



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO – UEMA**  
**CENTRO DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIAS EXATAS NATURAIS – CECEN**  
**DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA – DEGEO**  
**CURSO DE LICENCIATURA EM GEOGRAFIA**

**ISABEL SILVA DA SILVA**

**MONITORAMENTO DE PROCESSOS EROSIVOS LINEARES E PERDA DE  
SOLOS POR MEIO DE ESTAÇÃO EXPERIMENTAL NO MUNICÍPIO DE SÃO  
LUÍS – MA**

**SÃO LUÍS**

**2025**

**ISABEL SILVA DA SILVA**

**MONITORAMENTO DE PROCESSOS EROSIVOS LINEARES E PERDA DE  
SOLOS POR MEIO DE ESTAÇÃO EXPERIMENTAL NO MUNICÍPIO DE SÃO  
LUÍS – MA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao Curso de Geografia da Universidade  
Estadual do Maranhão – UEMA, para obtenção  
do grau de Licenciatura em Geografia.  
Orientador: Prof. Dr. José Fernando Rodrigues  
Bezerra.

SÃO LUÍS

2025

Silva, Isabel Silva da.

Monitoramento de processos erosivos lineares e perda de solos por meio de estação experimental no município de São Luís - MA. / Isabel Silva da Silva. – São Luís, MA, 2025.

57 f.

Monografia (Curso de Geografia Licenciatura) – Universidade Estadual do Maranhão, 2025.

Orientador: Prof. Dr. José Fernando Rodrigues Bezerra.

1. Monitoramento. 2. Perda de Solos. 3. São Luís. I. Título

CDU: 631.44(812.1)

**ISABEL SILVA DA SILVA**

**MONITORAMENTO DE PROCESSOS EROSIVOS LINEARES E PERDA DE  
SOLOS POR MEIO DE ESTAÇÃO EXPERIMENTAL NO MUNICÍPIO DE SÃO  
LUÍS – MA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao  
Curso de Geografia da Universidade Estadual do  
Maranhão – UEMA, para obtenção do grau de  
Licenciatura em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. José Fernando Rodrigues  
Bezerra.


Aprovado em: 23/06/2025

**BANCA EXAMINADORA**

**Prof. José Fernando Rodrigues Bezerra (Orientador)**

Doutor em Geografia

Universidade Estadual do Maranhão (UEMA)


Documento assinado digitalmente  
 **VITORIA GLEYCE SOUSA FERREIRA**  
Data: 02/07/2025 11:38:52-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Profa. Vitória Gleyce Sousa Ferreira**

Doutoranda em Geografia

Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP)

Documento assinado digitalmente  
 **LUCAS SILVA CARVALHO**  
Data: 02/07/2025 10:05:07-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Prof. Lucas Silva Carvalho**

Mestrando em Geografia

Universidade Estadual do Maranhão (UEMA)

## AGRADECIMENTOS

Ao Deus vivo de Israel, por todo o seu amor, pela sua morte na rude cruz do Calvário, pelas bênçãos e misericórdias sem fim, por nos enviar o Santo Espírito Consolador e por tranquilizar o meu espírito nos momentos mais difíceis da minha trajetória. Que me falte tudo, menos a doce presença do Senhor.

A Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), por ceder espaço físico à pesquisa e por ser uma instituição acolhedora.

Ao Prof. Dr. José Fernando Rodrigues Bezerra, pela paciência e compreensão, por suas riquíssimas orientações durante minha trajetória acadêmica e por ser um motivo de exemplo e admiração para todos nós.

A minha mãe Agacilene Alves da Silva, por sempre investir na minha educação e por nunca me deixar faltar nada.

A minha irmã Sayonara Silva Gonçalves, por sempre me incentivar aos estudos e por ser meu exemplo. Seguir seus passos sempre deu certo.

As minhas irmãs em Cristo, Telma Pinheiro e Maria De Jesus Silva Santos, por me acompanharem desde criança, pelos excelsos conselhos e por serem minhas fieis intercessoras.

A minha amiga/irmã Jaqueline Costa Galvão, pela fiel amizade desde a infância, pelas orações, conversas, risadas, apoios e incentivos. A realização deste sonho é nosso!

Ao meu amigo Lucas Silva Carvalho, por ser meu braço esquerdo e direito na pesquisa, por vibrar comigo a cada vitória conquistada e por sempre me encorajar a lutar pelos sonhos e objetivos. Em sua amizade achei um riquíssimo tesouro.

A minha amiga Vitória **GLEYCE** Sousa Ferreira, por me ensinar a gostar de abraços e por sempre ter carinho e paciência comigo. “Tu não existe” alegria os meus dias.

Ao meu amigo Weslem Jhony de Oliveira Rodrigues, por nunca dizer não aos meus pedidos de favores e por ser um bom amigo. Partilhar a vida acadêmica com você é uma bênção.

A minha amiga Gilberlene Serra Lisboa, por, mesmo eu com muita preguiça, me ensinar a ser uma boa pesquisadora. Muito da vida acadêmica aprendi com você.

A todos, sem exceção, do grupo de estudos GEOMAP, pelas euforias diárias e pelos suportes profissionais e pessoais. Vocês são a “galerinha do mal”.

Ao grupo “militância” da turma 2019.2 Bacharelado em Geografia, por me adotarem e serem meus amigos. Vocês são inesquecíveis.

E por fim, ao meu gatinho Salomão Filho, por todas as noites me acalmar com o seu “ronron”. Você é único, por favor, viva bastante!

“A nossa capacidade vem de Deus”.

(II Coríntios 3.5)

## RESUMO

Esta pesquisa tem como objetivo analisar a perda de solos por erosão hídrica, com ênfase nos processos erosivos lineares, por meio da utilização de sistemas de estações experimentais no município de São Luís (MA). A investigação parte da constatação da crescente degradação do solo em áreas urbanas, agravada pelo crescimento desordenado e pela substituição da vegetação natural por superfícies impermeáveis, o que intensifica o escoamento superficial e, conseqüentemente, os impactos da erosão. A pesquisa foi fundamentada em uma abordagem teórico-metodológica que articula conceitos da Geografia, da Geomorfologia e da Ciência do Solo, além de destacar o papel das estações experimentais como ferramenta de monitoramento ambiental. No campo prático, foram montadas duas estações experimentais com diferentes coberturas vegetais (gramíneas e vegetação arbórea), nas quais foram coletados dados sobre pluviosidade, escoamento superficial e perda de sedimentos. Os resultados revelaram que áreas com cobertura vegetal apresentaram menores taxas de perda de solo e escoamento superficial, confirmando a eficácia da vegetação na mitigação dos processos erosivos. A pesquisa reforça a importância do monitoramento contínuo e da implementação de políticas públicas voltadas à conservação do solo e ao planejamento urbano sustentável.

**Palavras-chave:** Monitoramento. Perda de solos. São Luís.

## **ABSTRACT**

The aim of this research is to analyze soil loss due to water erosion, with an emphasis on linear erosion processes, using experimental station systems in the municipality of São Luís (MA). The research is based on the growing degradation of soil in urban areas, aggravated by disorderly growth and the replacement of natural vegetation with impermeable surfaces, which intensifies surface runoff and, consequently, the impacts of erosion. The research was based on a theoretical-methodological approach that combines concepts from Geography, Geomorphology and Soil Science, as well as highlighting the role of experimental stations as an environmental monitoring tool. In the practical field, two experimental stations were set up with different vegetation covers (grass and tree vegetation), in which data was collected on rainfall, surface runoff and sediment loss. The results showed that areas with vegetation cover had lower rates of soil loss and runoff, confirming the effectiveness of vegetation in mitigating erosion processes. The research reinforces the importance of continuous monitoring and the implementation of public policies aimed at soil conservation and sustainable urban planning.

**Keywords:** Monitoring. Soil loss. São Luís.



## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	10
<b>2. OBJETIVOS</b>	13
<b>3. REFERENCIAL TEÓRICO-METODOLÓGICO</b>	14
<b>3.1 Geografia e paisagem</b>	14
3.1.1 A Geografia como ciência	14
3.1.2 O conceito geográfico de paisagem	16
<b>3.2 Impactos da erosão hídrica dos solos</b>	22
3.2.1 Importância da preservação dos solos	23
3.2.2 Erosão laminar	25
<b>3.3 Técnica de monitoramento da erosão laminar: Estação experimental</b>	29
3.3.1 Importância da Geomorfologia para os estudos ambientais	29
3.3.2 Estações experimentais	30
<b>4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS</b>	35
<b>4.1 Levantamentos bibliográfico e cartográfico</b>	35
<b>4.2 Estações Experimentais</b>	36
<b>4.3 Estação meteorológica</b>	37
<b>4.4 Atividade de campo</b>	39
<b>4.5 Atividade de laboratório</b>	40
<b>5. RESULTADOS</b>	41
<b>5.1 Características geoambientais</b>	41
<b>5.2 Estações experimentais: índices pluviométricos, escoamento superficial e perda de sedimentos</b>	47
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	50
<b>REFERÊNCIAS</b>	51

## 1. INTRODUÇÃO

No contexto dos estudos ambientais, a erosão destaca-se como um tema de grande relevância, devido à sua capacidade de causar significativas perdas de recursos naturais e comprometer a qualidade de vida de comunidades em diversas regiões do mundo. Entre os principais impactos estão o assoreamento de rios, a degradação do solo e as consequências sociais, como a perda de vidas humanas e a diminuição da segurança alimentar, resultantes da interação contínua entre a sociedade e o ambiente natural.

De acordo com Poesen (2018) e Goudie (2020), a erosão é um processo natural de desprendimento, transporte e deposição de partículas do solo, provocado principalmente pela ação da água e do vento. No entanto, quando intensificado pelas atividades humanas — como o desmatamento, uso inadequado do solo e urbanização desordenada —, torna-se uma das principais causas de degradação dos solos em escala global, configurando a chamada erosão acelerada. Seus impactos variam desde áreas florestadas intactas, onde ocorre a erosão geológica, até regiões fortemente transformadas, com perda acelerada de solos produtivos.

A erosão também se destaca como um dos principais agentes de transformação da paisagem, processo ainda mais evidente nas áreas urbanas, onde o uso do solo nem sempre respeita a capacidade de suporte do ambiente. A impermeabilização do solo, aliada à remoção da vegetação e à ausência de planejamento urbano adequado, intensifica o escoamento superficial, potencializando a perda de sedimentos (Sudo, 2000; Fullen & Guerra, 2002; Fullen & Catt, 2004; Bezerra, 2011; Guo et al., 2021; Gutierrez et al., 2023).

Conforme dados da FAO (2015), estima-se que a erosão cause a perda anual de 25 a 40 bilhões de toneladas de solo, o que compromete não apenas a produtividade agrícola, mas também a capacidade do solo de reter água e nutrientes. Além disso, cerca de 33% dos solos do planeta já se encontram degradados, o que torna urgente o uso de técnicas eficazes de monitoramento e conservação.

Diante desse cenário, as estações experimentais ganham destaque como importantes ferramentas para o monitoramento de processos erosivos desde seus estágios iniciais até seu desenvolvimento. No Brasil, estudos conduzidos por Guerra e Cunha (1996), Bezerra (2011), Loureiro (2013) e Pereira (2019) reforçam a eficácia do uso dessas estações na obtenção de dados precisos sobre a taxa de perda de solo, o escoamento superficial e o efeito da cobertura vegetal nesses processos.

