>	10 R 7/4 Vermelho claro acinzentado	Média	laminar média	Extremamente dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa
<b>700-750</b>	10 R 7/3 Vermelho claro acinzentado	Média	angular/ subangulares laminar muito pequena	Extremamente dura, friável, ligeiramente plástica , ligeiramente pegajosa
<b>750-800</b>	10 R 5/6 Vermelho	Arenosa	laminar muito pequena pequena	Extremamente dura, muito friável, ligeiramente plástica ligeiramente pegajosa

Fonte: Lisboa , 2017.

Na voçoroca do Sacavém , as cores do solo estão representadas no amarelo avermelhado , com exceção da profundidade (100cm; bruno amarelo claro); a textura dominante média e argilosa com exceção da profundidade (200 cm ;400 cm arenosa); as forma quando a estrutura é angular , com exceção do (300 cm; laminar ) e tamanho com predominância média; a consistência predominante no solo seco é muito dura, ligeiramente dura com exceções ( 150 cm; macia) ( 300 cm; dura) ; no solo úmido a predominância é do friável, muito friável com exceções ( 50cm; firme) ( 350 cm; muito firme) ; no solo molhado a predominância é ligeiramente plástica , quanto a pegajosidade são ligeiramente pegajosa e pegajosa (Tabela 5).

**Tabela 5** - Características morfológicas da Voçoroca Sacavém

<b>Prof. (cm)</b>	<b>Cor Munsell</b>	<b>Textura</b>	<b>Estrutura</b>	<b>Consistência</b>
<b>Perfil ( 4,50 m)</b>				
<b>0-50</b>	7.5 YR 6/6 Amarelo avermelhado	Média	angular média	Muito dura;firme; ligeiramente plástica ligeiramente pegajosa
<b>50- 100</b>	5 YR 6/4 Bruno amarelo claro	Média	Angulares Média	Muito dura ; friável; ligeiramente plástica e pegajosa
<b>100-150</b>	7.5 YR 6/6 Amarelo avermelhado	Média	angular, média	Ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente plástica e pegajosa
<b>150-200</b>	7.5 YR 6/6 Amarelo avermelhado	Arenosa	angular, média	Macia, muito friável; ligeiramente plástica ligeiramente pegajosa
<b>200- 250</b>	7.5 YR 6/6 Amarelo avermelhado	Média	angular média	Macia; friável; ligeiramente plástica; ligeiramente pegajosa
<b>250-300</b>	7.5 YR 6/6 Amarelo avermelhado	Argilosa	laminar, média	Dura ; firme ; plástica e pegajosa
<b>300-350</b>	7. 5 YR 7/4 Rosado	Argilosa	angulares, média	Muito dura, muito firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa
<b>350-400</b>	7. 5 YR 7/4 Rosado	Argilosa	angular, média	Macia, friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa
<b>400-450</b>	7. 5 YR 7/4 Rosado	Arenosa	angular, média	Macia, muito friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa

Fonte: Lisboa, 2017.

Na voçoroca BR 1, as cores do solo que predomina é o rosado nas profundidades de (base;100 cm;150 cm ; 200 cm) com exceção da profundidade (50 cm ; amarelo avermelhado) ; a textura dominante arenosa com exceção das profundidades (base; argilosa) (200 cm; média) ; as forma é angular e subangular, e tamanho com predominância média com exceção ( base; grande ) ( 50 cm; pequena); a consistência predominante no solo seco é ligeiramente dura; no solo úmido a predominância é do muito friável; no solo molhado a predominância da não plástica e ligeiramente plástica , quanto a pegajosidade são pegajosa e ligeiramente pegajosa (Tabela 6).

**Tabela 6** - Características morfológicas da Voçoroca BR1

<b>Prof. (cm)</b>	<b>Cor Munsell</b>	<b>Textura</b>	<b>Estrutura</b>	<b>Consistência</b>
<b>Perfil ( 2 m)</b>				
<b>base</b>	7.5 YR 7/4 Rosado	Argilosa	angular grande	Extremamente dura ; muito firme; plástica e pegajosa
<b>base- 50</b>	7. 5 YR 7/6 Amarelo avermelhado	Arenosa	Subangular, pequena	Solta ; solta; não plástica e ligeiramente pegajosa
<b>50-100</b>	7. 5 YR 7/4 Rosado	Arenosa	Subangular, média	Macia, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa
<b>100-150</b>	7.5 YR 7/4 Rosado	Arenosa	angular, média	Ligeiramente dura, friável; não plástica ligeiramente pegajosa
<b>150 -200</b>	5 YR 7/3 Rosado	Média	angular, média	Ligeiramente dura, muito friável; ligeiramente plástica e pegajosa

Fonte: Lisboa , 2017.

Na voçoroca BR 2 , as cores do solo que predominante é o vermelho claro e amarelo brunado com exceção das profundidades (2 m rosado); as texturas dominante são média e arenosa com exceção da profundidade (1 m; média); as forma quando a estrutura é angular , com exceção do (2m; laminar) e tamanho com predominância média com exceção (3m; pequena ); a consistência predominante no solo seco é dura e ligeiramente dura ; no solo úmido a predominância é do firme e muito friável; no solo molhado a predominância da plástica e não plástica , quanto a pegajosidade são pegajosa e ligeiramente pegajosa (Tabela 7).



**Tabela 7** - Características morfológicas da Voçoroca BR 2

Prof. (cm)	Cor Munsell	Textura	Estrutura	Consistência
<b>Perfil ( 5 m)</b>				
<b>0-1 m</b>	2.5 YR 6/6 Vermelho claro	Média	angular média	Dura; firme; plástica; pegajosa
<b>1-2 m</b>	7.5 YR 7/3 Rosado	Argilosa	laminar, média	Muito dura; muito firme; plástica e pegajosa
<b>2-3 m</b>	5 YR 6/6 Vermelho claro	Média	angular, pequena	Ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e pegajosa
<b>3-4 m</b>	10 R 6/6 Amarelo brunado	Arenosa	angular, média	Ligeiramente dura, muito friável; não plástica; ligeiramente pegajosa
<b>4-5 m</b>	10 R 6/6 Amarelo brunado	Arenosa	angular, média	Macia, muito friável; não plástica; ligeiramente pegajosa

Fonte: Lisboa , 2017.

#### 4.3.2 Atributos físicos do solo

A determinação da densidade aparente do solo permitiu avaliar certas propriedades do solo, como a densidade de partículas e porosidade das amostras analisadas. Os valores encontrados para a densidade aparente do solo representa o estado atual do solo, passível de variação para mais devido a compactação, ou menos, pela incorporação de matéria orgânica. Outro fator que influencia a densidade aparente do solo é o manejo de solo, que dependendo do tipo, pode aumentar a compactação do solo, facilitando o encrostamento e a formação de processos erosivos acelerados.

Os resultados da densidade aparente do solo (Ds) variaram entre 1,28 a 1,96 g/cm<sup>3</sup> nos cinco processos erosivos analisados (Tabela 8 ) sendo os maiores valores encontrados na voçoroca BR 1 de 1,96 g/cm<sup>3</sup> e a menor densidade do solo também da mesma voçoroca. Assim, de acordo com os resultados das análises referente aos atributos físicos do solo na área de estudo, é possível observar que os valores de densidades do solo variam em todas as amostras analisadas (Tabela 8 ).

A densidade de partículas (Dp) refere-se ao volume de sólidos de uma amostra de terra, sem considerar a porosidade. Os resultados demonstram que a densidade de partículas das voçorocas variaram entre os limites 2,35 g/cm<sup>3</sup> na voçoroca Torres 1 (ponto 2) a 3,33 g/cm<sup>3</sup> na mesma voçoroca (Tabela 8 ). O valor médio da

densidade de partículas está em torno de  $2,62 \text{ g/cm}^3$ , está em conformidade com os estudos de Kiehl (1979), indicando os constituintes minerais predominantes dos solos, como o quartzo, os feldspatos e os silicatos de alumínio coloidais, cujas densidades reais estão em torno de 2,65.

Em relação à porosidade, o menor valor é de 26% encontrada na voçoroca BR 1 e o maior valor foi encontrado na voçoroca Torres 1 (ponto 2) de 52,25 %. Quanto menor a porosidade, menor será a capacidade de a água infiltrar no solo, e consequentemente, maior será o escoamento superficial (Tabela 8).

**Tabela 8-** Análise dos atributos físicos do solo

<b>AMOSTRAS</b>	<b>DENSIDADE APARENTE DO SOLO (<math>\text{g/cm}^3</math>)</b>	<b>DENSIDADE DE PARTÍCULAS (<math>\text{g/cm}^3</math>)</b>	<b>POROSIDADE TOTAL (%)</b>
<b>Voçoroca Torres (ponto 1)</b>			
<b>P1 superficial</b>	1,65	2,70	38
<b>P2 superficial</b>	1,65	2,70	38
<b>P3 superficial</b>	1,76	2,66	33
<b>P4 superficial</b>	1,82	2,5	27,2
<b>Voçoroca Torres (ponto 2)</b>			
<b>P1 superficial</b>	1,84	2,89	36,33
<b>P2 superficial</b>	1,63	3,33	52,25
<b>P3 superficial</b>	1,79	2,53	39,52
<b>P4 superficial</b>	1,59	2,85	37,14
<b>P5 superficial</b>	1,64	2,35	30,21
<b>Voçoroca Torres 2</b>			
<b>P1 superficial</b>	1,74	2,94	40
<b>P2 superficial</b>	1,58	2,66	40
<b>P3 superficial</b>	1,43	2,66	46,24
<b>P4 superficial</b>	1,37	2,66	48,49
<b>P5 superficial</b>	1,47	2,66	44,73
<b>Voçoroca Sacavém</b>			
<b>P1 superficial</b>	1,80	2,5	28
<b>P2 superficial</b>	1,61	2,94	45,23

<b>P3 superficial</b>	1,78	2,66	33,08
<b>P4 superficial</b>	1,66	2,66	37,59
<b>P5 superficial</b>	1,62	2,77	41,51
<b>Voçoroca BR 1</b>			
<b>P1 ( base)</b>	1,96	2,66	26
<b>P2 ( 50 cm)</b>	1,28	2,5	42
<b>P3( 100cm)</b>	1,62	2,85	43
<b>P4 ( 150 cm)</b>	1,56	2,56	39
<b>P5 (200 cm)</b>	1,71	2,73	37
<b>Voçoroca BR 2</b>			
<b>P1 (1m)</b>	1,67	2,35	28
<b>P2 ( 2m)</b>	1,48	2,73	45
<b>P3 ( 3m)</b>	1,88	2,59	27
<b>P4 ( 4m)</b>	1,76	2,66	33
<b>P5 ( 5m)</b>	1,70	2,5	32

Fonte: Lisboa, 2017.

A densidade aparente do solo crítica depende de sua classe textural. Argenton *et al* (2005) constataram que em Latossolo vermelho argiloso, deficiência de aeração inicia-se com densidade aparente do solo de aproximadamente 1,30 g/cm<sup>3</sup>. Já Reichert *et al* (2003) propuseram densidade do solo crítica para algumas classes texturais: 1,30 a 1,40 g/cm<sup>3</sup> para solos argilosos, 1,40 a 1,50 g/cm<sup>3</sup> para os franco-argilosos e de 1,70 a 1,80 g/cm<sup>3</sup> para os franco-arenosos.

Os resultados de densidade aparente do solo (Tabela 8) apresentaram valores em média de 1,28 g/cm<sup>3</sup>, caracterizando ambiente pouco compactado, porém seguindo valores de Reichert *et al* (2003) e correlacionando os valores de densidade com as classes texturais, verifica-se que voçoroca Torres 2 ( P4 1,37 g/cm<sup>3</sup>) para solos argilosos; voçoroca BR 2 ( P2 1,48 g/cm<sup>3</sup>) para os solos franco- argilosos e voçoroca Torres 1 (P3 1,76 g/cm<sup>3</sup>) voçoroca Torres 2 ( P1 1,74 g/cm<sup>3</sup>) voçoroca Sacavém ( P1 1,80 g/cm<sup>3</sup>) voçoroca BR 1( 1,71 g/cm<sup>3</sup>) e na voçoroca BR 2 ( P4 1,76 g/cm<sup>3</sup>, P5 1,70 g/cm<sup>3</sup>) para os solos franco –arenosos.

Elevados valores de densidade do solo e baixo número de poros, contribuem para menor infiltração de água da chuva, aumentando o escoamento superficial, acelerando a formação de ravinas e ocorrência de erosão laminar, removendo, assim, os minerais do topo do solo (MORGAN, 2005; RANGEL; GUERRA, 2014; PEREIRA *et al.*, 2016).

Quanto à densidade de partícula, para Kiehl (1979), o valor varia em média de 2,3 e 2,9 para solos minerais. Nos resultados das amostras (Tabela 8) pode-se afirmar que se trata de solos eminentemente minerais, podendo inferir que se trata da caulinita, um dos principais componentes minerais do solo em questão, por ser este material o que se encontra no estágio mais avançado de intemperização. Sendo assim, característico dos latossolos. Além disso, cumpre reforçar a informação da grande heterogeneidade de materiais no local, alterando as características das partículas originais.

A densidade de partículas foi utilizada nos cálculos da porosidade total, seus resultados variaram de 2,35 a 3,33 g/cm<sup>3</sup> (Tabela 8), estando próximos ao valor médio (2,65 g/cm<sup>3</sup>) comumente encontrado na literatura, com exceção de P2 na voçoroca Torres 2 onde se encontrou 3,33, acredita-se que a alta concentração de matéria orgânica – MO tenha corroborado para este resultado (GUERRA e GUERRA, 2011; LEPSCH, 2011).

Com relação à porosidade Lima (2008) e Rangel e Guerra (2014) assumiram que percentuais de porosidade total acima de 45% são de baixa suscetibilidade, entre 35% e 45% são de média suscetibilidade, e menores que 35% representam alta suscetibilidade à erosão. Considerando os valores de porosidade total no solo das voçorocas coletadas, os resultados variaram (Tabela 8) entre média (nas voçorocas Torres 1 ponto 1 (P1 38%, P2 38%) voçoroca Torres 1 ponto 2 (P1 36,33% P3 39,52% P4 37,14%) voçoroca Torres 2 (P1 e P2 40%, P5 44,73%) voçoroca Sacavém (P4 33,08%, P5 41,51%) voçoroca Br 1 (P2 42%, P3 43%, P4 39%, P5 37%) voçoroca BR 2 (P2 45%) alta na voçoroca Torres 1 ponto 1 (P3 33%, P4 27,2%) voçoroca Torres 1 ponto 2 (P5 30, 21%) voçoroca Sacavém (P1 28%, P3 33,08%) voçoroca BR 1 (P1 26%,) voçoroca BR2 (P1 28%, P3 27%, P4 33%, P5 32%) baixa voçoroca Torres 2 (P3 46,24%, P4 48,49%) voçoroca Sacavém (P2 45,23%) (Tabela 8).

Outro parâmetro analisado foi a granulometria que consiste na determinação da distribuição do tamanho das partículas em classes denominadas de areia, silte e argila. Trata-se de uma característica de extrema importância para as propriedades físicas de um solo. Foi possível caracterizar as frações granulométricas das amostras de

solo coletadas, fazendo assim uma análise concisa das quantidades de seixo, areia, argila e silte em cada amostra das cinco voçorocas em estudo (Torres 1 , Torres 2, Sacavém, BR 1 e BR 2).

Algumas pesquisas utilizam o diagrama triangular como forma de apresentação da textura dos solos.

Em diferentes regiões do mundo, diferentes sistemas de classificação de textura dos solos foram desenvolvidos. Esses diferentes sistemas de classificação dividem o diagrama triangular em diferentes classes texturais. O sistema alemão de classificação dos solos, por exemplo, é dominado pelos limites das classes verticais e horizontais, enquanto que a classificação australiana é construída pelos limites das classes diagonais, predominantemente. Nos sistemas Americano e Canadenses, os limites das classes diagonais, verticais e horizontais são similares. Uma comparação entre esses diferentes sistemas de classificação tem que levar em consideração que alguns limites do tamanho do grão se diferenciam entre os sistemas. Por exemplo, as frações silte e areia não são definidas da mesma maneira nos Estados Unidos e outros sistemas internacionais (Como por exemplo, o australiano e alemão), causando problemas de transferibilidade (BORMANN, 2010).

A textura do solo representa a proporção relativa das partículas minerais menores que 2 mm, composta pelas frações areia, silte e argila (Santos *et al.*, 2013). Determinada a partir de análise laboratorial, envolvendo dispersão da amostra, separação e quantificação das frações granulométricas, podendo em algumas situações serem realizados pré-tratamentos para remoção de agentes cimentantes e floculantes (Tavares-Filho ; Magalhães, 2008; Donagemma *et al.*, 2003).

As características granulométricas dos solos afetam muitas propriedades químicas e físicas, como a retenção de cátions e de água (STRECK *et al.*, 2008), sendo de fundamental importância em estudos da estrutura do solo.

Ao analisar as características físicas do solo, percebe-se a grande concentração das texturas Franco Arenosa, Areia franca, o que implica dizer solos mais friáveis, maior macroporosidade, mais permeáveis e que em concordância com Macedo (2014) se apresentam como solos leves, já que o mesmo autor fala que estes solos estão inseridos no grupo que abrange tal característica, como os da classe de Areia, Areia Franca e Franco Arenoso. No que tange a sua ocorrência estes são encontrados principalmente em solos dos tipos, Argissolos, Latossolos, Planossolos, Neossolos (Quartzarênicos, Regolíticos e Litolíticos) e Cambissolos.

Já os percentuais de areia total de 93,02 % no perfil de 4,80 cm com textura areia, e o menor percentual no 55,37% em 80 cm e textura de franco argiloso arenosa; silte 28,19% na amostra 2,60 cm com textura franco argilo arenosa, menor percentual de 3,28 % na profundidade 4,80 cm com textura areia, argila chega a 31,7 % na amostra 80 cm com textura franco argiloso arenosa, menor percentual de 2,3 % na amostra de 4,20 cm e textura areia franca; (Tabela 9).

**Tabela 9:** Distribuição granulométrica do Ponto 01 – Voçoroca Torres 1

Local de Coleta	Profundidade	Areia Total (%)	Silte (%)	Argila (%)	Classe Textural
Voçoroca Torres- P1	20 cm	63,89	13,71	22,4	Franco arenosa
	40cm	67,36	11,14	21,5	Franco arenosa
	60cm	68,79	10,86	20,4	Franco arenosa
	80cm	55,37	12,93	31,7	Franco argiloso arenosa
	1m	61,57	12,23	26,2	Franco arenosa
	1,20m	71,73	6,97	21,3	Franco arenosa
	1,40m	58,07	15,55	26,5	Franco arenosa
	1,60m	59,55	16,55	23,9	Franco arenosa
	1,80m	67,63	10,77	21,6	Franco arenosa
	2m	67,08	20,62	12,3	Areia Franca
	2,20m	76,89	16,41	6,7	Areia
	2,40m	81,12	16,28	2,6	Areia Franca
	2,60m	41,41	28,19	30,4	Franco argilo arenosa
	2,80m	83,32	12,28	4,4	Areia Franca
	3m	92,13	4,07	3,8	Areia
Voçoroca Torres- P1	3,20m	84,28	11,2	4,6	Areia Franca
	3,40m	88,82	8,08	3,1	Areia Franca
	3,60m	77,99	17,11	4,9	Areia Franca
	3,80m	74,30	10,0	15,7	Franco arenosa
	4m	73,1	22,4	4,5	Franco arenosa
	4,20m	86,44	11,26	2,3	Areia Franca
	4,40m	86,73	9,67	3,6	Areia Franca
	4,60m	87,95	8,15	3,9	Areia Franca
4,80m	93,02	3,28	3,7	Areia	

Fonte: Lisboa, 2018.

Sathler *et al.* (2009) também analisando sobre as frações granulométricas de quatro voçorocas na Ilha do Maranhão (Araçagy, Bacanga (Batatã), Coeduc e Sacavém) encontraram os seguintes resultados:

Predominância da fração areia em todas as feições, o que determina a maior representação percentual de classes arenosas. Maiores percentuais de argila são encontrados no Araçagi, onde se observam camadas argilosas plásticas e muito plásticas (tátil) em profundidades abaixo de três metros, com espessuras superiores a um metro. As demais feições apresentam quase a totalidade de amostras com percentuais de argila abaixo dos 25%, bem como altos percentuais de areia fina e/ou silte. Embora nestes casos as camadas argilosas também estejam presentes, são menos representativas, sendo menos espessas (SATHLER *et al.*, 2009).

As características granulométricas no ponto 2 da voçoroca Torres 1 revelam os percentuais granulométricos são de 66, 57 % areia total na profundidade de 2,68 cm, o menor sendo 16,32 % em 67 cm; 65,77 % de silte no perfil 67 cm com menor percentual de 12,03 no perfil de 2,68 cm; 28,4 % de argila com grandes percentuais na profundidade de 1,34 cm e menor percentual de 18% no perfil de 67 cm; indicam textura franco argiloso arenosa em todas as profundidades ( Tabela 10).

Os teores de argila no solo podem apresentar uma resistência em sofrer erodibilidade, pois as partículas de argilas tem as seguintes peculiaridades segundo Belinazzi *et al.*(1991):

É a que possui maior superfície específica de contato entre as partículas de solo, apresenta ainda cargas elétricas negativas responsáveis em sua grande maioria pela Capacidade de Troca Catiônica (CTC). Favorecendo com isto a sua ligação com cátions positivos, favorecendo ainda uma maior agregação deste solo, bem como uma maior quantidade quanto ao valor de Saturação por Bases (BELINAZZI *et al.*,1991).

**Tabela 10-** Distribuição granulométrica do Ponto 02 – Voçoroca Torres 1

Local de Coleta	Profundidade	Areia Total (%)	Silte (%)	Argila (%)	Classe Textural
<b>Voçoroca Torres- P2</b>	<b>67 cm</b>	16,32	65,77	18	Franco argiloso arenosa
	<b>1,34 cm</b>	50,82	20,78	28,4	Franco argiloso arenosa
	<b>2,01cm</b>	55,23	18,17	26,6	Franco argiloso arenosa
	<b>2,68 cm</b>	66,57	12,03	21,4	Franco argiloso arenosa

Fonte: Lisboa , 2018.

Os percentuais granulométricos na voçoroca Torres 2 obtidos de areia total de 54,24 % ( 300 cm) textura franco argilosa arenosa e menor percentual de 5,69% (50 cm) de textura franco argilosa siltosa, silte de 78, 5% ( 150 cm) e baixo percentual de 19,76% ( 300cm) textura franco argiloso arenosa , de argila são de 46,5 % (750 cm) textura franco argilosa arenosa com menor percentual de 4,6% ( 200 cm) textura franco siltosa , com (Tabela 11).

**Tabela 11-** Distribuição granulométrica – Voçoroca Torres 2

<b>Local de Coleta</b>	<b>Profundidade</b>	<b>Areia Total (%)</b>	<b>Silte (%)</b>	<b>Argila(%)</b>	<b>Classe Textural</b>
<b>Voçoroca Torres II</b>	<b>50 cm</b>	5,69	70,41	23,9	Franco argilosa siltosa
	<b>100 cm</b>	6,41	59,49	34,1	Franco argilosa siltosa
	<b>150 cm</b>	9	78,5	12,5	Franco siltosa
	<b>200 cm</b>	28,58	66,82	4,6	Franco siltosa
	<b>250 cm</b>	8,99	46,61	44,4	Franco
	<b>300 cm</b>	54,24	19,76	26	Franco argiloso arenosa
	<b>350 cm</b>	23,41	47,29	29,3	Franco arenosa
	<b>400 cm</b>	8,08	77,32	14,6	Franco siltosa
	<b>450 cm</b>	25,02	45,88	29,1	Franco arenosa
	<b>500 cm</b>	27,73	64,27	8	Franco siltosa
	<b>550 cm</b>	27,46	33,74	38,8	Franco argilosa
	<b>600 cm</b>	11,78	55,12	33,1	Franco argilosa siltosa
	<b>650 cm</b>	33,15	34,45	32,4	Argila
	<b>700 cm</b>	14,48	62,42	23,1	Franco argilosa siltosa
	<b>750 cm</b>	21,97	31,53	46,5	Franco argilosa arenosa
<b>800 cm</b>	43	52	5	Franco arenosa	

Fonte: Lisboa, 2018.



De acordo com Bezerra (2011) o predomínio das frações argila e silte pode facilitar o processo de impermeabilização das camadas superficiais, a partir do deslocamento das partículas do solo pela erosão por salpicamento, nas superfícies sem cobertura vegetal, que selam os poros do solo, formando encrostamento e diminuindo as taxas de infiltração, e conseqüentemente, acelerando a geração do escoamento superficial.

Em se tratando do silte, pesquisas realizadas por diferentes estudos vêm comprovando que solos mais siltosos tem maior suscetibilidade à erosão (GUERRA, 1990, 1996, 1999; MORGAN, 1981; e POESEN *et al.*,1999). As argilas às vezes dificultam a infiltração, mas são difíceis de serem removidas (CUNHA, 2006).

Os percentuais granulométricos na voçoroca do Sacavém obtidos de areia total são de 88,8 % (100 cm) textura areia franca com menor percentual de 79,05 % (50 cm) textura areia franca , com silte de 18,56 % (50 cm) classe textural areia franca e menor percentual de 3,4 % (450 cm) de textura areia , e argila de 7% (450 cm) e baixo percentual de 2,38 % (150 cm) textura areia ( Tabela 12).