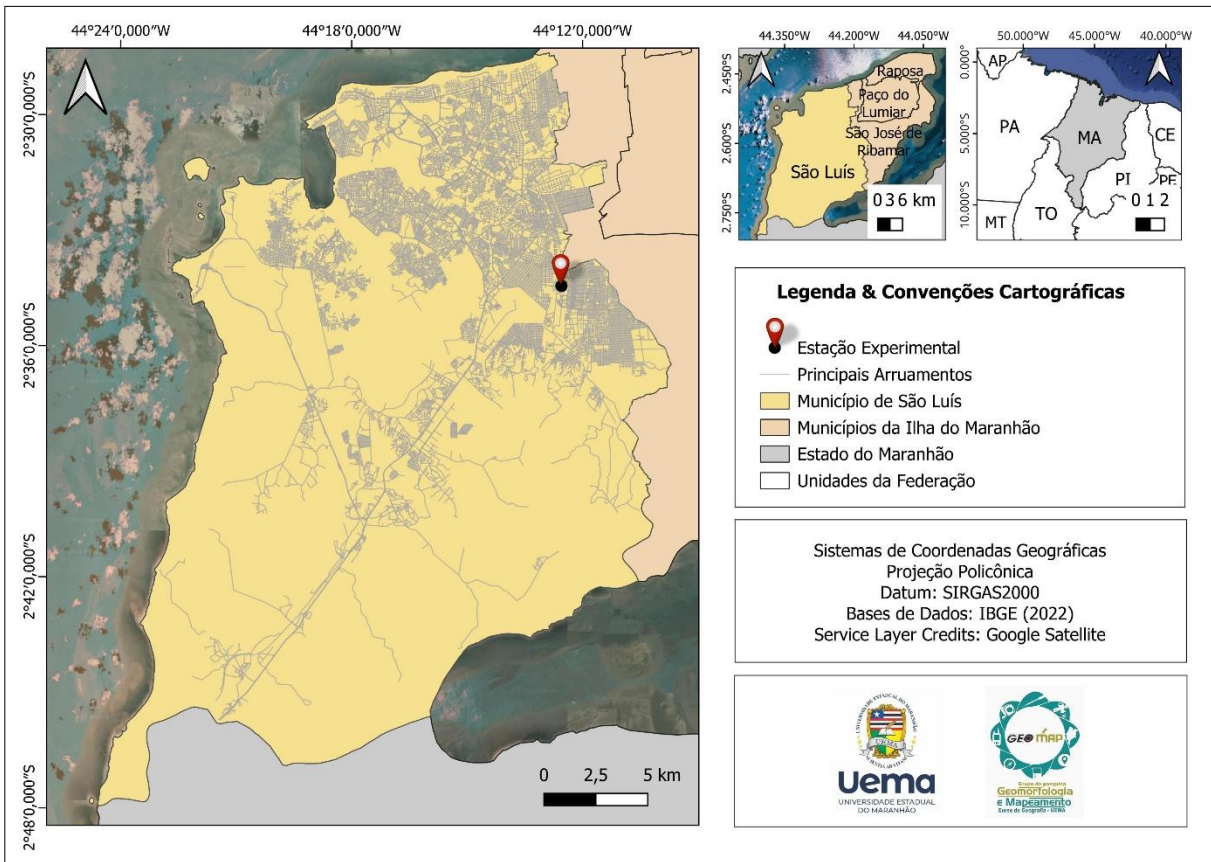
As estações funcionam como experimentos de campo semi-controlados, nos quais parcelas com diferentes características (como tipos de vegetação) são monitoradas

simultaneamente. A metodologia permite comparar variações nos parâmetros ambientais, especialmente os relacionados à pluviosidade e ao tipo de solo, possibilitando uma análise detalhada da dinâmica erosiva (Guerra; Cunha, 1996; Bezerra; Guerra; Rodrigues, 2011).

Na Ilha do Maranhão, a expansão urbana intensificou-se a partir da década de 1970, impulsionada pela construção de conjuntos habitacionais e pela concentração das atividades econômicas em São Luís (Burnett, 2012). Além disso, transformações importantes como a aprovação do Plano Diretor (1977) e o reconhecimento do Centro Histórico como Patrimônio Cultural da Humanidade (Burnett; Ferreira, 2011) modificaram significativamente o uso e ocupação do solo da capital.

Atualmente, os processos erosivos em São Luís (Figura 1) têm se tornado mais frequentes e severos, sobretudo em áreas onde há desmatamento e ocupação desordenada. Tal situação implica riscos à segurança da população e à integridade dos recursos naturais, reforçando a necessidade de ações integradas de conservação, planejamento urbano e gestão de riscos (Bezerra; Guerra; Rodrigues, 2005; Fushimi; Ribeiro; Nunes, 2022; Lisboa; Bezerra, 2023).

**Figura 1:** Mapa de localização do município de São Luís – MA.



Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Compreender as relações entre chuvas intensas, escoamento superficial e perda de sedimentos é essencial para o desenvolvimento de estratégias voltadas à mitigação dos impactos da erosão, especialmente em áreas urbanas de crescimento acelerado, como o município de São Luís. O monitoramento contribui ainda para fortalecer o planejamento urbano sustentável e promover ações que associem conservação ambiental e qualidade de vida.

Diante disso, esta pesquisa justifica-se pela necessidade de utilizar técnicas de monitoramento ambiental, como as estações experimentais, para avaliar a erosão hídrica urbana e suas implicações. Ao fornecer dados empíricos e comparativos, este estudo contribui para o avanço técnico e científico sobre o tema e reforça a importância de políticas públicas eficazes para combater os efeitos adversos da urbanização desordenada. A abordagem adotada também busca consolidar práticas sustentáveis de uso do solo, promovendo a conservação ambiental e o bem-estar das populações urbanas.

## **2. OBJETIVOS**

### **Geral**

- Analisar a perda de solos por processos erosivos lineares através do monitoramento de estações experimentais no município de São Luís, Maranhão.

### **Específicos**

- Analisar os dados de escoamento superficial e perda de sedimentos coletados nas estações experimentais;
- Avaliar em laboratório a taxa de perda dos sedimentos coletados nas parcelas de erosão;
- Monitorar os dados de pluviosidade da estação meteorológica.

### **3. REFERENCIAL TEÓRICO-METODOLÓGICO**

Neste capítulo, apresenta-se a fundamentação teórica da pesquisa, abordando conceitos e estudos fundamentais sobre Geografia, paisagem, ambiente, carbono no solo, geomorfologia, processos erosivos laminares e estação experimental. Além disso, são discutidos os trabalhos de teóricos que aplicaram técnicas de monitoramento, destacando os procedimentos metodológicos utilizados e os resultados obtidos, visando estabelecer uma base sólida para a análise e compreensão dos fenômenos estudados.

#### **3.1 Geografia e paisagem**

Esta subseção explora a evolução da Geografia como ciência e aborda a trajetória do termo paisagem, analisando obras de autores relevantes. Inicialmente, apresenta-se o desenvolvimento da paisagem como objeto de estudo em diferentes escolas geográficas (alemã, russa e francesa), responsáveis por sua consolidação como categoria analítica. Em seguida, discute-se a influência dessas escolas na Geografia brasileira e apresenta-se uma síntese das concepções de paisagem segundo geógrafos brasileiros.

##### **3.1.1 A Geografia como ciência**

A Geografia é uma ciência em constante evolução, acompanhando transformações contínuas ao longo do tempo. Tal como outras áreas do saber, a Geografia atravessou diferentes abordagens no âmbito das suas correntes teóricas e metodológicas. Nesse contexto, os últimos 70 anos refletem uma trajetória marcada por uma diversidade de perspectivas metodológicas e filosóficas, ligadas às dinâmicas econômicas, sociais, políticas e ambientais (Ferreira, 2023).

Ao longo da sua trajetória, a Geografia passou por acontecimentos marcantes na história do pensamento geográfico, orientados pela tentativa de analisar e compreender as relações entre natureza e sociedade. Como resultado, ocorreu a divisão da disciplina em duas grandes áreas: Geografia Humana e Geografia Física. Segundo Santos (2008), essa fragmentação é uma característica intrínseca da ciência moderna, originada com a Revolução Científica e aprofundada ao longo dos séculos seguintes.

Conforme Ferreira (2023), a distinção entre Geografia Física e Geografia Humana desenvolveu-se sobre diferentes perspectivas. Enquanto os naturalistas e geógrafos físicos contribuíram para estudos sobre mapeamento, classificação e modelação de processos naturais,

como os biogeográficos, ecológicos, geomorfológicos e hidro-climáticos, a Geografia Humana avançava focada na compreensão dos processos e formas sociais, fundamentada nas Ciências Humanas.

Embora amplamente debatida entre os geógrafos, muitos trabalhos em ambas as áreas continuam a concentrar-se exclusivamente nos interesses específicos da Geografia Física ou da Geografia Humana, frequentemente negligenciando a perspectiva integradora que caracteriza a Geografia como um todo. Segundo Souza e Pereira (2017), a Geografia é uma ciência dinâmica, que ao longo de sua evolução tem passado por constantes mudanças, exigindo reformulações nos paradigmas que orientam os diferentes ramos do conhecimento geográfico.

Estudos de Nunes *et al.*, (2015) destacam que o Positivismo, enquanto influenciava os geógrafos — especialmente os físicos —, também exercia impacto sobre aqueles focados nos aspectos sociais. Essa influência mútua resultou na incorporação de novos paradigmas nas análises geográficas desenvolvendo, assim, conflitos teórico-metodológicos no seio da Geografia.

Suertegaray e Nunes (2001) destacam que, desde os primórdios dos estudos naturalistas no século XIX, consolidou-se uma divisão entre os fenômenos naturais e sociais. Essa separação perdurou ao longo do século XX, quando a fragmentação e a especialização se tornaram características marcantes da ciência moderna.

Frente a Geografia clássica, Souza (2021) aponta que a tentativa de integrar o estudo da natureza e da sociedade, resultava, na maioria das vezes, em um sincretismo — uma mistura superficial e pouco coerente entre os elementos naturais e sociais. Diferentemente da síntese, que representa a superação dos componentes originais por meio de problemas e conceitos articulados que orientam a pesquisa, o sincretismo carecia de uma base teórica sólida.

Conforme é esclarecido por Vidal (2024, p.37):

A integração entre a Geografia Física e Humana é essencial para uma análise geográfica abrangente, sendo possível através da utilização de perspectivas teóricas e objetos híbridos que se apresentam como possibilidades teóricas e metodológicas integradas na Geografia. É necessário superar a fragmentação e reconhecer que a natureza e a sociedade estão intrinsecamente interligadas. Essa compreensão permite uma produção de conhecimento integrada sobre a natureza, a sociedade e os vínculos geográficos.

Ao longo da história, o pensamento geográfico passou por profundas transformações e continua em constante evolução. Essas mudanças foram impulsionadas pela estruturação e reelaboração teórica, apoiadas pelo surgimento de novos debates e abordagens que deram

origem a diferentes perspectivas e concepções de estudo (Rocha, 2007). Apesar disso, o debate sobre a “integração” da Geografia sempre ocupou um lugar central nas discussões epistemológicas da ciência geográfica.

### 3.1.2 O conceito geográfico de paisagem

No Ocidente, o primeiro termo utilizado para designar a paisagem foi o alemão *landschaft*. Surgido na Idade Média (séculos V-XV), esse termo referia-se a uma região de dimensões moderadas, onde se desenvolviam pequenas unidades de ocupação humana. Já no Iluminismo (século XVIII), *landschaft* adquiriu um significado ampliado, incorporando a ideia de quadro, arte e natureza (Maximiano, 2004).

Na França, a partir da Renascença (séculos XIV-XVI), passou-se a usar o termo *paysage* com um sentido semelhante ao original alemão, abrangendo os arredores e implicando uma delimitação espacial. Ainda no século XVI, *paysage* começou a ser associado à estética, unindo elementos naturais e representações artísticas da paisagem (Maximiano, 2004).

A partir do século XIX, o termo paisagem passou a ser amplamente utilizado na Geografia, geralmente entendido como o conjunto de “formas” que caracterizam um setor específico da superfície terrestre. Na segunda metade do século XIX e início do século XX, consolidaram-se as bases teóricas que fundamentam a concepção científica da paisagem, marcando um período de importante desenvolvimento nessa abordagem (Passos, 2003).

Cabe destacar, ainda, que conforme Maximiano (2004, p.86):

Na metade do século XIX, estudos de vegetação para análise da paisagem trabalhavam com tipologias de unidades de vegetação e eram retomadas em uma tipologia maior de unidades paisagísticas. Em níveis diferentes, as unidades paisagísticas foram assimilando progressivamente componentes físicos até sociais.

Na ciência geográfica, o termo *paisagem* adquiriu um caráter polissêmico desde seu surgimento na escola alemã, no século XIX. Sua construção conceitual foi profundamente influenciada por diferentes correntes de pensamento, como o racionalismo positivista, o romantismo e o idealismo (Soares, 2021).

Sob a perspectiva racionalista, a paisagem foi interpretada de forma objetiva, com ênfase na racionalização científica e na descrição fisiológica das formas visíveis. Como afirmam Barbosa e Gonçalves (2014, p. 94), “sua apreensão na perspectiva racionalista se deu



a partir de uma racionalização objetiva, muito mais ligada à ciência, a partir da apreensão visual de objetos travestidos de formas e passíveis de descrição fisiológica”.

Barbosa e Gonçalves (2014, p. 96) destacam ainda que:

Na geografia, paisagem emergiu então, sob a influência da noção evolutiva da paisagem pitoresca, de representar cenários da natureza através da pintura, e da arte de ornamentação de jardins, mas também da sua noção literária, associada a uma concepção estética, assumindo nessa ciência, caráter estético-descritivo, considerando a morfogênese e a magnitude dos objetos para fins de classificação dos elementos da natureza.

Embora seja um tema com diversas interpretações em diferentes áreas do conhecimento, o conceito de paisagem continua a desempenhar um papel fundamental na pesquisa geográfica, sendo uma ferramenta crucial para a análise e interpretação do espaço. Visto que as paisagens estão em constante transformação devido à ação humana no espaço geográfico, e com o avanço da tecnificação na sociedade, essas modificações tornam-se progressivamente mais intensas (Santos, 2000).

De acordo com Ferreira (2023), com o passar do tempo, o conceito de paisagem adquiriu múltiplos significados, abordagens e métodos, diversificando-se consideravelmente. Os estudos passaram de uma análise restrita dos componentes biofísicos para uma compreensão mais abrangente das interações complexas entre os elementos naturais e humanos.

A abordagem da paisagem na Geografia foi profundamente influenciada pelas contribuições das escolas alemã, russa e francesa, cada uma destacando aspectos específicos do estudo geográfico. Cada uma destacando dimensões específicas do estudo geográfico e enriquecendo a compreensão desse conceito em múltiplas perspectivas.