**Tabela 12** - Distribuição granulométrica da Voçoroca Sacavém

<b>Local de Coleta</b>	<b>Profundidade</b>	<b>Areia Total (%)</b>	<b>Silte (%)</b>	<b>Argila (%)</b>	<b>Classe Textural</b>
<b>Voçoroca Sacavém</b>	<b>50cm</b>	79,05	18,56	2,39	Areia Franca
	<b>100 cm</b>	88,8	8,79	2,41	Areia Franca
	<b>150 cm</b>	87,6	10,02	2,38	Areia Franca
	<b>200 cm</b>	86,8	10,79	2,41	Areia Franca
	<b>250 cm</b>	85,3	12,29	2,41	Areia Franca
	<b>300 cm</b>	85,45	16,96	2,41	Areia Franca
	<b>350 cm</b>	88,75	8,73	2,52	Areia
	<b>400 cm</b>	86,3	11,29	2,41	Areia
	<b>450 cm</b>	85,6	3,4	7	Areia

Fonte: Lisboa, 2018.

No que se refere aos teores de areia fina + silte, partículas que são mais facilmente removidas pela água, a maioria dos pontos apresentaram valores entre 40% e 47%, cabendo observar os teores de argila, que vão contribuir para a agregação do solo, assim como a cobertura vegetal que oferece proteção ao solo contra a chuva e o escoamento superficial (FULLEN e CATT, 2004; GUERRA, 2013).

Os percentuais granulométricos na voçoroca do BR 1 obtidos de areia total é de 87,95% (100 cm) textura areia franca, com menor percentual de 74,9% (150 cm) textura franco arenoso, com silte de 13,3% (200 cm) textura areia franca e menor percentual de 3,2% (base) de textura franco arenoso, e argila de 13,3% (200 cm) textura areia franca e baixo percentual de 3,2% (base) textura franco arenoso (Tabela 13).

**Tabela 13** - Distribuição granulométrica da Voçoroca BR 1

Local de Coleta	Profundidade	Areia Total (%)	Silte (%)	Argila (%)	Classe Textural
<b>Voçoroca BR 1</b>	<b>Base</b>	78	3,2	3,2	Franco arenoso
	<b>50 m</b>	82,4	4,2	4,2	Areia Franca
	<b>100 m</b>	87,95	5,75	5,75	Areia Franca
	<b>150 m</b>	74,9	3,8	3,8	Franco arenoso
	<b>200 m</b>	79,7	13,3	13,3	Areia Franca

Fonte: Lisboa, 2018.

Os percentuais granulométricos na voçoroca do BR 2 obtidos de areia total de 88,55% (5 m) textura areia e menor percentual de 50,45% (2 m) de textura franco argiloso arenoso e silte de 14,95% (2 m) e baixo percentual de 3,05% (1 m) textura areia franca argila são de 34,6% (2 m) textura franco argiloso arenoso com menor percentual de 4,9% (3 m) textura areia franca (Tabela 14).

**Tabela 14** : Distribuição granulométrica da Voçoroca BR 2

Local de Coleta	Profundidade	Areia Total (%)	Silte (%)	Argila (%)	Classe Textural
<b>(Voçoroca BR 2)</b>	<b>1 m</b>	81,35	3,05	15,6	Areia Franca
	<b>2 m</b>	50,45	14,95	34,6	Franco argiloso arenoso
	<b>3 m</b>	84,05	11,05	4,9	Areia Franca
	<b>4 m</b>	80,5	14	5,5	Areia Franca
	<b>5 m</b>	88,55	5,65	5,8	Areia

Fonte: Lisboa, 2018.

### 4.3.3 Atributos químicos do solo

Quanto ao pH do solo, todos os pontos apresentaram pH inferior a 4,5 (Tabela 15), o que confere acidez ao solo e, indiretamente, baixa estabilidade dos agregados (FULLEN e CATT, 2004; MORGAN, 2005; OLIVEIRA, 2011).

As análises de pH variaram em torno de 3,8 a 4,5 nas feições erosivas, as amostras possuem pH ácido, com valores abaixo de 4,5 para todos os pontos, apresentando tendência a diminuir com a profundidade (Tabela 15). Os valores mais baixos foram encontrados na voçoroca Torres 2 (pH 3,8) e o mais alto nas voçorocas Torres 1 ponto 1 e na voçoroca BR 1 (pH 4,5). A acidez elevada é uma das características dos solos da região, estando associada aos altos índices pluviométricos e clima tropical que aceleram a lixiviação, além, da MO ácida fornecida pela vegetação (ROSSI e QUEIROZ NETO, 2001; LEPSH, 2011).

Diante desses resultados, ressalta-se a importância da cobertura vegetal ajudando o solo a manter coesão entre suas partículas, já que observando os resultados de pH de forma isolada, esses solos podem ser suscetíveis à erosão. Segundo Yoshioka (2005) a erosão também pode ser uma das causas da acidez do solo, pois há a remoção da camada superficial do solo, e esta possui maiores teores de bases e favorece a acidificação do solo, expondo as camadas mais ácidas do subsolo.

Com base nas médias, quase a totalidade apresentou teor de matéria orgânica acima de 3,5%, sendo este o limite entre baixa e alta suscetibilidade à erosão, citado por vários autores (MORGAN, 2005; GREENLAND *et al.*, 1975 in GUERRA, 2007; CONFORTI *et al.*, 2013).

Fullen e Catt (2004) e Vezzani e Mielniczuk (2009) ressaltam que a acidificação dos solos está vinculada à baixa capacidade de troca catiônica entre as raízes e o solo, fato que desestabiliza o fluxo de matéria e energia no sistema. Os autores também afirmam que solos com pH baixo interferem na fragilidade dos agregados, corroborando com a baixa permeabilidade e aeração, o que pode elevar a probabilidade de ocorrência do escoamento superficial e intensificar os problemas com a erosão acelerada.

As análises de matéria orgânica (MO) permitiram inferir que a média entre os pontos amostrados foi de 0,1 % a 12,5%. Deneff *et al.* (2001) e Elmholt *et al.* (2008) destacam que a matéria orgânica do solo, viva ou morta, exerce um papel fundamental na agregação do solo. Já Franzluebbbers (2002) destaca problemas no processo de

ciclagem de nutrientes podem reter a matéria orgânica na serapilheira e diminuir a quantidade de carbono para o solo.

Christensen (2001) afirma que as inter-relações entre os minerais e a interação destes com a matéria orgânica (constituindo complexos organominerais), pode afetar intensamente o tamanho dos agregados estáveis em água. Já Podwojewski *et al.* (2011) salientam que as taxas de matéria orgânica (MO) influenciam no processo erosivo, visto que, a MO tem a capacidade de agregar as partículas do solo, tornando-o resistente à ação da chuva. Além disso, a fração orgânica do solo está diretamente relacionada com a ciclagem de nutrientes, o que auxilia na boa qualidade do solo.

Diante disso, Fullen e Catt (2004) afirmam que valores inferiores a 3,5 % de matéria orgânica significam instabilidade e maior suscetibilidade erosiva. Estes valores foram observados, nesta pesquisa, em todas as voçorocas estudadas.

**Tabela 15** - Resultado das análises químicas do solo

Local de Coleta	Profundidade	pH	Matéria Orgânica
Voçoroca Torres-P2	67 cm	4,4	1,14%
	1,34 cm	4,2	3,64%
	2,01cm	4,2	3%
	2,68 cm	4,2	1,40%
Voçoroca Torres- P1	20 cm	4,2	6,62%
	40cm	3,8	4,40%
	60cm	4	12,5%
	80cm	4	7,12%
	1m	4,1	3%
	1,20m	4,2	1,88%
	1,40m	4,2	4,18%
	1,60m	4,1	3,58%
	1,80m	4,1	2,80%
	2m	4,1	2,60%
	2,20m	4,2	0,70%
	2,40m	4,3	0,82%
	2,60m	4	3,34%
	2,80m	4,3	0,28%
	3m	4,4	0,16%
	3,20m	4,5	0,66%
3,40m	4,4	0,62%	
3,60m	4,4	1,32%	
3,80m	4,3	1,46%	

	<b>4m</b>	4,1	0,86%
	<b>4,20m</b>	4,2	0,18%
	<b>4,40m</b>	4,2	0,12%
	<b>4,60m</b>	4,2	0,22%
	<b>4,80m</b>	4,2	0,72%
	<b>50 cm</b>	3,9	11,54%
	<b>100 cm</b>	3,9	10,46%
	<b>150 cm</b>	3,9	10,72%
	<b>200 cm</b>	4	9,64%
	<b>250 cm</b>	4	7,40%
	<b>300 cm</b>	4	11,54%
	<b>350 cm</b>	4	10,46%
	<b>400 cm</b>	4	10,72%
<b>Voçoroca Torres II</b>	<b>450 cm</b>	4	9,64%
	<b>500 cm</b>	4	7,40%
	<b>550 cm</b>	3,9	4,04%
	<b>600 cm</b>	3,9	7,24%
	<b>650 cm</b>	4	9,06%
	<b>700 cm</b>	3,9	6,82%
	<b>750 cm</b>	3,9	7,16%
	<b>800 cm</b>	4	9,20%
	<b>Base</b>	4,4	1,56%
	<b>50 m</b>	4,4	3,24%
<b>Voçoroca BR 1</b>	<b>100 m</b>	4,5	0,72%
	<b>150 m</b>	4,3	2,88%
	<b>200 m</b>	4,4	1,98%
	<b>1 m</b>	4,4	7,2%
	<b>2 m</b>	4	7,20%
<b>Voçoroca BR 2</b>	<b>3 m</b>	4,3	0,44%
	<b>4 m</b>	4,2	1,04%
	<b>5 m</b>	4,3	1,16%
	<b>50 cm</b>	4,2	0,64%
	<b>100 cm</b>	4,4	0,24%
<b>Voçoroca Sacavém</b>	<b>150 cm</b>	4,3	0,18%
	<b>200 cm</b>	4,3	0,42%
	<b>250 cm</b>	4,4	0,52%
	<b>300 cm</b>	4,4	0,13%
	<b>350 cm</b>	4,4	0,44%
	<b>400 cm</b>	4,4	0,16%
	<b>450 cm</b>	4,4	0,42%

Fonte: Lisboa , 2018.

A umidade e a cobertura vegetal do solo têm uma estreita relação com a agregação do mesmo (CAMPOS e REINERT, 1999), além disso, a matéria orgânica e os minerais de argila são os dois agentes cimentantes que mais contribuem para a agregação do solo (KIEHL 1979).

#### 4.4 Infiltração

Segundo Lourenção e Honda (2007) e Paixão e outros (2004),

O conhecimento da taxa de infiltração da água no solo é de fundamental importância para definir técnicas de conservação do solo, 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 (PAIXÃO *et al.*, 2004).

O processo infiltração de água no solo é bastante complexo e pode variar quantitativa e qualitativamente de acordo com as propriedades naturais do solo e da vegetação e/ou por causa das atividades humanas. “O manejo do solo afeta a capacidade de infiltração à medida que interfere nas propriedades do solo e nas condições de superfície e nos fatores naturais” (PINHEIRO *et al.*, 2009).

Para Coelho Netto (2007), a infiltração é o movimento da água dentro do solo. A mesma autora afirma que o termo infiltração foi proposto por Horton (1933) para expressar a água que molha ou que é absorvida pelo solo. O movimento da água no subsolo Horton citado por Coelho Netto (2007) chamou de percolação. Paixão (2004) afirma que a infiltração da água no solo é um processo dinâmico de penetração vertical através da sua superfície.

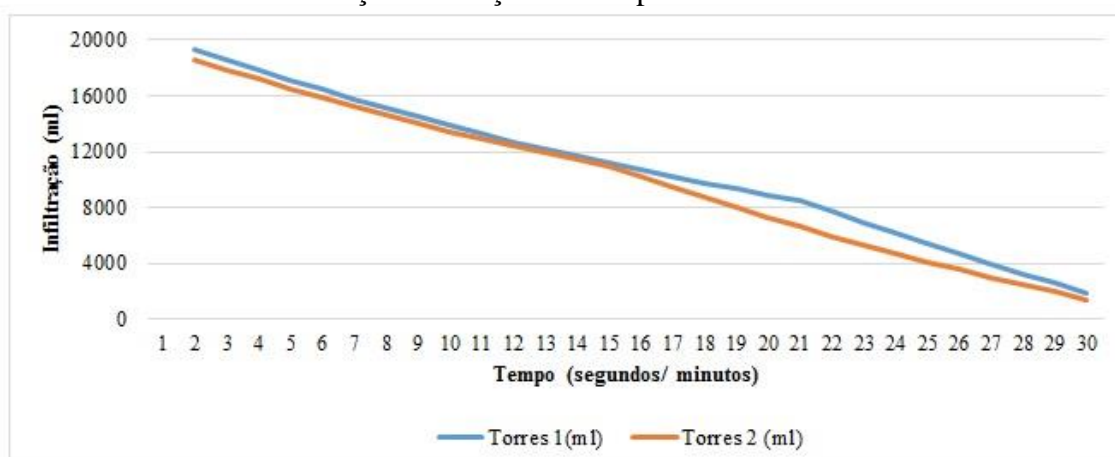
Segundo Bezerra (2011) a infiltração é a passagem da água através dos solos, sendo que as condições de suas camadas exercem uma importante influência nas taxas e na capacidade de infiltração, pois em alguns casos, as suas condições limitam as taxas de água que pode ser absorvida. A ausência ou incipiente cobertura vegetal no solo pode acelerar a formação de crostas através do processo de compactação em função do *splash*, reduzindo, conseqüentemente, a infiltração.

A infiltração corresponde à capacidade que um determinado solo tem de receber e armazenar água, que é influenciado pelas propriedades do solo, características das chuvas, tipo de cobertura vegetal, características da encosta e etc., uma vez excedida essa capacidade a água escoar superficialmente formando poças (GUERRA, 2010).

O escoamento hortoniano ou superficial ocorre quando a capacidade de infiltração excede a capacidade de infiltração devido o excesso de precipitação desde a superfície até as camadas inferiores. O escoamento superficial se inicia à medida que a água infiltra no solo e começa a saturá-lo. Quando a precipitação ultrapassa o limite de infiltração, a água tende a escoar superficialmente, dando início ao escoamento superficial, (GUERRA, 2010). Coelho Netto (2005) reafirmam que o escoamento superficial acontece durante um evento chuvoso, quando a competência de armazenamento de água no solo é saturada. Pode ocorrer também caso a capacidade de infiltração seja excedida.

Na voçoroca Torres 1 no período seco do ano de 2018, o teste de infiltração mostrou-se continua, foi necessária uma recarga de água no infiltrômetro aos 18 min para completar a técnica que necessita de 30 minutos para sua conclusão, como proposto por Guerra (2011). Os resultados do teste realizado nessa voçoroca são demonstrados na (Tabela 16) e no (Gráfico 1), de acordo com técnica realizada foi possível observar que durante todo o teste a altura da água por minuto diminuía significativamente, chegando a mais 1 cm por minuto. o volume total infiltrado foi de 20009,65 ml e baseado nesse dado a taxa de infiltração no tempo de 30 minutos na voçoroca Torres foi de 612,30 ml. Na feição erosiva Torres 2 no período seco em 2018, o teste de infiltração mostrou-se continua, pois nessa voçoroca foi necessária uma recarga de água no infiltrômetro para completar a técnica que necessita de 30 minutos para sua conclusão, os resultados do teste realizado nessa voçoroca são demonstrados na (Tabela 16) e no (Gráfico 1), de acordo com técnica realizada foi possível observar que durante todo o teste a altura da água por minuto diminuía significativamente, chegando a mais 1 cm por minuto. O volume total infiltrado foi de 19311 ml e baseado nesse dado a taxa de infiltração no tempo de 30 minutos na voçoroca Torres foi de 463,15 ml.

**Gráfico 1** - Taxa de Infiltração das voçorocas no período seco



**Tabela 16** - Resultado do teste de infiltração das voçorocas estudadas

<b>Voçorocas</b>	<b>Volume infiltrado (ml)</b>	<b>Infiltração (ml)</b>
<b>Torres I (chuvoso)</b>	13973	157,00
<b>Torres II (chuvoso)</b>	18144,92	604,45
<b>Sacavém (chuvoso)</b>	18235,55	471,00
<b>BR 1 (chuvoso)</b>	18847,85	745,75
<b>BR 2 (chuvoso)</b>	18,894,95	408,20
<b>Torres I (seco)</b>	20009,65	612,30
<b>Torres II (seco)</b>	19311	463,15

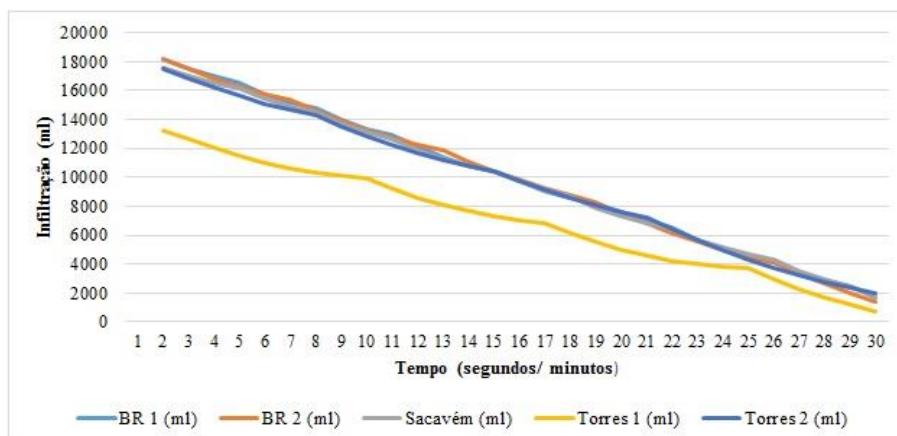
Fonte: Lisboa, 2018

Na voçoroca Torres, a infiltração mostrou-se acelerada, pois nessa voçoroca foram necessárias três recargas de água no infiltrômetro para completar a técnica que necessita de 30 minutos para sua conclusão, como proposto por Guerra (2011). Os resultados do teste realizado nessa voçoroca são demonstrados na (Gráfico 2), de acordo com técnica realizada foi possível observar que durante todo o teste a altura da água por minuto diminuía significativamente, chegando a mais 1 cm por minuto. No decorrer do ensaio foi necessário a recarga do infiltrômetro aos 7, 14 minutos e aos 22 minutos, esse fator indica que nessa voçoroca há uma maior facilidade para infiltração da água no solo e o volume total infiltrado foi de 13973 ml e baseado nesse dado a taxa de infiltração no tempo de 30 minutos na voçoroca Torres foi de 157 ml (Tabela 16).

Na voçoroca Sacavém, o teste de infiltração mostrou-se acelerado, pois nessa voçoroca foi necessária várias recargas de água no infiltrômetro para completar a técnica que necessita de 30 minutos para sua conclusão, aos 2, 5, 8, 12, 15, 19, 23 e 26 min. Os resultados do teste realizado nessa voçoroca são demonstrados na (Tabela 16) e no (Gráfico 2), de acordo com técnica realizada foi possível observar que durante todo o teste a altura da água por minuto diminuía significativamente, chegando a mais 1 cm por minuto. O volume total infiltrado foi de 18.235,55 ml e baseado nesse dado a taxa de infiltração no tempo de 30 minutos na voçoroca Sacavém foi de 471,00 ml.

Na feição erosiva BR 2 ponto 1 ,a taxa de infiltração mostrou-se continua, pois nessa voçoroca foi necessária quatro recargas de água no infiltrômetro para completar. Os resultados do teste realizado nessa voçoroca são demonstrados na (Tabela 16) e no (Gráfico 2), de acordo com técnica realizada foi possível observar que durante todo o teste a altura da água por minuto diminuía significativamente, chegando a mais 1 cm por minuto. o volume total infiltrado foi de 18894,95 ml e baseado nesse dado a taxa de infiltração no tempo de 30 minutos na voçoroca BR 2 foi de 408,20 ml.



**Gráfico 2** - Taxa de Infiltração das voçorocas no período chuvoso

Fonte: Lisboa , 2018.

Ressalta-se que a textura argilosa do latossolo-amarelo quando seco, é essencialmente composto de caolinita muito bem cristalizada, o que representa, portanto, consistência dura a muito dura. Esta característica favorece o aumento da densidade aparente, refletindo numa porosidade total mais baixa e maior coesão dos elementos estruturais do que em outros latossolos (PALMIERI e LARACH, 2006).

A cobertura vegetal tende a aumentar a capacidade de infiltração, solos recobertos por florestas geralmente apresentam os maiores valores de capacidade de infiltração, especialmente por influência da serrapilheira (COELHO NETTO, 2012).

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No estado do Maranhão, os processos erosivos apresentam-se cada vez mais intensos, tendo como uma das principais causas, o desmatamento frequente em áreas de rápido crescimento urbano. Esse fenômeno está sendo registrado com maior intensidade nas áreas de expansão demográfica recente, onde são identificadas zonas de risco ambiental potencial implicando perdas de patrimônio e risco de vida.

Foram identificados oito feições erosivas ao longo da linha de transmissão de energia e uma área de extração de areia, neste trabalho foram caracterizados cinco desde sendo elas Torres 1, Torres 2, Sacavém, BR 1 e BR 2, com características de baixa fertilidade natural e com presença de atributos físicos, morfológicos e químicos favoráveis à ampliação destas feições. Os impactos provocados pelas feições erosivas estão associados ao assoreamento dos cursos d'água, a imposição de risco como e prejuízo às comunidades que vivem ao entorno das feições erosivas como próxima à linha de transmissão de alta tensão e utilizam esses recursos. Todos esses fatores estão relacionados à ausência de um manejo conservacionista e à falta de planejamento das atividades urbanas.

A descrição das características morfológicas de solo é imprescindível na estruturação de um sistema de classificação, tanto pela necessidade de se conhecer o solo como também para se estabelecer atributos taxonômicos indispensáveis ao agrupamento das classes. Os resultados sobre a densidade aparente do solo, densidade de partículas e porosidade indicaram um solo compactado, com a presença de encrostamento, que alteram a estrutura superficial do solo, causando à diminuição da infiltração, e conseqüentemente, a aceleração dos processos erosivos.

As taxas de infiltração nas feições erosivas mostraram resultados significativos, onde a infiltração da água no solo é mais acelerada. A ocorrência das incisões está ligada às torres de energia elétrica da linha de transmissão e ocupações irregulares ao longo da faixa de servidão, bem como as características geoambientais da área em questão. A origem e desenvolvimento destes processos estão ligados a implantação das torres de energia elétrica, aos fatores controladores da erosão, como a erodibilidade, erosividade, cobertura vegetal, uso e manejo do solo e declividade.

Destaca-se a importância das análises de solo, consideradas aqui como um dos indicadores para a erodibilidade. Conhecer as propriedades morfológicas, físicas e químicas dos solos, a partir dos resultados das análises laboratoriais, contribui de forma mais precisa para os estudos de feições. A análise dos solos somada às características geoambientais da área (tipo de solo, declividade, forma das encostas, geologia) e às chuvas sinalizaram a suscetibilidade em boa parte da linha de transmissão de energia.

A adoção de medidas conservacionistas que busquem proteger, especialmente, a camada superficial do solo. Existe uma série de medidas que podem ser adotadas para minimizar a erosão do solo:

- Nos terrenos em encostas pode-se fazer plantio em curvas de nível (plantio em contorno); utilização de terraços (escavações rasas que seguem as curvas de nível), ladeadas por pequenos diques de terra.
- Cordões de vegetação permanente: barreiras vivas de vegetação, intercaladas em áreas cultivadas, com o objetivo de reter o escoamento, provocar a deposição de sedimentos e facilitar a infiltração da água.
- Controle das queimadas.
- Alternância de roçados. Rotação de culturas.
- Cobertura morta do solo com palhas (serrapilheira, carnaúba, cana, arroz, capim seco, folhas, etc). A cobertura morta, além de proteger o solo contra os efeitos da incidência solar e do impacto das chuvas, que provocam compactação e erosão, também melhora a bio-estrutura do terreno e protege a microfauna e microflora do solo, aumentando as condições de aeração e absorção hídrica.
- Adubação orgânica: torna o solo mais resistente à erosão, pois melhora a sua estrutura porosa, aumentando a absorção da água.
- Cobertura verde em rotação, sucessão ou consorciação com outras culturas: são muito usadas as leguminosas herbáceas, arbustivas e arbóreas, a cobertura verde pode ser utilizada para a realização da adubação verde, que consiste no cultivo de plantas que produzem grande quantidade de massa em pouco tempo, as quais são cortadas ainda verdes e enterradas.

## REFERÊNCIAS

AB'SABER, A. N. Bases Conceptuais e papel do conhecimento na Previsão de Impactos. In: MULLER PLANTENBERG, C. e AB' SABER, A. N. (Orgs). Previsão de Impactos. São Paulo, Edusp, 1998.

ACHÁ PANOSO, L. **Latossolo Vermelho-Amarelo de Tabuleiro do Espírito Santo: formação, características e classificação.** Tese de Livre Docência. Recife, PE: UFRPE, 116p, 1976.