#### Abordagem da escola geográfica alemã

As primeiras concepções de paisagem na Geografia são atribuídas a Alexandre von Humboldt (1769-1859), no século XIX. Humboldt dedicou especial atenção à paisagem, focando principalmente no estudo da vegetação, que ele considerava o elemento mais significativo para caracterizar o espaço. Sua abordagem integrou aspectos naturais e suas interações, destacando a vegetação como um indicativo essencial para a compreensão das características espaciais de uma região.

Humboldt abordou a paisagem com um enfoque detalhado sobre a fisionomia e o aspecto da vegetação, considerando também o clima, sua influência sobre os seres vivos e o

caráter geral da paisagem, que varia conforme a natureza do solo e sua cobertura vegetal (Rougerie; Beroutchatchvili, 1991 *apud* Maximiano, 2004, p. 85). Destacando-se então por sua visão holística da paisagem, ao associar diferentes elementos naturais e a ação humana, contribuindo para a sistematização da ciência geográfica (Schier, 2003).

O conceito de paisagem, discutido na Geografia, está ligado à busca por um método próprio. Com base nesse conceito, Humboldt e Ritter (1779-1859) estabeleceram as fundações para uma Geografia analítica, focada nas dinâmicas das relações espaciais e no entendimento da estrutura e dos processos que ocorrem na superfície terrestre. O empirismo raciocinado de Humboldt envolvia uma análise da paisagem que buscava a unidade dos fenômenos naturais, observada durante suas viagens e sintetizada na obra *Quadros da Natureza* (Marques Neto, 2008).

Outra importante contribuição ao estudo da paisagem foi feita por Friedrich Ratzel (1844-1904), embora sua atuação tenha ocorrido de forma mais tardia, nos últimos decênios do século XIX. Seguindo a linha do racionalismo e do positivismo ambiental, Ratzel destacou-se por focar as relações causais que interagem na natureza, abordando a paisagem como resultado de uma dinâmica entre fatores naturais e sociais (Passos, 2003; Maximiano, 2004).

Ratzel utilizou o conceito de paisagem de maneira antropogênica, demonstrando que ela é o produto do distanciamento do ser humano em relação ao seu meio natural. Assim, ele descreveu uma dialética entre os elementos fixos da paisagem natural, como solo e rios, e os elementos móveis, principalmente humanos, que transformam e modificam esse espaço ao longo do tempo (Schier, 2003).

Na virada do século XX, as ideias de Ratzel foram incorporadas pela *Landschaftskunde*, uma disciplina dedicada ao estudo das paisagens, que as considerava sob uma ótica territorial. Nessa abordagem, a paisagem é vista como uma expressão espacial das estruturas naturais, organizadas por leis cientificamente observáveis e passíveis de análise sistemática (Passos, 2003; Maximiano, 2004).

Siegfried Passarge (1866-1958), foi outro autor que se destacou no estudo de paisagem, onde por meio de suas pesquisas, se tornou o primeiro a dedicar um livro exclusivamente à paisagem, *Grundlagen der Landschaftskunde* (1919-1920), dando origem a um novo ramo da Geografia, a “Geografia da Paisagem”. A ele são atribuídas importantes contribuições, como os apontamentos presentes em sua obra *Geomorfologia*, especialmente no capítulo dedicado às formas do relevo (Soares, 2021).

Suertegaray (2001) discute a concepção de paisagem de Carl Troll (1950), que a entendia como o resultado das interações entre o homem e o meio ambiente. Para Troll, a

paisagem vai além do que é visível, sendo fruto de um processo de articulação entre seus diversos elementos constituintes. Ele defendia que a paisagem deveria ser estudada em sua morfologia, estrutura e divisão, incluindo também a ecologia da paisagem, que representa o nível máximo de interação entre os diferentes componentes.

A ideia de que a paisagem representa um conjunto específico de relações ecológicas, principalmente com seus fatores físicos, proposta por Troll em 1939, deu origem à *Landschaftsökologie* (ecologia da paisagem), que agrupa os elementos da paisagem sob uma perspectiva ecológica, dividindo-os em ecótopos, unidades comparáveis aos ecossistemas. Com essa abordagem, introduziu-se uma compreensão sistêmica das unidades geográficas, considerando suas interações e dinâmicas de forma integrada (Schier, 2003).

Em suma, a abordagem da Ciência da Paisagem na escola alemã seguiu duas orientações simultâneas: uma naturalista, conhecida como paisagem natural (*Naturlandschaft*), e outra de caráter cultural, a paisagem cultural (*Kulturlandschaft*). Essas duas correntes formaram a base para o desenvolvimento de diversas outras concepções sobre a paisagem, que influenciaram as principais escolas geográficas do continente europeu, como a soviética e a francesa, além das escolas anglo-saxônicas (Barbosa, 2015).

#### Abordagem da escola geográfica russa

Na ex-União Soviética, a Ciência da Paisagem teve seu início no final do século XIX, com raízes nas concepções da escola germânica e nas contribuições da edafologia científica de Vasily Vasilievich Dokoutchaev (1848-1903) (Passos, 2003). Essas influências foram fundamentais para o desenvolvimento de uma abordagem integrada, que considerava tanto os aspectos naturais quanto os processos de interação entre o solo e os fatores ambientais.

Conforme Dokoutchaev, o solo resulta da interação dos elementos da paisagem, ou seja, do complexo sistema de relações entre fatores naturais como a rocha mãe, o relevo, a água, o calor e os organismos. Essa formulação marca o nascimento da Ciência da Paisagem, com Dokoutchaev sendo considerado o fundador da nova escola geográfica soviética (Passos, 2003).

Na perspectiva soviética, a análise da paisagem focou mais no sistema físico do que na vegetação, integrando os conceitos da *landschaft* alemã com o Complexo Natural Territorial de Dokoutchaev. Entre as décadas de 1930 e 1960, as pesquisas sobre a paisagem como um sistema físico-químico foram conduzidas na URSS, com contribuições importantes de autores como Grigoriev, Berg, Sochava, Solncev e Isachenko (Maximiano, 2004).

Outra contribuição significativa para o estudo da paisagem dentro da escola soviética foi feita por Viktor Borisovich Sochava (1905-1978). Em 1963, Sochava introduziu o termo e a noção de “geossistema”, conceito que teve grande impacto tanto na URSS quanto internacionalmente (Passos, 2003).

Sochava (1978 *apud* Passos, 2003, p.35) explica que os geossistemas:

São os sistemas naturais, de nível local, regional ou global, nos quais o substrato mineral, o solo, as comunidades de seres vivos, a água e as massas de ar, particulares às diversas subdivisões da superfície terrestre, são interconectados por fluxos de matéria e energia, em um só conjunto.

Passos (2003) esclarece que, o geossistema, neste contexto, é definido como a combinação de massas e energias, com o conjunto da paisagem sendo considerado a expressão dessas diferentes combinações. Para Sochava (1978), o geossistema abrange todos os elementos da paisagem, funcionando como um modelo global, territorial e dinâmico, aplicável a qualquer paisagem concreta.

De acordo com Sochava (1978), o geossistema é composto por classes hierarquizadas do meio natural e apresenta três escalas de grandeza: planetária, regional de grande extensão (pequena escala) e topológica de nível reduzido (grande escala). A abordagem sistêmica possibilita a identificação das diversas interações entre os níveis internos de uma paisagem, sua funcionalidade, seu estado e suas relações com o meio (Passos, 2003; Maximiano, 2004).

As contribuições da escola soviética, é amplamente reconhecida como uma das mais importantes para o estudo da paisagem na Geografia, especialmente no campo da geografia física, tanto no que se refere à ordem epistemológica quanto às estruturas institucionais. Foi essa escola que estabeleceu as primeiras bases epistemológicas dentro de uma “lógica paisagística” (Passos, 2003).

#### Abordagem da escola geográfica francesa

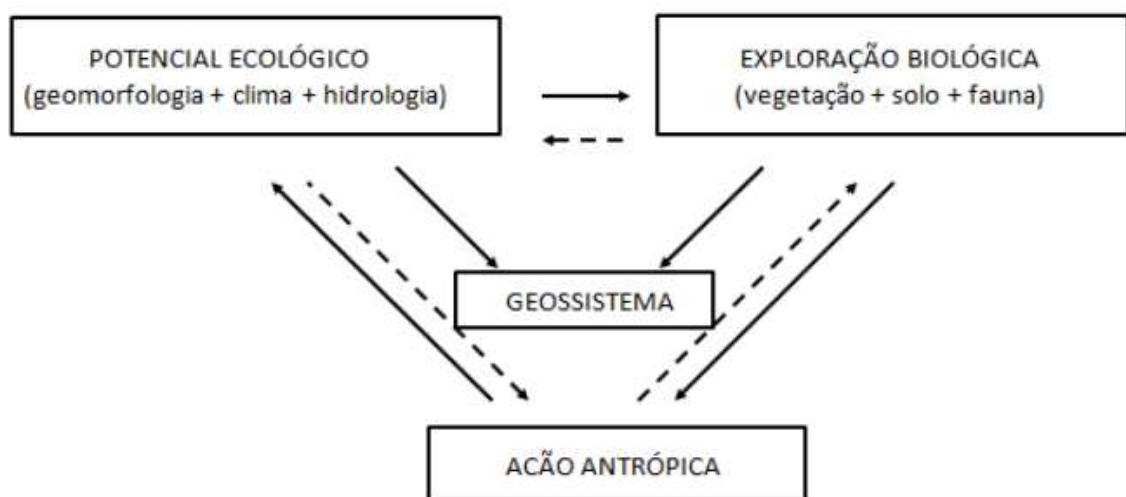
A escola geográfica francesa, fortemente influenciada por Paul Vidal de La Blache (1845-1918), utilizou amplamente a descrição para destacar os traços singulares da paisagem, com o objetivo de delimitar e caracterizar as regiões geográficas (Passos, 2003). A Geografia lablachiana, até a segunda metade do século XX, concentrou seus estudos na descrição das regiões geográficas da França, buscando enfatizar de forma detalhada os aspectos particulares de cada região (Barbosa; Gonçalves, 2014).

Nessa conjunção, a escola francesa, embora também influenciada pelo naturalismo da geografia tradicional e pelo positivismo geográfico, se distingue da escola alemã ao reconhecer o homem como um agente ativo no processo de formação da paisagem. O ser humano não apenas interage com a paisagem, mas molda e transforma o ambiente de acordo com suas necessidades, incorporando a cultura como uma ferramenta fundamental na modelagem da paisagem (Pereira, 2017).

Desde a metade do século XIX, geógrafos franceses, incluindo pesquisadores de campo e professores, desenvolveram análises que contribuíram para a construção do conhecimento sobre as paisagens. Na França, o termo “paisagem” foi progressivamente substituído por “região”, conceito mais ligado à história e à cultura do que aos elementos naturais. Até a década de 1960, a paisagem como objeto de pesquisa propriamente dito ainda não era uma área de foco na Geografia francesa (Maximiano, 2004).

Na década de 1970, Bertrand (2004) apresentou uma abordagem metodológica para o estudo global da paisagem na Geografia Física. Em sua proposta, o geossistema, em escala local, resulta da interação entre dados abióticos (como os fatores geomorfológicos, climáticos e hidrológicos) e dados bióticos (incluindo flora, fauna e solo), além da ação humana (Figura 2). Tal abordagem geossistêmica se distingue da proposta de Sochava ao incorporar explicitamente o caráter antrópico na análise da paisagem (Barbosa; Gonçalves, 2014).

**Figura 2:** Esquema teórico da abordagem Geossistêmica, segundo o modelo em tripé proposto por Bertrand.



Fonte: Adaptado de Bertrand (1970)

Em suas formulações, Georges Bertrand enfatiza a dimensão epistemológica do conceito de paisagem, argumentando que este não deve ser analisado de forma isolada ou

reducionista. Ao contrário, ele defende que a paisagem deve ser estudada dentro de uma Geografia Física Global e integrada, como pode ser observado na seguinte afirmação:

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, 2004, p.141).

Como se pode observar a partir dessa definição inicial de paisagem, o elemento central da proposta de Bertrand é a dinâmica dialética das interações entre os componentes biofísicos e antrópicos. Para o autor, a paisagem não é composta apenas pelos aspectos naturais, mas por um conjunto integrado de elementos naturais e humanos, cuja interação dialética determina a evolução de uma paisagem ao longo do tempo (Barbosa; Gonçalves, 2014).

Outro autor de destaque nesta escola é Jean Tricart (1920-2003) que, ao incorporar a abordagem sistêmica, atribui à paisagem uma dimensão lógica e concreta, considerando-a em sua escala, o que possibilita sua espacialização. Segundo o próprio autor: “uma paisagem começa, mais ou menos nitidamente, em um lugar e termina em outro”, o que implica na definição de uma escala e na conversão da paisagem (ou das unidades de paisagem) em documentos cartográficos (Marques Neto, 2008).

Os estudos de Tricart foram principalmente voltados para a geomorfologia e a ordenação da paisagem. Sua obra principal, *Ecodinâmica*, apresenta uma concepção próxima à de ecossistema e adota uma ótica dinâmica como ponto de partida para compreender a organização do espaço. Nesse contexto, ele propõe três grupos taxonômicos para analisar a dinâmica da paisagem: meios estáveis, meios intergrades e meios instáveis (Pereira, 2017).

Os estudos da escola alemã influenciaram significativamente as correntes geográficas subsequentes, especialmente nas concepções de paisagem natural e cultural. A escola russa, seguindo o naturalismo germânico, desenvolveu abordagens próprias sobre a interação entre componentes da paisagem. Já a escola francesa, também fundamentada no naturalismo e positivismo, destacou-se por incorporar o viés cultural, enfatizando a paisagem como resultado da interação entre natureza e ação humana.

### **3.2 Impactos da erosão hídrica dos solos**

Esta subseção busca apresentar, de forma concisa, a relevância dos solos em nosso cotidiano, destacando sua importância como recurso essencial para diversas atividades

humanas. Além disso, aborda os estágios de formação, iniciais e finais, dos fenômenos erosivos, com ênfase nos processos de erosão laminar, analisando seus fatores determinantes e os impactos causados na sociedade.

### 3.2.1 Importância da preservação dos solos

A Pedologia, originada do grego *pedon* (solo, terra), é a ciência que estuda a gênese, morfologia e classificação dos solos. Conforme Pereira *et al.*, (2019), seu objetivo é compreender a interação entre os fatores e processos responsáveis pela formação do solo e como esses influenciam seus atributos morfológicos, físicos, químicos e mineralógicos, além de realizar a classificação taxonômica dos diferentes tipos de solo.

A Pedologia é uma ciência relativamente recente, cuja origem é amplamente atribuída aos trabalhos de V. V. Dokuchaev (1846–1903), reconhecido por desenvolver o modelo fatorial de formação do solo. Durante expedições em seu país, acompanhado de sua equipe, Dokuchaev observou que o solo não era apenas uma simples acumulação de material geológico, mas sim o resultado da interação de diversos fatores (Pereira *et al.*, 2019).

Com a escola russa de Dokuchaev, influenciado pelo Materialismo Dialético, com o objetivo de realizar uma análise integrada da paisagem natural, o estudo do solo passou a ser abordado sob uma perspectiva genética, o que possibilitou a categorização dos solos em diferentes classes, o desenvolvimento do conceito de horizonte e a compreensão da distribuição dos solos na paisagem. Esses avanços estabeleceram os alicerces da Pedologia (Ferreira, 2023).

Lepsch (2002, p. 9) explica que o solo:

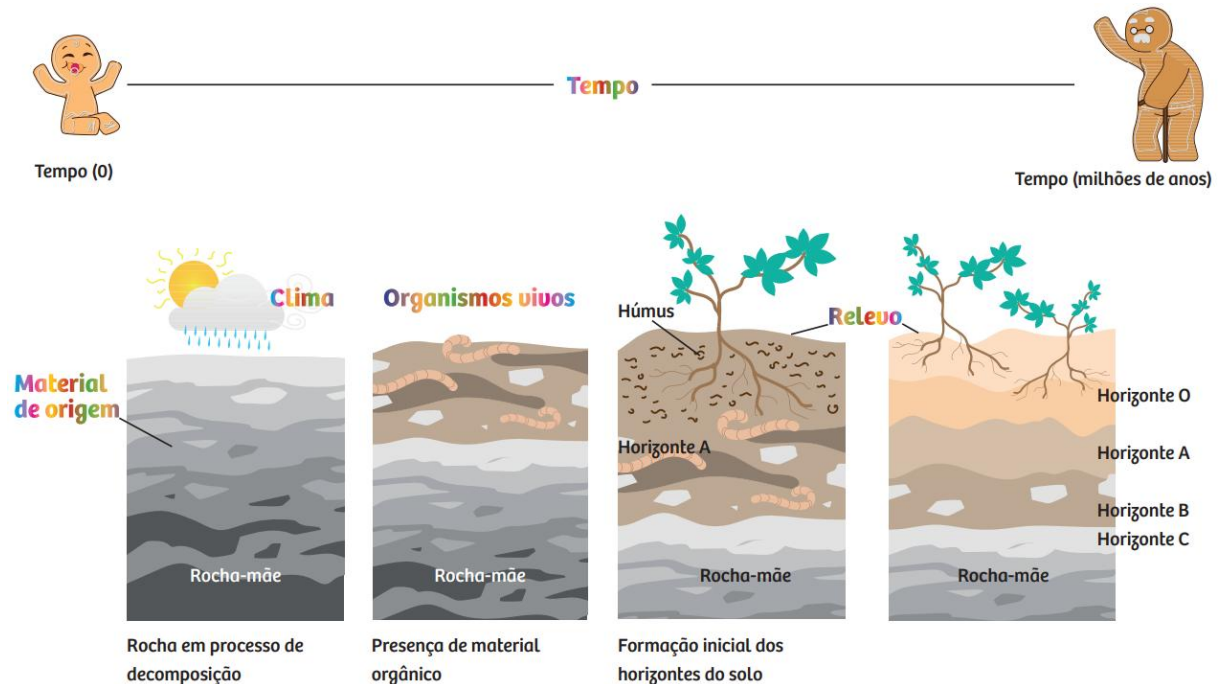
[...] é a coleção de corpos naturais dinâmicos, que contém matéria viva, da mesma maneira que é resultante da ação do clima e da biosfera sobre a rocha, cuja transformação em solo se realiza durante certo tempo e é influenciada pelo tipo de relevo.

Para a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa, 2018), o solo consiste em uma “coleção de corpos naturais constituídos por parte sólida, líquida e gasosa, tridimensionais, dinâmicos, formados por materiais minerais e orgânicos, que ocupam a maior parte do manto superficial das extensões continentais”.

Com base nessa concepção, é possível afirmar que a formação do solo é um processo dinâmico e gradual que ocorre ao longo de milhões de anos, influenciado por cinco fatores principais: material de origem, clima, organismos vivos, relevo e tempo. Sendo o tempo o fator

que integra todos os outros, permitindo que os processos atuem e formem solos maduros e bem desenvolvidos ao longo de milhões de anos (Figura 3).

**Figura 3:** Elementos atuantes na formação dos solos.



Fonte: Jorge (2021)

Entre os diversos elementos do meio físico, o solo se destaca como o alicerce das civilizações, origem e destino de inúmeros processos naturais e humanos. Ele é a principal fonte de alimentos e matérias-primas. Contudo, atualmente, o solo enfrenta intensos processos de degradação, como a perda de fertilidade natural, salinização, contaminação, compactação e erosão (Carvalho; Barcellos, 2017).

O solo conta com uma valiosa proteção natural: a cobertura vegetal, que abriga uma diversidade de organismos responsáveis por manter um complexo ciclo biológico. Quando essa proteção é destruída, o solo fica vulnerável aos efeitos de ventos, chuvas, radiação solar e altas temperaturas. Esses fatores não apenas comprometem a vida presente no solo, mas também reduzem suas fertilidade e funcionalidade, tornando-o improdutivo e suscetível a perdas significativas causadas pela erosão (Carvalho; Barcellos, 2017).

O solo é indispensável para praticamente todas as atividades humanas, sendo ele um recurso fundamental para a sobrevivência e para manutenção dos ecossistemas. Como destaca Nunes (2004, p. 5), “a apropriação, na maioria das vezes indevida, dos recursos naturais, visando à obtenção de matérias-primas e alimentos, pode resultar em quadros irreversíveis de



degradação ambiental”. Assim, o estudo do solo é essencial não apenas para otimizar seu uso, mas também para garantir sua conservação, prevenindo danos irreparáveis que comprometem os ecossistemas e a qualidade de vida das futuras gerações.

Conforme Magalhães *et al.*, (2015), um solo bem conservado é fundamental para o funcionamento equilibrado do ecossistema. Uma vez que o solo carece de nutrientes e de uma fauna microbiológica saudável, torna-se inviável o desenvolvimento de plantas, seja para a produção de alimentos ou para a manutenção da vegetação natural. Essa degradação pode desencadear uma série de impactos negativos para o meio ambiente, comprometendo sua capacidade de sustentar a vida.

### 3.2.2 Erosão laminar

Atualmente, ao redor do mundo, existem diversos estudos sobre os fenômenos erosivos, que buscam uma abordagem abrangente, não se limitando a ambientes específicos. Esses estudos detalham as características de cada local, pois, ao abordar essa temática, não se deve generalizar todas as etapas do processo. Uma vez que cada ambiente possui características únicas, que podem diferenciá-lo de outros, o que torna inviável afirmar que um determinado fator é o mais relevante para toda a superfície da Terra, uma vez que sua influência pode variar significativamente de acordo com a localidade (Viana, 2019).

A erosão é um dos principais problemas ambientais enfrentados no Brasil, provocando sérias consequências para o meio ambiente e as atividades humanas. Entre os danos mais evidentes estão a perda de terras agricultáveis, que compromete a produção de alimentos, a destruição de construções e infraestruturas, além da aceleração de processos de degradação ambiental, como a desertificação em áreas vulneráveis (Silva; Bezerra; Guerra, 2012). Além disso, a erosão possui a capacidade de moldar a paisagem, desgastando material de um local, transportando-o através da água ou do vento e depositando-o quando a capacidade de transporte é superada (Pinese Júnior; Cruz; Rodrigues, 2008).

De acordo com Guerra e Jorge (2014), os processos erosivos, influenciados pela ocupação do solo, são determinados por diversos fatores relacionados às condições naturais. Entre os principais, destacam-se a cobertura vegetal, o clima, a topografia e os tipos de solos. Contudo, reconhece-se a influência de outros fatores, além dos condicionantes naturais, um aspecto de significativa relevância nos estudos sobre a erosão é a ação antrópica, cuja interferência pode potencializar ou mitigar os impactos desse fenômeno.

A maior parte da perda de solo ocorre por meio da erosão hídrica. Por outro lado, os processos naturais de formação do solo são extremamente lentos, tornando a renovação desse recurso limitado e não compatível com o ritmo da sua degradação (Morgan, 2005). Essa disparidade reforça a importância de ações preventivas e de manejo sustentável para proteger o solo e garantir sua funcionalidade no longo prazo.

Guerra, Silva e Botelho (2005) destacam que os nutrientes das camadas superiores do solo são facilmente perdidos por erosão. Os nitratos, devido à sua alta solubilidade, se ligam à água do escoamento superficial, enquanto os fosfatos se aderem às partículas finas do solo, sendo transportados junto com os sólidos erodidos. Como resultado, o material erodido tende a ser mais rico em nutrientes do que o solo original que sofreu a erosão.

A erosão decorre da interação entre fatores naturais e antrópicos que determinam as variações nas taxas de erosão e podem ser subdivididos em: erodibilidade dos solos (proporcionada pelas propriedades dos solos) e erosividade das chuvas (causada pela água da chuva). Além disso, aspectos econômicos, sociais e políticos desempenham um papel crucial, pois influenciam nas práticas de ocupação, manejo e conservação dos solos (Lal, 2001).

A desagregação das partículas do solo tem início com o chamado efeito splash, que ocorre quando as gotas da chuva atingem o solo (Figura 4). Esse impacto, causado pela energia cinética das gotas, que corresponde a erosividade – habilidade da chuva em causar erosão. Esse é o estágio inicial dos fenômenos erosivos, pois a força do impacto desagrega as partículas do solo, tornando-as suscetíveis ao transporte por agentes erosivos subsequentes, como a água em escoamento superficial (Guerra, 2009).

**Figura 4:** Ação do efeito splash.



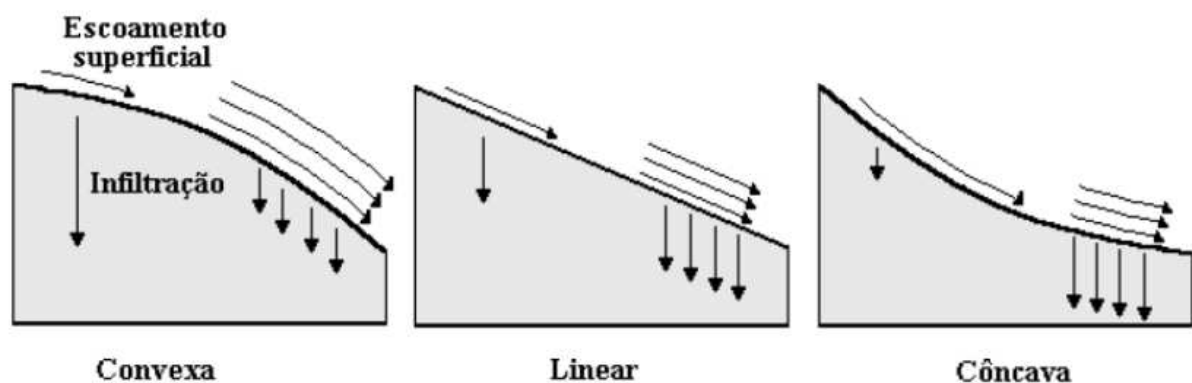
Fonte: Brizzi (2018)

A inclinação do terreno é um fator determinante na intensidade do processo erosivo, pois, quanto maior a inclinação da vertente, maior é a energia cinética da água que escoam superficialmente. Isso reduz a infiltração no solo e favorece o escoamento superficial, que

transporta partículas de solo e nutrientes, agravando a erosão (Pinese Júnior; Cruz; Rodrigues, 2008; Poesen, 2018)). No entanto, a ausência de práticas conservacionistas adequadas pode resultar em taxas elevadas de erosão, ultrapassando a capacidade de resiliência dos solos (Jorge; Guerra, 2013; Goudie, 2020).