ALMEIDA, F. G. de & GUERRA, A. J. T. Erosão dos solos e impactos ambientais na cidade de Sorriso (Mato Grosso). In: Guerra, A. J. T. e Cunha, S. B. da. (Orgs). **Impactos Ambientais Urbanos no Brasil.** Rio de Janeiro; Bertrand Brasil, 2001. p. 21-46.

ALMEIDA, H. G. (Org.) **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil.** São Luís SW/NW, Folhas SA.23-V e SA.23-Y. Estados do Pará e Maranhão. Escala 1:500.000. Brasília: CPRM, 2000.

ALMEIDA FILHO, G. S.; RIDENTE JÚNIOR, J. L. Diagnóstico, prognóstico e controle de erosão: noções básicas para controle e prevenção de erosão em área urbana e rural. Goiânia: IPT/ABGE/VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão, 2001.

AMARAL, N. D. Noções de conservação do solo. São Paulo: Nobel, 1981.

ANDRADE, A. C. de, LEAL, L. R., GUIMARÃES, R. F. & CARVALHO JUNIOR, O. A. de. Análise dos fatores antrópicos nos processos erosivos na bacia do rio Fêmeas (Barreiras-BA). In: IV SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA Geomorfologia: interfaces, aplicações e perspectivas, São Luís. **Anais...** São Luís: UFMA, v.1, 2002.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Atlas de Energia Elétrica do Brasil. Brasília. 2002. 153 p.

ARAÚJO, F. J.C.. Metodologia Para Avaliação de Impactos Ambientais em Sistemas de Transmissão de Energia Elétrica. In: Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 27º, 2000, Porto Alegre. 2000. p. 1 - 16. Disponível em: < <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/impactos/vi-023.pdf> >. Acesso em: 03 jun. de 2017.

ARAÚJO, R. R; SALGADO, M.E. **Crescimento urbano e variações térmicas em São Luís -MA;** Revista Geonorte, edição especial 2, v.2, nº 5, p.308-318, 2012.

ARGENTON J.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; WILDNER, L.P. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de Latossolo Vermelho sob sistema de preparo e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p. 425-435, 2005

AUGUSTIN, C. H. R. R.; ARANHA, P. R. A. Ocorrência de voçorocas em Gouvêia/MG: características e processos associados. *Geonomos*, 14(1,2): 75-86, 2006.

BACCARO, C.A.D.O Processo Erosivo no Ambiente do Cerrado. In: GUERRA, A.J.T. (ORG). **Erosão e Conservação do Solo**. Ed.Bertrand. Rio de Janeiro. 2012.

BASTOS, C. A. B. Estudos Geotécnico sobre a Erodibilidade de Solos Residuais Não Saturados. Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2004.

BARCELLOS, L. F.et. al. - Planejamento Urbano sob a perspectiva sistêmica, 2002. Disponível em <http://www.ecoeco.org.br/conteúdo/publicações/encontros.pdf> acesso em 10-04-2017.

BELLINAZZI, R.; BERTOLINI, D.; ESPINDOLA, C. R.; & LEPSCH, I. F. Manual Para Levantamento Utilitário do Meio Físico e Classificação de Terras no Sistema de Capacidade de Uso. Campinas, 173p, 1991.

BERTALANFFY, L. v. **Teoria Geral dos Sistemas**. Petrópolis: Vozes, 1973.

BERTRAND, G. Paisagem e Geografia Física global: esboço metodológico. **Caderno de Ciências da Terra**. n.13. São Paulo, 1971. 27p.

BERTOL, I. **Avaliação da erosividade da chuva na localidade de Campos Novos (SC) no período de 1981-1990**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.29, n.9, p.1453-1458,1994.

BERTOLINI, D.; LOMBARDI NETO, F. Embasamento Técnico do Programa Estadual de Microbacias Hidrográficas. In: LOMBARDI NETO, F.; DRUGOWICH, M.I. (Coord.) Manual técnico de manejo e conservação de solo e água. Campinas: CATI, 1994. 15 p (Manual Técnico 38).

BEZERRA, J. F. R.; GUERRA, A. J. T. E.; LIMA, L. D. M.; & MENDONÇA, J. K. S. Geomorfologia aplicada à reabilitação de áreas degradadas por voçorocamento utilizando geotêxteis produzidos com fibra do buriti na área urbana de São Luís - MA. In: 8 SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO DOS SOLOS. São Paulo. 2009.

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 (Doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Programa de Pós Graduação em Geografia, Rio de Janeiro, 2011. p, 249.

BIGARELLA, J.J.; MAZUCHOWSKI, J.Z. Visão integrada da problemática da erosão. Curitiba: Associação de Defesa e Educação Ambiental - Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1985. 329 p.

BIGARELLA, J. J. Contribuição ao Estudo da Planície Litorânea do Estado do Paraná. Brazilian Archives of Biology and Technology. Jubilee Volume (1946-2001): p. 65 - 110, December, 2001.

BIGARELLA, J. J; BECKER, R. D; SANTOS, G. F. dos. Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais. Florianópolis: UFSC. v II. 2007.

BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Bulk density. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods**. Part 1. American Society of Agronomy, 1986. p. 363-375.

BLUM, W. E. H. The Role of Soils in Sustaining Society and the Environment: Realities and Challenges for the 21st Century. Keynote Lectures. **XVII World Congress of Soil Science**, Bangkok, Tailândia, 2002. p. 67-86.

BRADY, N. C. **Natureza e propriedades dos solos**. 7. ed., Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **The nature and properties of soils**. 14. ed. Nova York: PrenticeHall, 2008.

BRANDÃO, Viviane dos Santos; PRUSKI, Fernando Falco; SILVA, Demetrius David da. Infiltração da água no solo. 2ed. Viçosa-MG: Editora UFV, 2003.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Secretaria-Geral. Projeto RADAMBRASIL. Folhas SB.24/25 Jaguaribe/Natal: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro: IBGE, 1981

BRASIL. **Política Nacional de Educação Ambiental**. Lei nº 9.795/99 Brasília, DF: BRASIL,1999.

BOARDMAN, J. **Soil erosion and sediment loading of watercourses**. SEESOIL. Oxford, 1992.

BOARDMAN, J. Soil erosion science: Reflections on the limitations of current approaches. **Catena**. v. 68, p. 73-86, 2006.

BORMANN, H. Towards a hydrologically motivated soil texture classification. In: *Geoderma*, 157, p. 142-153, 2010.

BOWES, J.A. **Engineering properties of soils and their measurements**. Third edition. McGraw-Hill Book Company, NY,1986.

CAMAPUM DE CARVALHO, J. ; SALES, M. M. ; MORTARI, D. ; FÁCIO, J. A. ; MOTTA, N. ; FRANCISCO, R. A. Processos erosivos. In: CAMAPUM DE CARVALHO, J.;SALES, M.M.; SOUZA, N.M.; MELO. M.T.S. (Org.). **Processos erosivos no centro-oeste brasileiro**. Brasília: Universidade de Brasília: FINATEC, 2006. p. 39-91.

CAMPO, S. B. C. D.; REINERT, D. J. (1999) Dinâmica da agregação induzida pelo uso de plantas de inverno para cobertura do solo. *Revista Brasileira de Ciência do solo*. v. 23. p. 33-391.

CARMO, D.L.; SILVA, D. A. Métodos de quantificação de carbono e matéria orgânica em resíduos orgânicos. *Revista Brasileira de Ciência do solo*, vol. 36, nº 4, Viçosa July/Aug. 2012.

CARNEIRO, V. A. Um olhar geográfico sobre as voçorocas de Palmelo (GO). Pires do Rio: FAESCI-UEG, 2005, 20 p.

CARVALHO, J. C. et al. **Processos erosivos no Centro-Oeste Brasileiro**. Brasília: FINATEC, 2006.

CARVALHO, P.C.F.; SILVA, J. L. S.; MORAES, A.; FONTANELLI, R. S.; MACARI, S.; BREMM, C.; TRINDADE, J. Manejo de animais em pastejo em sistemas de integração lavoura-pecuária. In: Moraes, A. et al. *International Symposium on International CroplivestockSystems*, Curitiba, 2007, Proceedings...CD-ROM.

CARVALHO, M.P **Erosividade da chuva: distribuição e correlação com as perdas de solo de Mococa-SP**.1987.104f Dissertação (Mestrado), Universidade de São Paulo, Piracicaba ESALQ/USP, Piracicaba, 1987.

CASSETI, V. Os desbarrancados de Palmelo-GO. *Boletim Goiano de Geografia Goiânia*, v. 7/8, n. 1-2, p. 53-73, jan./dez. 1987/1988.

CASTRO FILHO, C.; CATANEO, A. & BISCAIA R.C.M. **Utilização da metodologia de Wilkinson, para cálculo do potencial erosivo das chuvas em 5 localidades do Paraná**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas v.6, p.240-241, 1982.

CHICAS, S. D.; OMINE, K.; FORD, J. B. Identifying erosion hotspots and assessing communities' perspectives on the drivers, underlying causes and impacts of soil erosion in Toledo's Rio Grande Watershed: Belize. **Applied Geography**. v. 68, p. 57-67, 2016.

CHRISTENSEN, B.T. Physical fractionation of soil and structural and functional complexity in organic matter turnover. **Europe Journal Soil Science**. v.52, p.345-353, 2001.

CHRISTOFOLETTI, A. **Análise de Sistemas em Geografia**. São Paulo: HUIITEC, 1979.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blücher. 1980.

CHRISTOFOLETTI, A. L. H. Sistemas dinâmicos: A abordagem da Teoria do Caos e da geometria fractal em Geografia. In: VITTE, A. C. & GUERRA, A. J. T. (Org.)

**Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil.** Rio de Janeiro: Bertrand do Brasil, 2004.

CHORLEY, R. J. A Geomorfologia e a Teoria do Sistemas Gerais. **Notícia Geomorfológica.** Campinas, v. 11, n. 21, p. 3 –22, 1971.

CINTRA, F.L.D;LIBARDI, P.L;SILVA, A.P. Tabuleiros costeiros do Nordeste do Brasil: uma análise dos efeitos do regime hídrico e da presença de camadas coesas nos solos. B. Inf. Da SBCS, Campinas, 1997.

CPNSP - Comissão Tripartite Permanente de Negociação do Setor Elétrico no Estado de SP. Norma Regulamentadora N° 10. Manual de treinamento curso básico segurança em instalações e serviços de eletricidade. 2005.

COELHO NETTO, A. L. Hidrologia de encosta em interface com a geomorfologia. In: GUERRA, A. J. T; CUNHA, S. B. (Orgs). Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. 7ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012. Cap. 3, p 93-209.

COLANGELO, A.C. Metodologia em Geografia Física: ciência, tecnologia e geomorfologia experimental. **Revista do Departamento de Geografia-USP.** São Paulo, 1977.

CONFORTI, M.; BUTTAUFUOCO, G.; LEONE, A. P; AUCELLI, P. P. C.; ROBUSTELLI, G.; SCARCIGLIA, F. **Studying the relationship between water-induced soil erosion and soil organic matter using Vis–NIR spectroscopy and geomorphological analysis:** A case study in southern Italy. Catena, v. 110, 2013, p. 44-58.

COOKE, R.U; BRUNSDEN, D; DOORNKANP, J.C. & JONES, K.K.C. Urban Geomorphology in Drylands. Oxford: Oxford University Press, 1985. 324p.

COOKE, R. U.; DOORNKAMP, J. C. **Geomorphology in Environmental Management:** a new introduction. 2. ed. Oxford: Clarendon, 1990.

COSTA, C. D. de O.; TEMÓTEO, A. da S.; ZIMBACK, C. R. L. **Caracterização de uma bacia hidrográfica quanto a suscetibilidade a erosão, utilizando técnicas de geoprocessamento.** In: Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, realizado de 25 a 30 de abril de 2009, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Natal,p.36893695Disponíveem:<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.17.18/doc/3689-3695.pdf>.

CUNHA, C. M. L. A. **Cartografia do Relevo no Contexto da Gestão Ambiental.** 2001.128 f. Tese (Doutorado em Geografia). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2001.

CUNHA, K. L. Diagnóstico das áreas suscetíveis à erosão na bacia hidrográfica do Ribeirão São Bartolomeu (Viçosa – MG) como subsídio à conservação do solo e da água. Monografia (Graduação). Curso de Geografia. Universidade Federal de Viçosa. 74 p., 2006.



DALVAN, J. R.; & REICHERT, J. M. Propriedades físicas do solo. Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais. Santa Maria, 2006.

DE PLOY, J.; GABRIELS, D. **Measuring Soil Less and Experimental Studies**. In: . Londres: John Wiley, Sons. 1978.

DENEFF, K.; SIX, J.; PAUSTIAN, K. e MERCKX, R. **Importance of macroaggregate dynamics in controlling soil carbon stabilization: short-term effects of physical disturbance induced by dry-wet cycles**. Soil Biology and Biochemistry, v. 33, 2001, p. 2145- 2153.