Quanto mais íngreme o relevo, menor a infiltração da água, o que favorece o escoamento superficial (Figura 5). As declividades acentuadas também aumentam a velocidade do escoamento, intensificando sua capacidade erosiva. Em vertentes extensas, o acúmulo de água resulta em uma lâmina d'água mais espessa, o que favorece a formação de enxurradas. Esse processo gera maior força para o transporte de material superficial, acelerando a erosão. Em uma vertente extensa, o acúmulo de água faz com que a lâmina d'água se torne mais espessa (Lanza, 2011).

**Figura 5:** Comportamento do escoamento superficial e da infiltração em curvaturas verticais.



Fonte: Negreiros (2003)

A intensidade da chuva é um outro fator que possui grande influência na erosão do solo, como afirma Volk (2006):

A capacidade da chuva de causar erosão do solo vai depender de várias das suas características, mas, principalmente, da intensidade, duração e probabilidade de ocorrência ou período de retorno da chuva. A intensidade da chuva resulta da razão entre quantidade e duração da mesma, enquanto esta última é a que vai determinar a quantidade total de chuva.

A energia gerada pelo impacto das gotas de chuva é responsável pela desagregação da maior parte do material que será transportado pelo escoamento superficial. Esse escoamento ocorre quando a intensidade da chuva ultrapassa a capacidade de infiltração instantânea do solo. A intensidade do efeito da erosão pluvial depende da velocidade do escoamento, que tende a

aumentar com o grau de declive e com o volume de água que escoar (Meyer; Monke, 1965 *apud* Nunes, 2006).

Em regiões cujo as com precipitações são elevadas, a proteção do solo contra a erosão é essencial. De acordo com Townsend, Begon e Harper (2006), o dossel das árvores atua absorvendo o impacto direto das chuvas sobre a superfície do solo. Além disso, as raízes das plantas ajudam a unir o solo, enquanto a queda contínua de folhas e outras estruturas vegetais, que formam a serrapilheira, contribui para barrar o escoamento superficial e o transporte de sedimentos, além de adicionar matéria orgânica ao solo (Pinese Júnior; Cruz; Rodrigues, 2008).

Na erosão hídrica, a intensidade das chuvas supera a capacidade de infiltração da água no solo, gerando escoamento superficial. Esse processo resulta na formação de um “lençol” de água com profundidade relativamente uniforme na superfície do solo, caracterizando a erosão laminar (Poesen, 2018). De acordo com Guerra (1998, p. 30) “a erosão em lençol ou laminar se inicia quando a água que se acumula nas depressões do terreno começa a descer pela encosta quando o solo está saturado e as poças não conseguem mais conter essa água”.

É fundamental distinguir entre as categorias de erosão laminar (causada pelo escoamento laminar ou difuso) e erosão linear (resultante do escoamento com fluxo concentrado), pois cada processo possui mecanismos e condicionantes distintos (Salomão, 2009). A erosão laminar provoca a remoção gradual e uniforme das camadas superficiais do solo. Embora geralmente não seja tão perceptível quanto a erosão linear, ela pode ser a principal responsável pela perda de solos em determinadas áreas (Lanza, 2011).

O entendimento dos mecanismos de remoção e transporte de partículas do solo, como o splash, o escoamento superficial e a ação do vento, devem ser integrados a uma estratégia eficaz para a conservação dos solos. Essa estratégia deve focar na proteção do solo contra o impacto das gotas de chuva, no aumento da capacidade de infiltração para reduzir o escoamento superficial, e na melhoria da estabilidade dos agregados do solo. Além disso, é fundamental aumentar a rugosidade da superfície do solo, o que contribui para a redução da velocidade do escoamento da água e do vento (Bezerra, 2011).

É crucial destacar que a ausência de práticas adequadas de conservação contribui significativamente para o aumento das taxas de erosão. A ausência da cobertura vegetal e o uso excessivo do solo para agricultura sem a devida rotação ou a compactação do solo, pode reduzir a capacidade de retenção de água e aumentar a vulnerabilidade ao escoamento superficial (Jorge; Guerra, 2013; Goudie, 2020). Isso não apenas acelera o processo erosivo, mas também diminui a fertilidade do solo, prejudicando a capacidade produtiva das terras e comprometendo a qualidade dos recursos hídricos.

### **3.3 Técnica de monitoramento da erosão laminar: Estação experimental**

Esta subseção tem como objetivo destacar, de forma concisa, a importância das técnicas de monitoramento, como as estações experimentais, nos estudos que visam entender os fenômenos erosivos laminares. Essas técnicas são fundamentais para a identificação e análise dos processos erosivos, contribuindo significativamente para a mitigação dos impactos que esses fenômenos causam à sociedade.

#### **3.3.1 Importância da Geomorfologia para os estudos ambientais**

A Geomorfologia se apresenta como uma importante fonte de conhecimento, dedicando-se à compreensão da evolução das formas e processos responsáveis pela configuração do modelado terrestre. Esse campo de estudo considera não apenas os processos físicos, químicos e biológicos, mas também a influência das atividades humanas na transformação e dinâmica das paisagens (Christofolletti, 1980; Penteado, 1980; Ross, 2014).

O termo “Geomorfologia” pode ser compreendido parcialmente por meio de sua etimologia: “Geo” significa “Terra”, “morfo” refere-se a “forma” e “logia” indica “estudo”. Assim, Geomorfologia é o estudo das formas da Terra. Essa área da ciência se dedica à análise das formas do relevo terrestre, investigando suas características geométricas e a morfologia do relevo.

Christofolletti (1980, p. 1), define a Geomorfologia como:

A ciência que estuda as formas de relevo. As formas representam a expressão espacial de uma superfície, compondo diferentes configurações da paisagem morfológica. É o seu aspecto visível, a sua configuração, que caracteriza o modelado topográfico de uma área.

Um fator geomorfológico pode ser definido como qualquer elemento natural capaz de alterar ou transportar materiais na superfície terrestre. Entre os principais agentes geomorfológicos destacam-se a água corrente, o gelo, o vento, as ondas e as marés, cuja interação resulta em uma diversidade de processos que moldam e reconfiguram o modelado terrestre ao longo do tempo (Thornbury, 1954).

Nos últimos anos, a Geomorfologia tem desempenhado um papel fundamental na análise da intervenção antrópica no relevo, contribuindo significativamente por meio de uma abordagem ambiental. Esse enfoque permite compreender os impactos das atividades humanas

sobre as formas e dinâmicas do relevo, fornecendo subsídios para a gestão e conservação das paisagens (Tricart, 1986; Guerra; Cunha, 1996; Bezerra, 2011).

Mediante o exposto, devido sua relevância para os estudos relacionados ao ambiente, a Geomorfologia tem ganhado cada vez mais aplicações em diversos campos do conhecimento. Enquanto alguns cientistas buscam compreender o planeta Terra, os geógrafos se dedicam a analisar as interações de uma série de fatores que influenciam a dinâmica da superfície terrestre, incluindo o impacto das atividades humanas, tanto rurais quanto urbanas (Viana, 2019).

Na maioria das vezes, esses problemas surgem devido à ausência de um planejamento ambiental adequado e à carência de políticas públicas eficazes. A falta de iniciativas preventivas para o manejo do solo contribui significativamente para a intensificação dos impactos ambientais, como a perda de biodiversidade, o assoreamento de corpos d'água e a redução da fertilidade do solo. Pensando nisso, Guerra (2018, p. 271) salienta que:

Temos que nos preocupar, não apenas com as políticas atuais, mas também as necessidades futuras, a partir da aplicação de determinadas políticas, em relação ao meio ambiente. A Geomorfologia se preocupa com os processos atuantes na superfície terrestre. Dessa forma, qualquer atividade que modifique as formas de relevo, induzem movimentação de materiais, ou alteram a quantidade e qualidade de água e a rede de drenagem, onde estão situadas. Muitas atividades podem afetar, indiretamente, as propriedades da superfície terrestre, através de interações com a cobertura vegetal.

A inserção da Geomorfologia nos estudos ambientais concentra-se na análise das formas do relevo, com o objetivo de compreender sua origem e suas inter-relações com os demais componentes naturais. Nesse contexto, a erosão dos solos emerge como um tema de destaque nos estudos geomorfológicos, evidenciando sua relevância para a dinâmica das paisagens e a sustentabilidade ambiental (Bezerra, 2011).

Frente então a crescente problemática entre o homem e o ambiente, especialmente no contexto urbano, a Geomorfologia oferece diversas possibilidades para o estabelecimento de novos parâmetros que permitam compreender melhor a relação entre sociedade e natureza. A importância desses estudos reside, sobretudo, na preocupação com as mudanças provocadas pelas atividades humanas no meio ambiente (Guerra, 2011).

### 3.3.2 Estações experimentais

Na Geomorfologia Experimental, torna-se essencial realizar o monitoramento por meio de medições e experimentos conduzidos tanto em campo quanto em laboratório. O

objetivo é obter índices quantitativos dos processos erosivos, considerando a periodicidade das mensurações e a regularidade das amostragens. Essa abordagem permite uma melhor compreensão da frequência e das taxas de ocorrência dos processos erosivos, fornecendo dados mais precisos para a análise e a gestão das dinâmicas do relevo (Baccaro, 1993; Bezerra, 2011; Bhattacharyya *et al.*, 2010; Bhattacharyya, 2010).

Guerra (2005), em sua obra, diferencia monitoramento de experimento, esclarecendo que o primeiro diz respeito à mensuração sistemática de um processo erosivo, exigindo a coleta de dados em intervalos fixos ou variáveis, conforme o objetivo do estudo. Já os experimentos referem-se a ensaios, que podem ser realizados tanto em laboratório quanto em campo, e não necessitam de coletas em intervalos específicos de tempo.

Segundo a literatura (Slaymaker, 1991; Kuhn; Greenwood; Fister, 2014; Seeger, 2017), os experimentos de campo podem ser classificados em três tipos principais, conforme seus objetivos e níveis de controle: (1) experimento verdadeiro (controle total) – projetado para testar hipóteses sobre as interações entre elementos de um sistema específico; (2) quasi-experimento (controle parcial) – utilizado para medir taxas de processos, quantificar modelos conceituais ou avaliar a relevância de processos específicos dentro de um sistema; e (3) experimento híbrido (sem controle) – focado em mensurar respostas integradas de processos associados ou manipulados, com o propósito de gerar dados de entrada para modelagens quantitativas.

Os primeiros estudos científicos sobre erosão do solo foram conduzidos na Alemanha, entre 1877 e 1895, utilizando pequenas parcelas experimentais para analisar e medir os efeitos do processo erosivo. Posteriormente, em 1923, no estado de Missouri, nos Estados Unidos, ocorreu a publicação pioneira de resultados sobre a erosão pluvial do solo, baseada em experimentos realizados em parcelas de campo (Volk, 2006).

No Brasil, estudos realizados em estações experimentais por pesquisadores como Guerra e Cunha (1996), Bezerra (2011), Loureiro (2013) e Pereira (2019) desempenham um papel crucial na compreensão dos processos erosivos. Esses trabalhos destacam o uso de parcelas de erosão como uma metodologia essencial. Ambos autores descrevem detalhadamente, em suas obras, os procedimentos para a elaboração e o monitoramento dessas parcelas, fornecendo diretrizes fundamentais para sua aplicação.

No cenário científico, as estações experimentais têm ganhado destaque no estudo sobre o entendimento dos fenômenos erosivos. Diante dos avanços significativos, as estações experimentais consolidaram-se como uma ferramenta fundamental para compreender os processos da erosão pluvial. Visto que elas permitem a representação de fatores mensuráveis

por meio de áreas definidas, facilitando a aplicação de tratamentos e manejos específicos, ajustados às demandas de cada pesquisa (Pinese Júnior; Cruz, Rodrigues, 2008).

Conforme destacado por Bezerra (2006), nas pesquisas voltadas para o controle dos fenômenos erosivos, a Geomorfologia oferece contribuições substanciais, especialmente por meio de procedimentos que auxiliam na compreensão da dinâmica hídrica sobre o solo. Esses estudos abrangem aspectos como o impacto das gotas de chuva e a remoção de partículas pela erosão laminar. Além disso, ao integrar análises quantitativas e qualitativas, a disciplina permite uma abordagem mais abrangente, contemplando tanto os fatores naturais quanto as influências antrópicas.

As estações experimentais são técnicas que permite o monitoramento de áreas específicas por meio de medições detalhadas, com ênfase no escoamento superficial. Através da coleta de indicadores e parâmetros, é possível avaliar os impactos ambientais, como o volume de água e solo que foram transportados, mensurando a magnitude do processo e analisando a eficácia das medidas preventivas adotadas. Esses aspectos são discutidos por diversos autores, como Ross e Fierz (2009), Bezerra (2011), Guerra (2016) e Pereira (2019).

Embora não existam regras fixas quanto às dimensões das parcelas em uma estação experimental, autores como Morgan (1986, 2005) e Guerra (1991, 1996, 2002, 2005) recomendam que as parcelas tenham, no mínimo, 10 metros de comprimento e 1 metro de largura. Essa configuração permite mensurar de forma eficaz as perdas de solo ocasionadas por cada evento chuvoso que resulte em escoamento superficial.

Além disso, é fundamental que toda estação experimental esteja equipada com um pluviômetro ou, preferencialmente, um pluviógrafo, que pode estar localizado nas proximidades da estação. Esses instrumentos registram os totais pluviométricos diários, possibilitando a determinação precisa da intensidade da chuva. Essas medições são essenciais para correlacionar a intensidade das precipitações com as perdas de água e solo, proporcionando dados mais detalhados e confiáveis para a análise dos processos erosivos (Guerra, 2005).

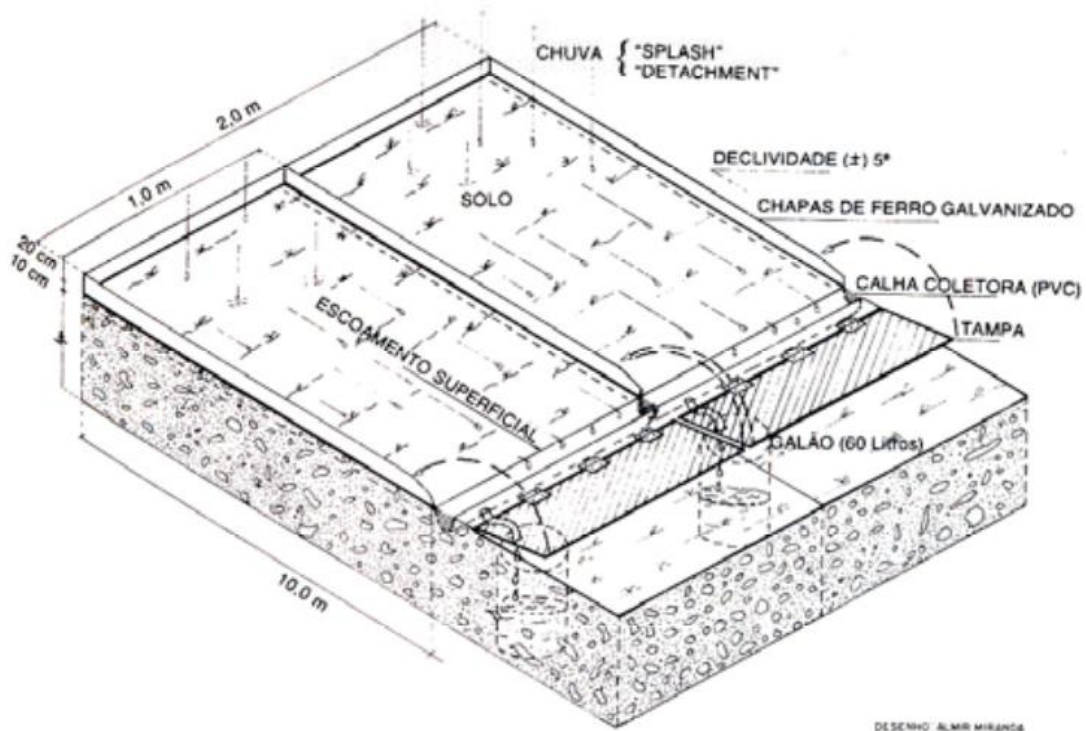
Conforme destacado por Morgan (2005), Guerra (2005) e Fullen e Catt (2004), uma outra regra importante a ser considerada na instalação de uma estação experimental é a necessidade de evitar o pisoteio sobre as parcelas. Essa precaução é fundamental, pois o pisoteio pode alterar a densidade aparente do solo devido à compactação, comprometendo a precisão dos dados obtidos. Portanto, é recomendável que as estações sejam instaladas em locais com acesso restrito ao público ou cercadas adequadamente.

Além disso, as estações experimentais consistem em experimento com limites bem definidos, projetados para simular diferentes tipos de uso e cobertura do solo, permitindo a



avaliação das perdas por escoamento superficial e os processos de sedimentação. Em sua estrutura, o escoamento superficial é direcionado para uma saída comum por meio de calhas e galões coletores, nos quais o material coletado, composto por água e sedimentos, é posteriormente quantificado (Pinese Júnior *et al.*, 2008; Bezerra, 2011) (Figura 6).

**Figura 6:** Parcelas experimentais para monitoramento.



Fonte: Guerra (2002)

Assim, as parcelas de erosão desempenham um papel crucial na compreensão dos processos de erosão pluvial, pois permitem a representação e mensuração de fatores específicos. Essas parcelas oferecem uma área controlada e bem definida, possibilitando a análise dos efeitos de diferentes tratamentos e manejos de solo, adaptados às necessidades da pesquisa (Pinese Júnior; Cruz; Rodrigues, 2008). Além disso, elas possibilitam a coleta de dados precisos sobre a dinâmica de erosão, oferecendo *insights* valiosos para a implementação de estratégias de conservação do solo e mitigação dos impactos ambientais.

Diversas pesquisas têm ressaltado a importância das parcelas de erosão no monitoramento do escoamento superficial e da erosão dos solos no Brasil. Sousa *et al.* (2016) realizaram uma análise comparativa entre duas parcelas com coberturas diferentes (pasto e solo exposto) para avaliar a influência da vegetação nas perdas de água e sedimentos no semiárido brasileiro, em Iguatu (CE). A parcela coberta por vegetação registrou uma redução de 99,36%

nas perdas de solo e 71,88% no escoamento superficial, em comparação à parcela com solo exposto. Os autores destacam a importância da vegetação como elemento capaz de dissipar a energia cinética das chuvas, ajudando a mitigar os impactos da erosão.

Costa e Rodrigues (2015) monitoraram cinco parcelas no bioma Cerrado, em Uberlândia (MG), com diferentes coberturas vegetais: parcela A (gramíneas), parcela B (arbustiva), parcela C (herbáceas para condições úmidas), parcela D (gramíneas e algumas herbáceas) e parcela E (arbórea, com cerca de 5 metros, associada a diversas espécies herbáceas devido à extensão da área). A parcela D apresentou as maiores taxas de erosão ( $1.752 \text{ g/m}^2$ ), apesar de ter registrado os menores valores de escoamento superficial. As parcelas A e E também apresentaram altas taxas de remoção, sendo que em A ( $1.511,75 \text{ g/m}^2$ ), as perdas ocorreram principalmente durante eventos de alta precipitação, enquanto na parcela E ( $1.353 \text{ g/m}^2$ ), a erosão foi constante, independentemente dos índices pluviométricos.

Bezerra (2011) investigou a eficiência de geotêxteis biodegradáveis feitos de fibra de buriti no controle do escoamento superficial e da perda de sedimentos, utilizando técnicas de bioengenharia de solos. Em uma estação experimental localizada na bacia do rio Bacanga, em São Luís (MA), onde foram monitoradas quatro parcelas: duas com solo exposto (SE) e duas cobertas com geotêxtil de buriti (SG). Durante o monitoramento, com precipitação total de 2.067,50 mm, registraram-se fluxos superficiais de  $208,57 \text{ L/m}^2$  nas parcelas SG e  $494,63 \text{ L/m}^2$  nas parcelas SE, mais que o dobro do escoamento observado nas áreas cobertas. Os resultados mostraram que os geotêxteis, seguidos pela revegetação com gramíneas, foram eficazes na redução do transporte de sedimentos. As parcelas SG perderam  $255,85 \text{ g/m}^2$  de solo, enquanto as parcelas SE registraram uma perda de  $4.390,96 \text{ g/m}^2$ , cerca de 17 vezes maior.

Em Ubatuba (SP), foi criada uma estação experimental com três parcelas de  $1 \times 10 \text{ m}$ , localizadas em uma trilha com declividade de  $4^\circ$ . Pereira (2015, 2019) investigou a relação entre as propriedades físico-químicas e o potencial matricial do solo em encostas, associando esses fatores ao escoamento superficial e à perda de solo. Apesar da declividade moderada, os resultados indicaram que o solo não conseguiu absorver toda a carga de matéria e energia recebida, o que levou à degradação do sistema e à perda de capacidade de dissipação de energia e processamento de matéria. Durante o monitoramento, mais de  $62,3 \text{ t/ha}$  de solo foram perdidos, com as maiores taxas de erosão registradas em janeiro ( $2,3 \text{ t/ha} - 3,7\%$ ), setembro de 2015 ( $1,9 \text{ t/ha} - 3\%$ ) e março de 2017 ( $1,7 \text{ t/ha} - 2,7\%$ ), coincidindo com volumes elevados de precipitação.

## 4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este capítulo apresenta a descrição detalhada dos procedimentos técnico-metodológicos adotados para a realização da pesquisa. O estudo foi conduzido em três etapas: trabalho de gabinete, trabalho de campo e análise laboratorial, seguindo a sequência ilustrada na Figura 7, que sintetiza o fluxo metodológico adotado.

**Figura 7:** Procedimentos metodológicos adotados na pesquisa.



Fonte: Elaborado pela autora (2024)

### 4.1 Levantamentos bibliográfico e cartográfico

O levantamento do material bibliográfico, foi efetuado no formato online através de consultas a livros, artigos científicos, monografias, dissertações e teses. Para a elaboração dos mapas temáticos, utilizou-se o Sistema de Informação Geográfica (SIG) por meio do software de geoprocessamento Quantum GIS® (versão 3.40), um programa de código aberto. Os mapas foram desenvolvidos com base na projeção policônica, utilizando como referência o DATUM SIRGAS 2000.

Também foram utilizados shapefiles (dados vetoriais) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022), com informações sobre a organização territorial do Brasil e aspectos específicos dos municípios de São Luís. Além disso, foram empregadas bases de dados da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM, 2020), relacionadas às características geoambientais.

## 4.2 Estações Experimentais

Foram empregados dois sistemas de estação experimental, nas proximidades do prédio de Geografia, Campus Paulo XI da Universidade Estadual do Maranhão. Onde um sistema foi construído em área de vegetação composta por gramíneas e um outro sistema construído em área de vegetação secundária mista de porte arbóreo. As parcelas foram construídas com base de concreto e tijolos, para uma maior resistência numa encosta de 1,5°. A Figura 8 ilustra os registros dos momentos do processo de construção das estações experimentais.

**Figura 8:** Construção das estações experimentais (A – estação experimental com vegetação de gramíneas; B – estação experimental com vegetação arbórea).



Fonte: Acervo da pesquisa (2023)

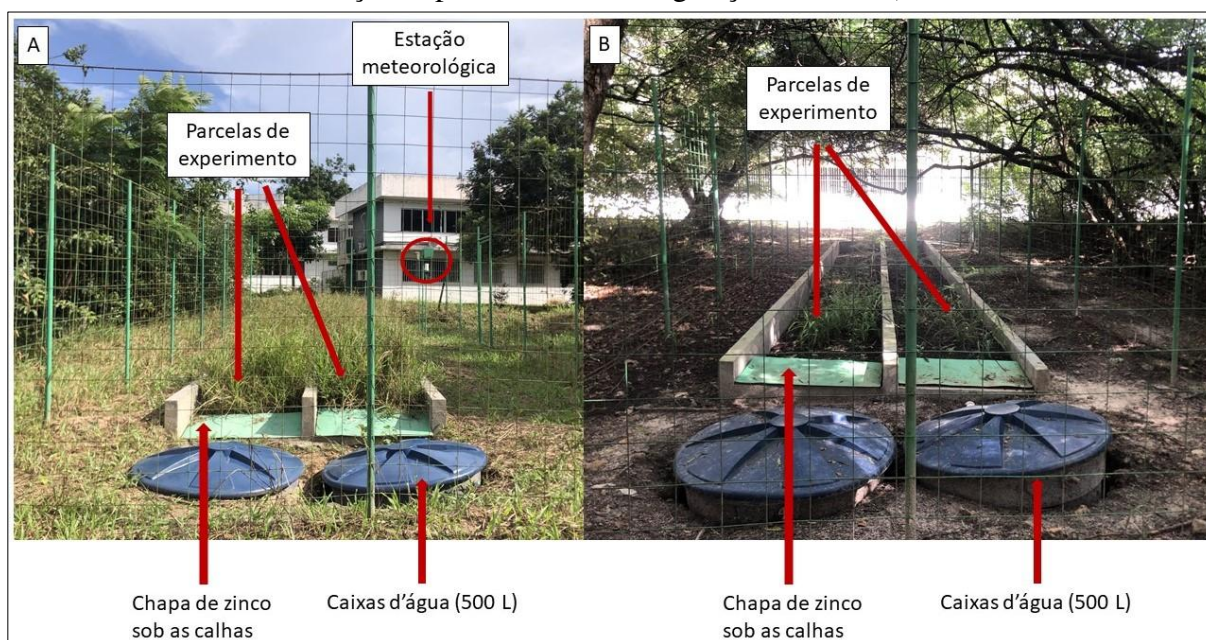
Ambos os sistemas são compostos por: uma parcela, com réplica, com vegetação de gramíneas, e outra parcela, construída em área com cobertura arbórea, também com uma réplica, somando 04 parcelas no total. A parcela apresenta 1 m de largura e 10 m de comprimento, totalizando 10 m<sup>2</sup>. Na parte inferior das parcelas, foram colocados 04



reservatórios com 500 litros de capacidade, para avaliação dos parâmetros de perda de solo e matéria orgânica.