DINIZ, J. S. Expansão e organização do espaço urbano em São Luís (1980/90): uma abordagem sistêmica. Monografia de Especialização/UFMA. São Luís, 1993. 63 p.

DINIZ, J. S. As condições e contradições no espaço urbano de São Luís (MA): traços periféricos. Ciências Humanas em **Revista. São Luís**, v. 5, n.1, julho 2007, p. 3-18.

DNAEE/MME. Departamento de Águas e Energia Elétrica. Ministério das Minas e Energia. Sistema de gestão sócio-patrimonial. Brasília, 1997. (88 p.) CD-ROM.

DOMINGOS, J. L. Estimativa de perda de Solo por Erosão Hídrica em uma Bacia Hidrográfica. Universidade federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Humanas e Naturais, Departamento de Geografia. Vitória, 2006.

DONAGEMMA, G.K.; RUIZ, H.A.; FONTES, M.P.F.; KER, J.C. & SCHAEFER, C.E.G.R. Dispersão de Latossolos em resposta à utilização de pré-tratamentos na análise textural. R.Bras. Ci. Solo, 27:765-772, 2003.

DOSEL AMBIENTAL CONSULTORIA E PROJETOS Ltda. Relatório Ambiental Simplificado [RAS] da LT Tucuruí II - Itacaiúnas - Colinas C2. 2014.ELETROBRÁS. Disponível em <http://www.eletrbras.com/elb/data/Pages/LUMISB1BA38CDPTBRIE.htm> acesso em 14-10-2010.

DUARTE, L. F.; BAPTISTA, A. C.; DEBIASI, P.; ANTUNES, M. A. H. **Carta de suscetibilidade à erosão da região hidrográfica do rio Guandu, RJ**. In: Anais XXVI Congresso Brasileiro de Cartografia, realizado de 03 a 07 de agosto de 2014, Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto (SBC), Gramado. Disponível em: [http://www.cartografia.org.br/cbc/trabalhos/6/154/CT0640\\_1404394884.pdf](http://www.cartografia.org.br/cbc/trabalhos/6/154/CT0640_1404394884.pdf).

ELETROSUL – CENTRAIS ELÉTRICAS DO SUL DO BRASIL S.A. Geotecnologias Aplicadas à Gestão de Uso e Ocupação de Faixas de Linhas de Transmissão. Florianópolis. 2007. 20 p. CD-ROM.

ELMHOLT, S., SCHJONNING, P., MUNKHOLM, L.J. e DEBOSZ, K. Soil management effects on aggregate stability and biological binding. **Geoderma**, v.144, p. 455-467, 2008.

ELLIOTT, P.; WADLEY, D. The Impact of Transmission Lines on Property Values: Coming to Terms with Stigma. *Property Management*, Austrália, p.137-152, 2002. Trimestral. DOI: 10.1108/02637470210428347. Disponível em: < [http://espace.library.uq.edu.au/eserv/UQ:8095/dw\\_pm\\_02.pdf](http://espace.library.uq.edu.au/eserv/UQ:8095/dw_pm_02.pdf) >. Acesso em: 20 de fev. 2011.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 2013. p. 286

EMBRAPA. **Manual de Métodos e Análises Solo**. Rio de Janeiro, EMBRAPA/SNLCS. 2011. p. 225

EMBRAPA. **Manual de Métodos e Análises Solo**. Rio de Janeiro, EMBRAPA/SNLCS. 2017. p. 573

FARIA, I. D. Ambiente e Energia: Crença e Ciência no Licenciamento Ambiental. Parte III: Sobre Alguns dos Problemas que Dificultam o Licenciamento Ambiental no Brasil. Núcleo de Estudos e Pesquisas do Senado. Textos para Discussão 99. 2011.

FARIAS FILHO, M. S. Caracterização geoambiental da Área de Proteção Ambiental da Região do Maracanã, São Luís –MA. In\_\_\_: CARVALHO NETA, R. N. F (org). **Área de Proteção Ambiental do Maracanã: subsídios ao manejo e à Educação Ambiental**. São Luís: FAPEMA, Café & Lápis, 2010. 15 –39 p.

FEITOSA, A. C. **Dinâmica dos Processos geomorfológicos da área costeira a nordeste da ilha do Maranhão**. Tese (Doutorado). Rio Claro: IGCE - Cp – UNESP, 1996. p. 249

FENDRICH, R.; OBLADEN, N. L.; AISSE, M. M.; GARCIAS, C. M. **Drenagem e controle da erosão urbana**. 3. ed. São Paulo: IBRASA. Curitiba: Ed. Universitária Champagnat, 1991. 442 p.

FERNANDES, José Henrique Machado. Experiência Internacional sobre o Uso e Ocupação de Faixa de Passagem de Linhas aéreas de Transmissão. In: ENCONTRO NACIONAL DE INVASÕES DE FAIXAS DE SERVIDÃO DAS LINHAS DE TRANSMISSÃO. Pernambuco. 2010. p. 1 - 31. CD-ROM.

FERREIRA, V. M. **Voçorocas no município de Nazareno, MG: origem, uso da terra e atributos do solo**. Dissertação (Mestrado). Lavras: UFLA, 2005.p.96

FERREIRA, A. J. de A. A estrutura espacial urbana maranhense. Monografia de graduação. São Luís. 68 p., 1989.

FILIZOLA, H. F.; LAMOTTE, M.; FRITSCH, E.; BOULET, R.; ARAÚJO FILHO, J. C.; SILVA, F. B. R.; LEPRUN, J. C. Os fragipãs e duripãs das depressões dos tabuleiros costeiros do Nordeste brasileiro: uma proposta de evolução. *R. Bras. Ci. Solo*, 25:947-963, 2001.

- FLEURY, J. M. Voçorocas: origem e métodos de contenção. Boletim Goiano de Geografia, Goiânia, v. 1, n. 2, p. 201-214, jan./dez. 1983.
- FLINT, A.L.; FLINT, L.E. Particle density. In: DANE, J.H ; TOPP, G.C. (Ed). **Methods of soil analysis: part 4 – physical methods**. Madison: American Society of America, 2002. p.229-240.
- FLORENZANO, T. G. Introdução à Geomorfologia. *In*: FLORENZANO, T. G. **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de textos, 2008.
- FRANZLUEBBERS, A.J. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. **Soil and Tillage Research.**, v. 66, p.95-106, 2002.
- FOSTER, G.R.; JOHNSON, C.B.; MOLDENHAUER, W.C. Hydraulics of failure of unanchored cornstalk and wheat straw mulches for erosion control. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.*, 25:940-947, 1982.
- FORSYTHE, W. **Física de suelos**. Costa Rica: IICA, 1975. 212p.
- FUJIMOTO, N.S.V.M. **Implicações ambientais na área metropolitana de Porto Alegre- RS: um estudo geográfico com ênfase na Geomorfologia Urbana**. São Paulo: GEOUSP- Espaço e Tempo, n.12, 2002.35p.
- FULLEN, M. A.; CATT, J. A. **Soil Management: problems and solutions**. Londres: Arnold Publisher, 2004.
- GALETI, P.A. Práticas de controle à erosão. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1985. 278 p.
- G.E - GENERAL ELETRIC DO BRASIL. Disponível em [www.ge.com.br](http://www.ge.com.br), acesso em 20-05-2010.
- GIAROLA, N. F. B.; SILVA, A. P. da. Conceitos sobre solos coesivos e hardsetting. *Scientia Agrícola*, v. 59, n.3, p.613-620, 2002.
- GIAROLA, N.F.B.; SILVA, A.P. da.; TORMENA, C.; SOUZA, L. da S.; RIBEIRO, L. da P. Similaridades entre o caráter coeso dos solos e o comportamento hardsetting: estudo de caso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.25, p.239-247, 2001.
- GOMES, G. L .M. **Diagnóstico de áreas degradadas por voçorocas no município de Alterosa-MG**. Dissertação ( Mestrado) 2006. 68p. Ribeirão Preto.
- GONÇALVES, L.F.H.; GUERRA, A.J.T.; Movimento de Massa na Cidade de Petrópolis (Rio de Janeiro). In: Guerra, A.J.T.; CUNHA, S.B. Impactos ambientais urbanos no Brasil. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001.
- GOUDIE, A; VILES, H. *The Earth Transformed: na introduction to human impacts on the environment*. Oxford: Blackwell Publishers Ltd, 1997, 276 p.II,P.165.

GOUDIE, A. **The Changing Earth**: rates of geomorphological processes. Oxford: Blackwell, 1995.

GREGORY, K.Y. **A natureza da Geografia Física**. Bertrand. São Paulo, 1992.

GRILO, R.C.; ENAMI, L. Gestão de bacias hidrográficas com o uso de modelo preditivo de erosão dos solos e sistemas de informação geográfica. UNAR, Araras, SP, v.2, n.1, p.2133, 2008.

GUERRA, A. J. T. O papel da matéria orgânica e dos agregados na erodibilidade dos solos. In: Anuário do instituto de geociências, 13, p. 43-52, 1990.

GUERRA, A.J .T. **Soil characteristics and erosion , with particular reference to organic matter content**. Tese de doutorado. Department of Geography King's College. London, 1991.

GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. (Orgs.). **Geomorfologia e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010.

GUERRA, A. J. T. O Início do Processo Erosivo. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA A. S.; & BOTELHO, R. G. M. (Orgs). **Erosão e Conservação dos Solos - Conceitos, Temas e Aplicações**. Editora Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 2012.

GUERRA, A. J. T.; MENDONÇA, J. K. S. Erosão dos Solos e a Questão Ambiental. In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. (Orgs.). Reflexões Sobre a Geografia Física no Brasil. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. p. 225-256.

GUERRA, A. J. T.; MENDES, S. P.; LIMA, F. S.; SATHLER, R.; GUERRA T. T.;MENDONÇA, J. K. S. & BEZERRA, J. F. R. **Erosão urbana e recuperação de áreas degradadas no Município de São Luís - Maranhão**. In: *Revista de Geografia*, 26, p.85-135, 2009.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand, 2012.

GUERRA, A.J.T.; MARÇAL. M. dos S. **Geomorfologia ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand, 2014.192p.

GUERRA, A.T.G; GUERRA, A.J.T. **Novo dicionário geológico-geomorfológico**.9.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.

GUERRA, A. J. T. Processos Erosivos nas encostas. In: CUNHA, S.B.; GUERRA, A. J. T. (Orgs.). Geomorfologia: exercícios, técnicas e aplicações. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 2011, p. 139-156.

GUERRA, A. J. T.; BEZERRA, J. F. R.; JORGE, M. C. O.; FULLEN, M. A. The geomorphology of Angra dos Reis and Paraty Municipalities, Southern Rio de Janeiro State. **Revista Geonorte**, v. 9, n. 1, p. 1-21, 2013.

GUERRA, A. J.T.; JORGE, M. C. O., **Processos erosivos e recuperação de área degradada**, oficina de textos, 2013.

GUERRA. **Erosão dos Solos e Movimentos de Massa: Abordagens Geográficas**. Curitiba: CRV Editora, 2016.

GUERRA, A. J. T.; FULLEN, M. A.; JORGE, M. C. O.; BEZERRA, J. F. R. Slope Processes, Mass Movements and Soil Erosion: a review. **Pedosphere**. v. 27, p. 27-41, 2017.

GUERRA, A. J. T.; Geomorfologia E Planejamento Ambiental – Conceitos E Aplicações. **Revista de Geografia (Recife)** V. 35, No. 4 (especial XII SINAGEO), 2018.

GUIMARÃES, C. do N. Mapeamento geotécnico da bacia do córrego da Barra, aplicação do penetrômetro de impacto em estudos de processos erosivos São Pedro-SP escala:10.000. Dissertação de mestrado em Geotecnia. Escola de engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2008.

GUIMARÃES, T.; VALE, R. M. C. **Suscetibilidade a erosão do solo na cidade de Salvador – Bahia**. In: Anais 9º Simpósio Nacional de Geomorfologia (SINAGEO), realizado de 21 a 24 de outubro de 2012, UFRJ: Rio de Janeiro.

GUO, J.; NIU, T.; POOYAN, R.; WANG, F.; ZAHO, H.; ZHANG, J. **Assessment of soil erosion susceptibility using empirical modeling**. Acta Meteorologica Sinica, v. 27 (1), 2013, p. 98–109.

JACINTHO, E. C.; CAMAPUM DE CARVALHO, J. ; CARDOSO, F. B. F.; SANTOS, R. M. M. ; GUIMARÃES, R. C.; Lima, M. C. G. Solos Tropicais e o Processo Erosivo. In: CAMAPUM DE CARVALHO, J.; SALES, M.M.; SOUZA, N.M.; MELO. M.T.S. (Org.). Processos erosivos no centro-oeste brasileiro. Brasília: Universidade de Brasília: FINATEC, 2006. p. 93-156.