Na estação experimental com vegetação de gramíneas foi instalada uma estação meteorológica, com datalog, para obtenção de dados pluviométricos diários, possibilitando assim a determinação do quantitativo de chuvas no local. A figura 9 apresenta a instalação de cada equipamento contidos em ambos os subsistemas de estação experimental.

**Figura 9:** Sistemas de estação experimental (A – estação experimental com gramíneas; B – estação experimental com vegetação arbustiva).



Fonte: Acervo da pesquisa (2025)

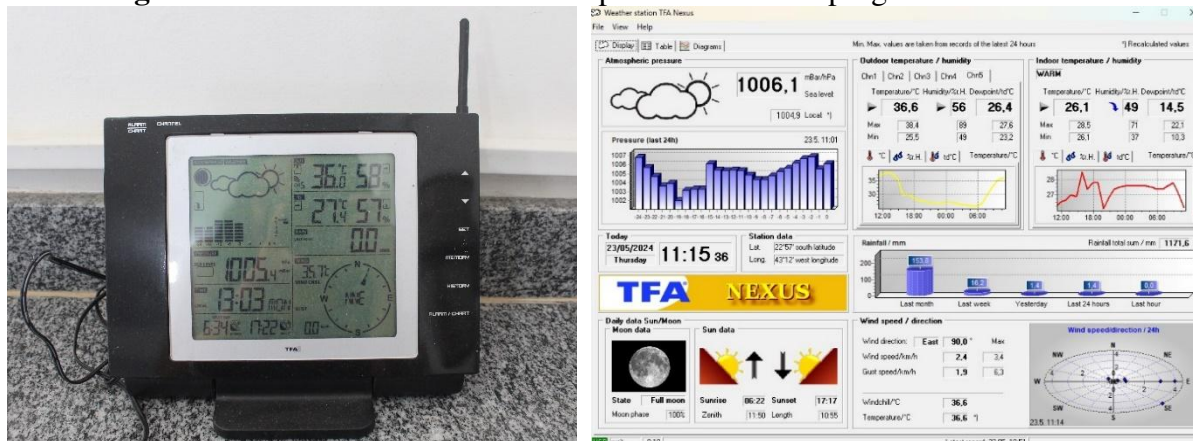
### 4.3 Estação meteorológica

A estação meteorológica é composta por uma unidade de console principal e sensores remotos, responsáveis por coletar e transmitir diversos dados meteorológicos, incluindo temperatura externa, umidade, velocidade e direção do vento, quantidade e intensidade da chuva.

A unidade de console principal possui um relógio de precisão controlado por rádio, com alarme e previsão do tempo. Ele mede a temperatura interna e a umidade e exibe os dados meteorológicos coletados pelos sensores meteorológicos remotos. O console também fornece dados sobre temperatura interna e externa, tendências de pressão e umidade, além de informações astronômicas, como fases da lua e horários do nascer e pôr do sol.

Quando conectado a um computador via cabo USB, o software TFA NEXUS (utilizado em conjunto com os dispositivos meteorológicos) oferece capacidade ilimitada para armazenar, exibir e salvar os registros meteorológicos no sistema (Figura 10).

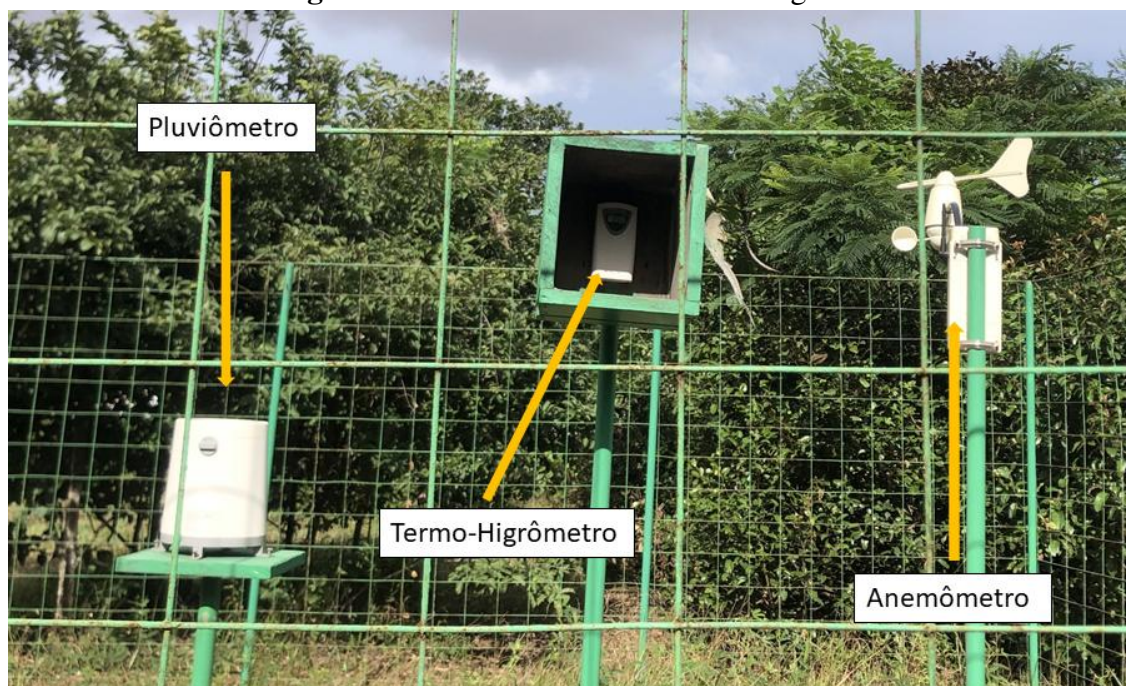
**Figura 10:** Unidade de Console Principal e interface do programa TFA NEXUS.



Fonte: Acervo da pesquisa (2025)

Os sensores remotos meteorológicos foram instalados nas proximidades das estações experimentais e contêm um termo-higrômetro (medidor de temperatura e umidade do ar), um anemômetro (sensor de vento) e um pluviômetro (sensor de chuva) (Figura 11). Todos os dados coletados pelos sensores são transmitidos à unidade de console principal (instalada no laboratório de geociências da universidade) por meio de RF sem fio (433,92 MHz).

**Figura 11:** Sensores remotos meteorológicos.



Fonte: Acervo da pesquisa (2024)



#### 4.4 Atividade de campo

As coletas foram realizadas durante o período chuvoso, abrangendo os meses de fevereiro a junho, correspondentes à estação com maior índice pluviométrico na região. O monitoramento foi contínuo nesse intervalo, com a coleta de amostras de sedimentos acumulados nas calhas e da solução (água e sedimentos) presente nos reservatórios das estações experimentais (Figura 12). A frequência das coletas foi definida de acordo com a ocorrência de eventos pluviométricos, ou seja, a cada evento de chuva significativo que gerasse escoamento superficial. Esse critério permitiu registrar com precisão a dinâmica erosiva, considerando as variações na intensidade das precipitações ao longo do período monitorado. O processo de secagem dos reservatórios era realizado com o auxílio de uma bomba d'água periférica.

**Figura 12:** Presença de sedimentos nas calhas e nos reservatórios (A – calha e reservatórios da estação experimental com gramíneas; B – calha e reservatórios da estação experimental com vegetação de porte arbóreo).



Fonte: Acervo da pesquisa (2024)

Ainda em campo, realizou-se a coleta das amostras de água no reservatório, para obtenção de dados referentes à geração do escoamento superficial e taxas de sedimentos perdidos. O procedimento compreendeu as seguintes etapas: homogeneização e coleta de 1 litro

de solução de água e sedimento dos reservatórios; com auxílio de 1 becker para análise do material sedimentar transportado em laboratório e a coleta de sedimentos depositados na calha das parcelas para posterior pesagem (Figura 13).

**Figura 13:** Coleta de amostras de água e sedimentos na estação experimental: A) Coleta de material sedimentar na calha da estação; B) Homogeneização do escoamento superficial capturadas no reservatório de água; C) Amostras coletada a partir da homogeneização.



Fonte: Acervo da pesquisa (2024)

#### 4.5 Atividade de laboratório

Em laboratório, o método adotado para a quantificação da perda de sedimentos foi o da filtragem, utilizando filtros de papel específicos para a separação do material particulado da solução líquida. As amostras coletadas nos reservatórios das estações experimentais foram inicialmente transferidas para provetas de 1000 ml, nas quais ocorreu o processo de infiltração da solução através do filtro, conforme ilustrado na Figura 14. Esse procedimento permitiu a retenção eficiente dos sedimentos transportados pelo escoamento superficial, especialmente das partículas mais finas suspensas na água.

Além disso, foram igualmente pesados os sedimentos depositados nas calhas de coleta instaladas na base de cada parcela experimental, o que proporcionou uma visão mais abrangente da distribuição e acúmulo do material erodido ao longo do percurso de escoamento. Para fins dos resultados propostos, a taxa de produção de sedimento foi convertida de g para  $\text{g m}^{-2}$ . Essa conversão foi realizada considerando a área útil de cada parcela experimental ( $10 \text{ m}^2$ ), possibilitando a análise quantitativa da erosão por unidade de área.



**Figura 14:** Filtragem de amostras retidas dos reservatórios.



Fonte: Acervo da pesquisa (2024)

## **5. RESULTADOS**

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos com a pesquisa, referentes às características geoambientais da área de estudo; monitoramento das estações experimentais, a saber: índices pluviométricos coletados a partir da estação meteorológica; dados de escoamento superficial, perda de sedimentos e matéria orgânica, gerados durante o período de monitoramento.

### **5.1 Características geoambientais**

A caracterização geoambiental do município de São Luís (MA) constitui etapa fundamental para a compreensão dos processos erosivos monitorados nesta pesquisa. A análise integrada das principais feições físicas e ambientais da área de estudo permite entender como os diferentes componentes naturais e antrópicos influenciam a dinâmica do escoamento superficial e a perda de solos.

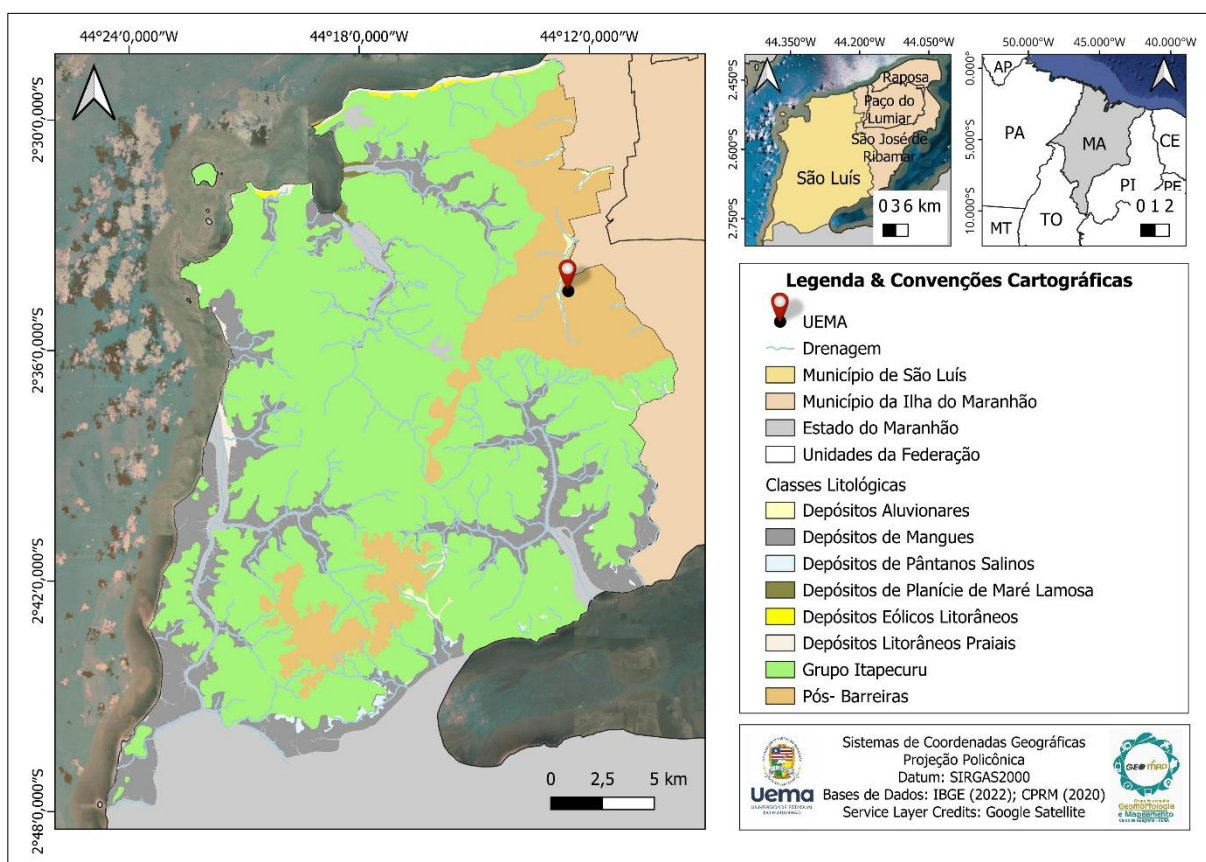
Nesse sentido, foram elaborados mapas temáticos com base em dados cartográficos da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (2020), contemplando as classes litológicas, unidades de relevo, tipos de solos e uso e ocupação do solo. As figuras a seguir (Figuras 15 a

18) sintetizam essa análise, oferecendo uma visão abrangente dos principais elementos que condicionam os processos morfodinâmicos na região avaliada.