JACOMINE, P. K. T. Distribuição geográfica, características e classificação dos solos coesos dos Tabuleiros Costeiros. In: Reunião Técnica sobre Solos Coesos dos Tabuleiros, Cruz das Almas, 1996. Pesquisa e desenvolvimento para os Tabuleiros Costeiros; anais. Aracaju: EMBRAPA, CPATC; EMBRAPA, CNPMPF; EAUFBA; IGUFBA, p.13-24, 1996.

JORGE, M. C. O.; GUERRA, A. J. T. Erosão dos solos e movimentos de massa: recuperação de áreas degradadas com técnicas de bioengenharia e prevenção de acidentes. In: GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. C. O. (Orgs.). **Processos Erosivos e Recuperação de Áreas Degradadas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. p. 7-30.

HAINES YOUNG, R. H. PETECH, J.R. **Physical Geography : its nature and methods**. Butter & Tanner Ltd. London, 1986.

- HAUGHTON, G. (2017). **Environmental planning**. In: The International Encyclopedia of Geography. Orgs. D. Richardson, N. Castree, M. F. Goodchild, A. Kobayashi, W. Liu, e R. A. Marston. John Wiley & Sons, Chichester, Inglaterra, pp. 1-7.
- HILLS, R. C. **The determination of the infiltration capacity of fields soils using the Cylinder Infiltrometer**. London (UK): British Geomorphological Research Group, Technical Bulletin, 3, 1970.
- HOLZ, D. J.; WILLIARD, K. W. J.; EDWARDS, P. J.; SCHOONOVER, J. E. Soil Erosion in Humid Regions: A Review. **Journal of Contemporary Water Research & Education**. n.154, p. 48-59, 2015.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico de Pedologia**. 3ª Edição, Rio de Janeiro, 2015.
- INFANTI JR, N.; FORNASARI FILHO, N. Processos de dinâmica superficial. In: OLIVEIRA, A. M. dos S.; BRITO, S. N. A de. (Ed.). Geologia de Engenharia. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998. Cap. 9, p. 131-152.
- INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Consulta de dados das estações automáticas: UEMA; Itapiracó; Alcântara; Bacanga; Aeroporto; Chapadinha; Zé Doca**. Disponível em:< <http://www.inmet.gov.br/portal/>>. Acesso em 14/06/2017.
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz. v. 1: Métodos químicos e físicos para análise de alimentos, 3. ed. São Paulo: IMESP, 1985. p. 21-27.
- IONITA, I.; FULLEN, M. A.; ZGLOBICKI, W.; POESEN, J. Gully erosion as a natural and human-induced hazard. **Natural Hazards**. v. 79, S1, p. 01-05, 2015.
- IWASA, O. Y.; PRANDINI, F. L. Diagnóstico da origem e evolução de boçorocas: condição fundamental para a prevenção e correção. In: Simpósio Sobre o Controle de Erosão, 1980, Curitiba. Anais... Curitiba: ABGE, 1980. p. 5-34.
- JÚNIOR, J. S. N.; GOPFERT, L. C. Impactos Ambientais pela Implantação da Linha de Transmissão 500 KV Oriximiná - Cariri. Universidade Federal do Rio de Janeiro: Escola Politécnica. Rio de Janeiro. 2010.
- KER, J. C. Latossolos do Brasil: Uma Revisão. Geonomos, BELO HORIZONTE - MG, v. 5, n. 1, p. 17-40, 1998.
- KIEHL, E.J. **Manual de edafologia**: Relações solo-planta. São Paulo: Ceres, 1979. 262p.
- LAL, R. **Soil erosion**: research methods. Ohio: Ohio State of University Columbus. 1994, 340p.

LAM, N. S. N.; DE COLA, L. **Fractals in Geography**. New York: Pentice Hall, 1993.

LAVANDOSCKI, Rogério. Gestão de Faixa de Passagem de LT's: Experiência de Empresa - CTEEP. In: ENCONTRO NACIONAL DE INVASÕES DE FAIXAS DE SERVIDÃO DAS LINHAS DE TRANSMISSÃO. Pernambuco. 2010. p. 1 - 22. CD-ROM.

LEMONS, R. C. e SANTOS, R. D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. SBCS e Embrapa CNPS, Viçosa. 2015. 83 p.

LESPCH; I. F. O Sistema Brasileiro de Classificação de solos (SiBCS). In: LESPCH; I F. **19 Lições de Pedologia**. São Paulo: Oficina de textos, 2011.

LIMA, L. D. M.; SILVEIRA, P. G.; SILVA, F. F.; & LOUREIRO, H. A. S. Estudo dos Processos Erosivos no Médio e Alto Cursos da Bacia Hidrográfica do Rio Macaé, Macaé/RJ. Geografia. In: **Ensino & Pesquisa**, v. 12, p. 000-000, 2008.

LIMA, L. D. da M. **Suscetibilidade à Erosão dos Solos nas Sub-bacias do médio e alto cursos da Bacia do Rio Macaé / RJ**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Geografia. UFRJ, Rio de Janeiro, 2008, 127 p.

LIPIEC, J., HATANO, R., Quantification of compaction effects on soil physical properties and crop growth. *Geoderma* 116, 107-136, 2003.

LIU, F.; ZHANG, G.; SUN, L.; WANG, H. Effects of biological soil crusts on soil detachment process by overland flow in the Loess Plateau of China. **Earth Surface Processes and Landforms**. 2015.

LOMBARDI NETO, E. **Rainfall erosivity- ita distribution and relationship with soil loss at Campinas**, Brasil. 1977. 53 f. Thesis ( MSc), Purdue University, West Lafayette, 1977.

LOUREIRO, H. A. S.; SILVA, F.F.; SILVEIRA, P.G.; GUERRA. A. J. T.; & LIMA, L. D. M. Feições Erosivas e Uso da Terra Ao Longo da Linha de Transmissão de Energia em Mato Grosso do Sul. In: **VII simpósio nacional de geomorfologia & ii encontro latino-americano de geomorfologia**, 2008.

LOURENÇÃO, A; HONDA, E. A. Influência do reflorestamento com essências nativas sobre a infiltração da água e a velocidade do escoamento superficial. IF Sér. Reg. São Paulo/SP, n. 31, p. 33-37, jul. 2007.

MABESOONE, J.M; CASTRO, C. Desenvolvimento Geomorfológico do Nordeste Brasileiro. **Boletim do Núcleo do Nordeste da Sociedade Brasileira de Geologia**. Recife, 1975.

MACEDO, R.J. **Características gerais da fertilidade de solos arenosos no Brasil**. In:

Simpósio brasileiro de solos arenosos. Presidente Prudente-SP. 2014.

MAGALHÃES, S. F. Perda de Solo e Erosão fluvial na Bacia Hidrográfica do Rio. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Florestas, Curso de Graduação em Engenharia Florestal, Seropédica-RJ, 2010.

MANDELBROT, B. B. **The fractal geometry of nature**. San Francisco: W. H. Freeman, 1982.

MARANHÃO. **Plano de manejo do parque Estadual do Bacanga**. São Luís, 1992.

MARANHÃO. Estudo de geomorfologia litorânea. Macrozoneamento do Golfão Maranhense. Diagnóstico Ambiental da Microregião da Aglomeração Urbana de São Luís e dos Municípios de Alcântara, Bacabeira e Rosário. São Luís: Sema/MMA/PNMA, 1998b.

MARGOLIS, E.; SILVA, A.B.; JACQUES, F.O. Determinação dos fatores da equação universal de perdas de solo para as condições de Caruaru (PE). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.9, n.1,p.165-169, 1985.

MEDINA, B.F.; OLIVEIRA JÚNIOR, R.C. A aplicabilidade de alguns índices erosivos em Latossolo Amarelo de Manaus ( AM). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.11,n.1, p.67-70, 1987.

MENDES, S. P.; SATHLER, S.; & GUERRA, A. J. T. Dinâmica dos Processos Erosivos numa Voçoroca no Parque Estadual do Bacanga (MA). *Geografia. In: Ensino & Pesquisa (UFSM)*, v. 12, 2008. p. 1408-1422

MENDONÇA, F. **Geografia Física**. Ciência Humana. São Paulo: Contexto,1991.

MENEZES, José Renato Sobral; LUCIANO, Benedito Antônio; FONTGALLAND, Glauco. Impactos Ambientais Causados por Linha de Transmissão de 500 kV. Santa Catarina, 2006.

MMA, Ministério do Meio Ambiente. Amazônia. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/biomas/amaz%C3%B4nia> >. Acesso em 16 de março de 2017.

MME, Ministério de Minas e Energia. Resenha Energética Brasileira: Exercício de 2014; Edição de junho de 2015. 2014.

Ministério do Meio Ambiente, **Vulnerabilidade Ambiental Desastres Naturais ou Fenômenos Induzidos**. Organização Rosely Ferreira dos Santos, 2016.

MONTEIRO, Rodolfo de Souza. Grupo CEMIG. In: ENCONTRO NACIONAL DE INVASÕES DE FAIXAS DE SERVIDÃO DAS LINHAS DE TRANSMISSÃO. Pernambuco. 2010. p. 1 - 59. CD-ROM.



- MOREAU, A. M. S. S. Gênese, Mineralogia e Micromorfologia de Horizontes Coeso, Fragipã e Duripã em Solo do Tabuleiro Costeiro do Sul da Bahia. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 137p, 2001.
- MOREAU, A. M. S. S.; KER, J. C.; COSTA, L. M. Gênese de horizontes coeso, fragipã e duripã através da microsonda eletrônica com dispersão de energia. In Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 29, Ribeirão Preto, 2003. Anais. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, CD-ROM, 4p, 2003.
- MORGAN, R.P.C. **Soil conservation: problems and prospects**. Ed. John Wily & Son. New York. 1981.
- MORGAN, R. P.C. **Soil erosion and conservation**. Logman Scientific & Technical. Essex, 1986.298p.
- MULLAN, D. **Soil erosion under the impacts of future climate change**: Assessing the statistical significance of future changes and the potential on-site and off-site problems. *Catena*, v. 109, 2013, p. 234-246.
- MUNSELL COLOR COMPANY. **Munsell Soil Color Charts**. M.D. USA, 2009.
- NASCIMENTO, M. A. L. S. Erosões urbanas em Goiânia. *Boletim Goiano de Geografia*, Goiânia, v. 14, n. 1, p. 77-102, jan./dez. 1994.
- NOLLA, D. Erosão do solo: o grande desafio. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura / Estado do Rio Grande do Sul, 1982.
- NUNES, F. C.; SILVA, E. F.; CUNHA, T. J. F.; VILAS BOAS, G. S.; CARVALHO, J. J. S.; ANGELI, A. Solos com horizontes coesos desenvolvidos sobre diferentes litofácies do Grupo Barreiras no litoral norte da Bahia. In: XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2011, Uberlândia - MG. Solos nos biomas brasileiros: sustentabilidade e mudanças climáticas, 2011.
- OLIVEIRA, M. A. T. de; MEIS, M. R. M. de. Relações entre Geometria do relevo e formas de erosão linear acelerada. (Bananal, SP) *Geociências*, 4:87-99, 1985.
- OLIVEIRA, M.A.T.de. Erosion Disconformities and Gully Morphology: A Threedimensional Approach. In: *Catena: na interdisciplinary journal of Soil Science Hydrology – Geomorphology*. Vol. 16. W. Germany: Catena Verlag, 1989.
- OLIVEIRA, M. A. T. de. Processos Erosivos e Preservação de Áreas de Risco de Erosão por Voçorocas. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. da; BOTELHO, R. G. M.(Orgs.). *Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012 . p. 57-99.
- OLIVEIRA, P. C. A.; RODRIGUES, S. C. Cartografia do relevo: um estudo aplicado na região oeste de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, ano 8, n. 2, 2007, p. 3744.

OLIVEIRA, D. Técnicas de Pedologia. *In*: VENTURI, L. A. B. (Org.) **Geografia: práticas de campo, laboratório e sala de aula**. Editora Sarandi, São Paulo, 2011.

OLIVEIRA, Mayara Silva. **Mudanças no uso e ocupação do solo decorrentes da industrialização e suas implicações socioambientais na APA do Maracanã e zona de amortecimento**. Projeto de monografia. São Luís: UFMA, 2011.

PAIXÃO, F. J. R.; et al. Estimativa da infiltração da água no solo através de modelos empíricos e funções não lineares. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**. Campina Grande/PB, v.5, nº 1, p. 2-12, 2004.

PEREIRA, H.H.G. **Índices de erosividade da chuva**: distribuição e relação com a precipitação em Piracicaba- SP. 1983.70f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)- Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1983.

PEREIRA, E. D. **Avaliação da vulnerabilidade natural à contaminação do solo e do aquífero do reservatório Batatã – São Luís (MA)**. Tese (Doutorado) Rio Claro: UNESP. 2006.

PEREIRA, L. S.; RODRIGUES, A. M.; JORGE, M. C. O.; GUERRA, A. J. T.; FULLEN, M. A. Processos hidro-erosivos em solos degradados em relevo de baixa declividade. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. v. 17, n. 2, p. 299-316, 2016.

PEREZ FILHO, A.; SEABRA, F. B. Análise Sistêmica Aplicada ao Estudo da Fragilidade de Terras do Cerrado Paulista. *in*: V Simpósio Nacional de Geomorfologia – I Encontro Sul-americano de Geomorfologia, 2004, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria. 1 CD-ROM.

PERVEEN, S., KAMRUZZAMAN, M.D. E YIGITCANLAR, T. (2017). Developing Policy Scenarios for Sustainable Urban Growth Management: **A Delphi Approach**. *Sustainability*, 9, 1-27.

PINHEIRO, A.; TEXEIRA, L.P.; KAUFMANN, V. Capacidade de Infiltração de água em solo sob diferentes usos e práticas de manejo agrícolas. *Ambi-Agua*. Taubaté (SP), v. 4 n.2, p. 188-199, 2009.

PINHEIRO, L. de S. **O Mapeamento Geomorfológico como Subsídio ao Planejamento Ambiental: Bacia Hidrográfica do Córrego da Água Branca (SP)**. 2006. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2006.

PRESS, F. et al. Para entender a Terra. 4 ed. Tradução de Rualdo Menegat et al. Porto Alegre: Bookman, 2006.

POESEN, J.; DE LUNA, E.; FRANCA, A.; NACHTERGAELE, J. & GOVERS, G. Concentrated flow erosion rates as affected by rock fragment cover and initial soil moisture content. *In*: *Catena*, 36, p. 315–329. 1999.

PODWOJEWSKI,P.; POULENARD, J. NGUYET, M.L.; ROUW, A.; NGUYEN, V.T.; HAPHAM, Q.; Climate and vegetation determine soil organic matter status in an alpine inner- tropical soil catena in the Fan Si Pan Mountain, Vietnam. **Catena**, v.87 p. 226-239, 2011.

RAMALHO, M. F. de J. L. **Evolução dos processos erosivos em solos arenosos entre os municípios de Natal e Parnamirim – RN**. Tese (Doutorado). Rio de Janeiro. UFRJ. 1999.

REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Revista Ciência e Ambiente**, v. 27, p.29-48, 2003.

REZENDE, J. de O. Solos coesos dos Tabuleiros Costeiros: limitações agrícolas e manejo. Salvador, SEAGRI, SPA, 117p. (Série Estudos Agrícolas, 1), 2000.

RIBEIRO, L. P. Os Latossolos Amarelos do Recôncavo Baiano: gênese, evolução e degradação. Salvador: Seplantec, CADCT, 99p, 1998.

RICHARD, G., COUSIN, I., SILLON, J.F., Bruand, A. & GUERIF, J. Effect of compaction on soil porosity: consequences on hydraulic properties. *European Journal of Soil Science*, 52,49–58, 2001.

RODRIGUES, T. L. N. et al. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil**. São Luís. Folha SA.23-Z-A, Cururupu. Folha SA.23-X-C, Estado do Maranhão. Brasília, CPRM, 1994.

ROQUE, C.G. & CARVALHO, M.P. Distribuição da erosividade da chuva de Novo Horizonte (SP). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27, 1999, Brasília, 1999. **Anais...** Brasília: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999. CD-ROM.

ROQUE, C.G. Erosividade da chuva: distribuição , probabilidade de ocorrência , período de retorno e correlação com o coeficiente de chuva para o município de Piraju ( SP).1999.98 f. Dissertação ( Mestrado em Agronomia)- Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 1999.

ROQUE, C.G.; CARVALHO, M.E; PRADO,R.M.Fator erosividade da chuva de Piraju ( SP): distribuição, probabilidade de ocorrência , período de retorno e correlação com o coeficiente de chuva, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25.p.147-156, 2001.

ROSSETTI, D.F. Ambientes Costeiros . *In*: FLORENZANO, T. G. **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de textos, 2008.

RUELLAN, A.; DOSSO, M.SOLDIDAC Educagri editions-AUF 2003.

SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C.; ANJOS, L.H.C.; SHIMIZU, S.H. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 6.ed. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2013. 100p

SATHLER, R.; POLIVANOV, H.; GUERRA, A. J. T. & BARROSO, E. V. Caracterização de Voçorocas na Ilha do Maranhão. In: Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ, 32, 2009.

SATHLER, R. **Evolução de voçorocas na Ilha do Maranhão: Uma abordagem pedogeotécnica para recuperação de áreas degradadas.** Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências. 2010.

SEMA. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Naturais. **Parque Estadual do Bacanga.** Disponível em:< [www.sema.ma.gov.br](http://www.sema.ma.gov.br) >. Acesso em 25 de junho de 2015.

SILVA, J. E. B. da & GUERRA, A. J. T. G. Análise das propriedades dos solos das sub-bacias do rio Tindiba e do córrego do Catonho, Rio de Janeiro, com fins à identificação de áreas com predisposição à erosão. In: **VII SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO. Goiânia (GO), 2002.**

SILVA, Quésia Duarte da. Mapeamento Geomorfológico da Ilha do Maranhão. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia - Presidente Prudente: [s.n], 2012.

SILVA, L. F. T. C.; CASTRO, U. N.; GUERRA, A. J. T.; LIMA, F. S.; MENDES, S. P.; BEZERRA, J. R. F. **Degradação ambiental em áreas destinadas à pecuária na sub-bacia hidrográfica do rio Sana, Macaé – RJ.** Revista de Geografia (UFPE), v. 29,n.1,2012.Disponíveem:<http://www.revista.ufpe.br/revistageografia/index.php/revista/article/view/489/399>.

SILVA, A.M.; SCHULZ, H.E; CAMARGO,P.B. **Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas.** São Carlos: Rima, 2003, 138p.

SOBREIRA, F. G. Estudo das erosões de Cachoeira do Campo/MG. Relatório FAPEMIG,UFOP/EM/DEGEO, 1998.

SOTCHAVA, V. B. Por uma teoria de classificação dos geossistemas de vida terrestre. **Biogeografia.** São Paulo, n. 14, 1978. p. 24

SOUSA, A. T. de. Processo erosivo linear na bacia do córrego Pontinhas em Orizona – GO. In: IV SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA - GEOMORFOLOGIA: INTERFACES, APLICAÇÕES E PERSPECTIVAS, São Luís. **Anais...** São Luís: UFMA, 2002.

STRAHLER, A.N. Equilibrium Theory of Erosion al Slopes Approached by Frequency Distriution Analysis. **Amer. Jour. Sci.** New Haven. 1950.

STRECK, E. V. et al. Solos do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: EMATER/RS-ASCAR, 2008. 222 p.

SUDO, H.; GODOY, M. C. T. F.; FREIRE, O. O processo erosivo na bacia do Rio Santo Anastácio. In: Encontro Nacional de Estudos Sobre o Meio Ambiente, III, 1991, Londrina. Anais... Londrina: ENESMA, 1991.p. 01-16.

SUERTEGARAY, D. M. A. (Org.). **Terra: feições ilustradas**. Porto Alegre: UFRGS, 2008.

SUGUIO, K. **Dicionário de geologia sedimentar e áreas afins**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998. p.1.222

SWEIGARD, R. J.; BLUESTEIN, P. Use of field measurements to predict reforestation success. University of Kentuchi, p.129-141, 2000.

TARAWALLY, M. A.; MEDINA, H.; FROTEMA, M. E.; ITZA, C. A. Field compaction at different soil-water status: effects on pore size distribution and soil water characteristics of a Rhodic Ferralsol in Westem Cuba. Soil and Tillage Research, Amsterdam, v.76, n.2, p.95-103, 2004.

TARDY, Y., BOEGLIN, J.L., NOVIKOFF, A. & ROQUIN, C. Petrological and geochemical classification of laterites. En: Clays controlling the environment (G.J. Churchman, R.W. Fitzpatrick & R.A. Eggleton, eds). CSIRO, Melbourne, 481- 486. 1995.

TAMARI, S. Relations between pore-space and hydraulic properties in compacted beds of silty-loam aggregates. Soil Technology, v.7, p.57-73, 1994.

TAVARES-FILHO, J. & MAGALHÃES, F.S. Dispersão de amostras de Latossolo Vermelho Eutroférico influenciadas por pré-tratamento para oxidação da matéria orgânica e pelo tempo de agitação mecânica. R. Bras. Ci. Solo, 1429-1435, 2008.

TOBOUTI, A. K.; SANTOS, V. L. P. Impactos Ambientais Causados na Implantação de Linhas de Transmissão no Brasil. Caderno Meio Ambiente e Sustentabilidade. Vol. 4, n. 3, p. 184-199. Jul - dez 2014.

TRICART, J. Paisagem e Ecologia. In: **Interfacies**. N. 76. IBILCE-UNESP. São Paulo. 1977. p.56

TROPPEMAIR, H. Ecossistemas e geossistemas do Estado de São Paulo. **Boletim de Geografia Teorética**. Rio Claro, vol. 13, n. 25, p. 27-36, 1983.

TROPPEMAIR, H. **Geossistemas paulistas**. Rio Claro: edição do autor, 2001.

TROPPEMAIR, H. **Sistemas/ Geossistemas/ Geossistemas Paulistas/ Ecologia da Paisagem**. Edição do autor. Rio Claro, 2004. 130 p.

VALE JÚNIOR, J. F. do.; BARROS, L. da S.; SOUSA, M. I. L. de; UCHÔA, S. C. P. **Erodibilidade e suscetibilidade à erosão dos solos de cerrado com plantio de *Acacia***

**mangium em Roraima.** Revista Agroambiente online, UFRR: Boa Vista, v. 3, n. 1, 2009, p. 1-8.

VEIGA JÚNIOR, J. P. **Carta geológica.** Recife: CPRM, 2000a./Folha SA.23-X/Z SÃO LUÍS NE/SE, color – colorido), Escala 1:500.000.

VEYRET, Y.; RICHEMOND, N. M. **Os tipos de risco.** In: VEYRET, Y. Os Riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente. São Paulo, Contexto, 2013, p.63-69.

VEZZANI, F.M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, v.33, p.743-755, 2009.

VICENTE, L. E.; PEREZ FILHO, A. – Abordagem sistêmica e Geografia. **Geografia.** Rio Claro, vol. 28, n. 3. p. 323-344, 2003.

VIEIRA, A. F.G. Desenvolvimento e distribuição de voçorocas em Manaus (AM): principais fatores controladores e impactos urbanos-ambientais. (Tese de doutorado em Geografia): Departamento de Geografia. UFSC, 2008.

VIEIRA, A. F.G; ALBUQUERQUE, A. R. da C. Cadastramento de voçorocas e análise do risco erosivo em estradas: BR -174 (trecho Manaus-Presidente Figueiredo). In: V Simpósio Nacional de Geomorfologia e I Encontro Sul- Americano de Geomorfologia. Santa Maria: UFSM, 2004.

VIERO, A. C. **Análise da geologia, geomorfologia e solos no processo de erosão por voçorocas:** bacia do Taboão, RS. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, UFRS: Porto Alegre, 2004, 141p.

VILLELA, S. M. & MATOS, A. Hidrologia Aplicada. 1ed. Recife-PE: MC Graw Hill,1977.

VIČKOVIĆ, L.; SAVIĆ, S.; CVETKOVIĆ, M. Elements and Methods for risk Assessment of an Electric Power Transmission System. Faculty of Occupational Safety, University of Niš. Facta Universitatis Series: Working and Living Environmental Protection Vol. 2, No 5, 2005, pp. 421 - 430. 2005.

WOSNY, G. C.; JOÃO LUIZ, S. M.; OLIVEIRA, F. H. Modelagem, em Ambiente SIG, de Processos Erosivos do Solo Aplicado às Linhas de Transmissão de Energia Elétrica. EGAL - Encontro de Geógrafos da América Latina. 2009.

WOSNY, Guilherme Clasen. **Proposta de base cartográfica para linhas de transmissão de energia elétrica.** 187 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2010.

XAVIER, F. V.; CUNHAS, K. L. **Análise da suscetibilidade à erosão laminar na bacia do rio Manso, Chapada dos Guimarães, MT, utilizando sistemas de informações geográficas.** Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 11, n. 2, 2010, p. 51-60.

YOSHIOKA, M. H.; LIMA, M. R. de. **Experimentoteca de solos pH do solo.** Projeto Solo na Escola, Departamento de Solos e Engenharia Agrícola da UFPR, 2005. Disponível em: <http://www.escola.agrarias.ufpr.br/arquivospdf/experimentotecasolos7.pdf>. Acessado em: 07 jan 2018.

ZAVOIANU, I. **Morphometry of drainage basins.** Developments in water science, 20. Amsterdam, 1985.