A figura 15 apresenta as principais classes litológicas da região. Destaca-se o Grupo Itapecuru, composto por sedimentos consolidados do Cretáceo Inferior, cuja coloração amarelo-avermelhada é atribuída à presença de óxidos de ferro. Esse grupo geológico constitui a base mais antiga da área e representa um substrato resistente, sobre o qual se depositaram camadas mais recentes. Sobre essa formação, encontram-se os sedimentos Pós-Barreiras, que se caracterizam por sua natureza arenosa e areno-siltosa, com coloração variando entre branco e amarelo.

Além dessas formações, também são identificados os depósitos aluvionares, resultantes da ação de rios e enxurradas, e os depósitos eólicos litorâneos, originados da mobilização de sedimentos pela ação do vento, típicos de ambientes praianos e de dunas. Esses materiais apresentam granulometria fina e baixa coesão, o que os torna vulneráveis à erosão por agentes externos.

**Figura 15:** Mapa de litologia do município de São Luís – MA.



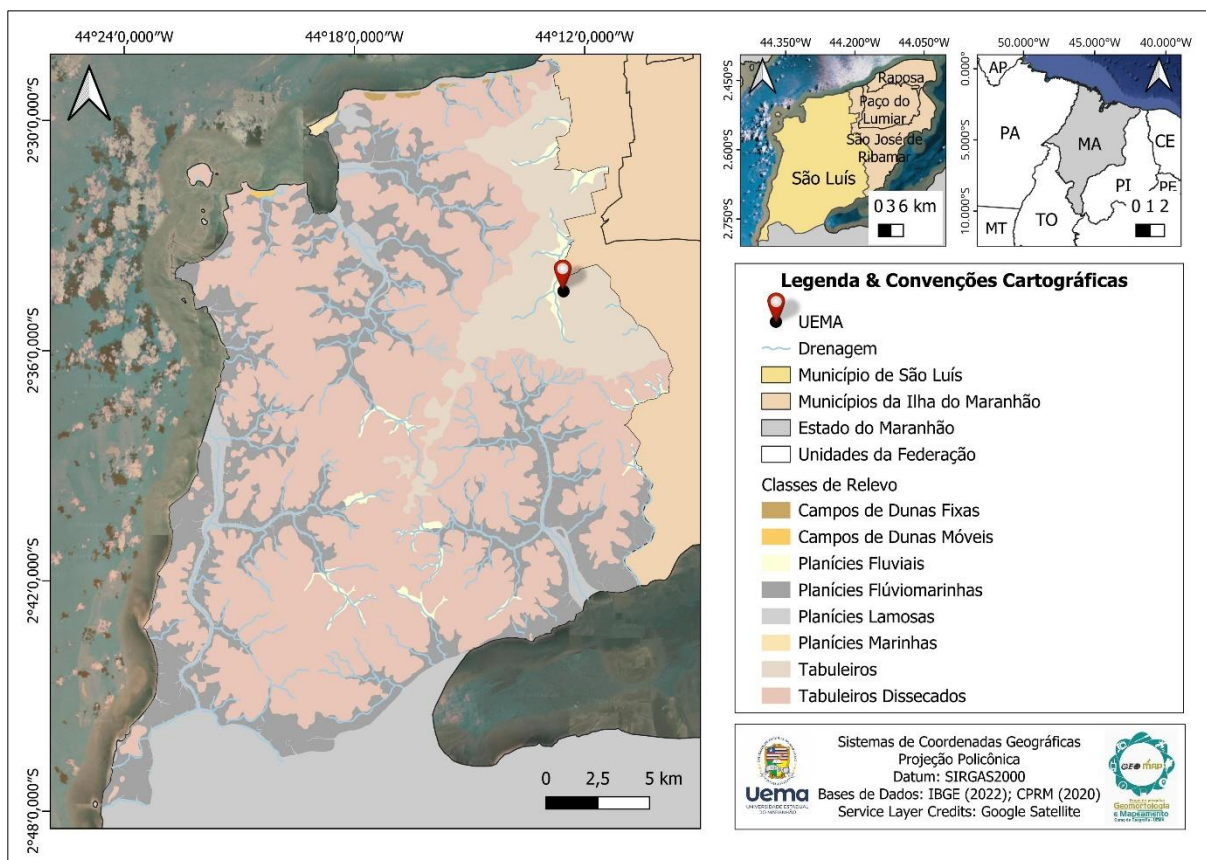
Fonte: Elaborado pela autora (2025)

A figura 16 traz as principais unidades de relevo encontradas na região, revelando uma morfologia bastante diversificada, resultado da interação entre os processos geológicos, climáticos e hidrodinâmicos atuantes na região. A paisagem local é caracterizada pela presença de planícies fluviais, flúviomarinhas e litorâneas, que correspondem a áreas de relevo plano ou suavemente ondulado, frequentemente sujeitas à ação direta das águas continentais e marinhas, o que favorece a sedimentação recente. Também se destacam os campos de dunas móveis e fixas, comuns na faixa costeira, os quais exercem papel relevante na proteção da linha de costa e na dinâmica eólica regional.

Entre as unidades mais expressivas, ressalta-se o tabuleiro dissecado, que representa áreas de altitude intermediária, com topos aplainados e encostas suavemente inclinadas. Essas superfícies são originárias de antigos patamares erosivos e, ao longo do tempo, sofreram intensos processos de dissecação provocados pela ação da drenagem superficial. Trata-se de uma feição geomorfológica predominante na área onde foram instaladas as estações experimentais, conferindo à pesquisa condições ideais para o estudo do escoamento superficial e da perda de sedimentos.

A heterogeneidade do relevo local influencia diretamente a energia do escoamento hídrico, a capacidade de infiltração da água no solo e o padrão de erosão observado nas diferentes vertentes. Regiões com declividade moderada, como os tabuleiros dissecados, tendem a apresentar maior suscetibilidade à erosão linear, especialmente em áreas com cobertura vegetal reduzida. Assim, o conhecimento detalhado das unidades de relevo permite interpretar a gênese dos processos erosivos observados em campo e fundamentar estratégias de conservação e manejo do solo.

**Figura 16:** Mapa de relevo do município de São Luís – MA.



Fonte: Elaborado pela autora (2025)

A figura 17 refere-se à distribuição das principais classes de solos predominantes no município de São Luís, revelando uma expressiva variedade edáfica, diretamente influenciada pela geologia local, pela topografia e pelos processos hidrológicos e marinhos. O solo de maior destaque é o Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico, amplamente presente nas parcelas onde foram instaladas as estações experimentais.

Outra classe importante identificada é o Gleissolo Háptico, predominante em áreas de relevo deprimido e com elevada saturação hídrica. Esses solos estão associados a ambientes mal drenados, como várzeas, manguezais e planícies costeiras, e apresentam alto teor de matéria orgânica em estágio de decomposição, o que favorece a atividade microbiológica, mas limita seu uso agrícola e urbano, devido à instabilidade física e à tendência à compactação quando drenados.

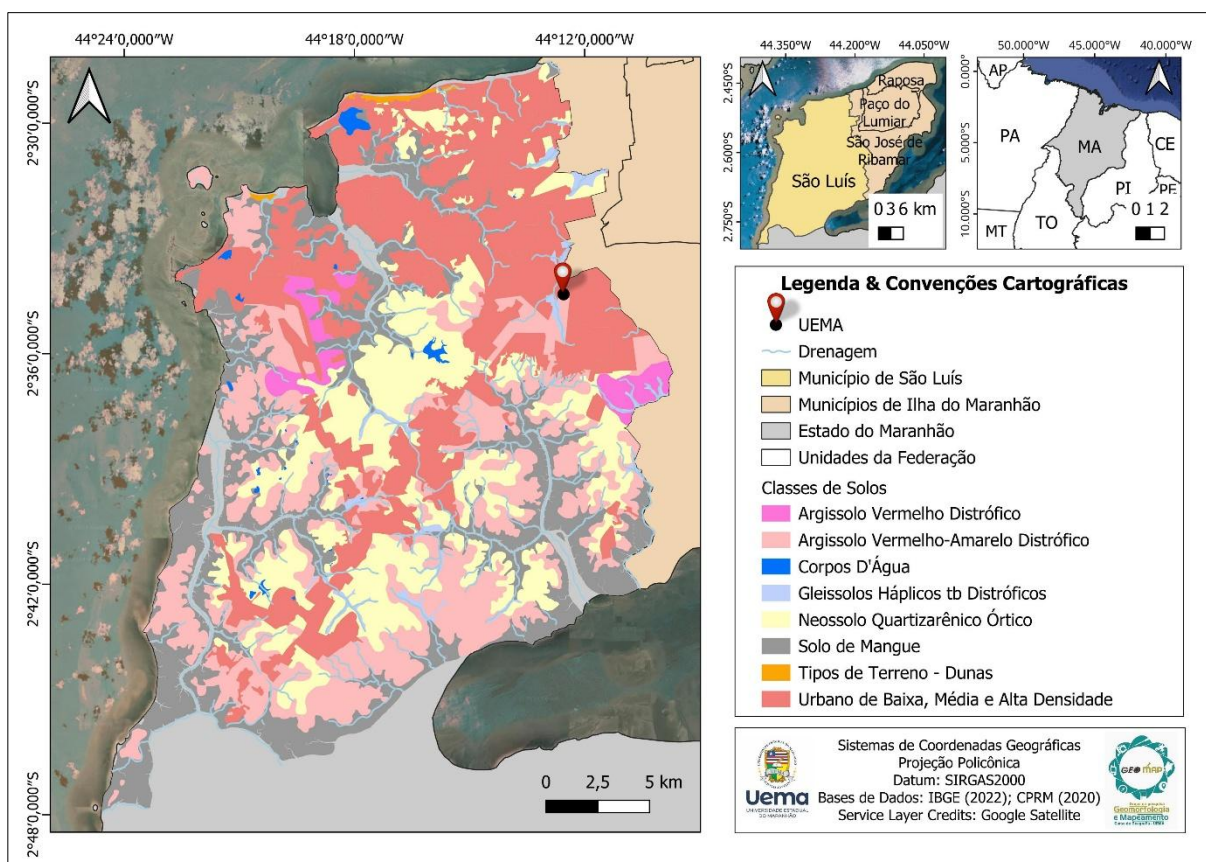
Também se destaca o Neossolo Quartzarênico Órtico, um solo jovem, com baixo grau de desenvolvimento pedogenético e constituído predominantemente por areia quartzosa, o que resulta em baixa capacidade de retenção de água e nutrientes. Sua ocorrência em áreas mais elevadas ou próximas à costa o torna particularmente relevante para estudos de erosão, pois sua



textura leve e solta favorece o escoamento superficial e a perda de sedimentos durante eventos pluviométricos intensos.

Por fim, a presença de solos de mangue, com alto teor de argila e matéria orgânica, reforça a influência da zona costeira e da dinâmica de marés na composição edáfica da região. Esses solos são extremamente importantes para os ecossistemas litorâneos, pois atuam como filtros naturais e zonas de acúmulo de nutrientes, mas também apresentam fragilidade estrutural, sendo sensíveis às alterações do uso do solo e à retirada da vegetação de proteção.

**Figura 17:** Mapa de solos do município de São Luís – MA.



Fonte: Elaborado pela autora (2025)

A figura 18 apresenta as classes de uso e ocupação do solo no município de São Luís. Observa-se uma predominância de áreas urbanizadas, com destaque para os setores de ocupação urbana de alta e média densidade, sobretudo nas imediações das estações experimentais. Essas áreas são caracterizadas pela presença de vias pavimentadas, edificações contínuas, ausência de cobertura vegetal significativa e impermeabilização do solo.

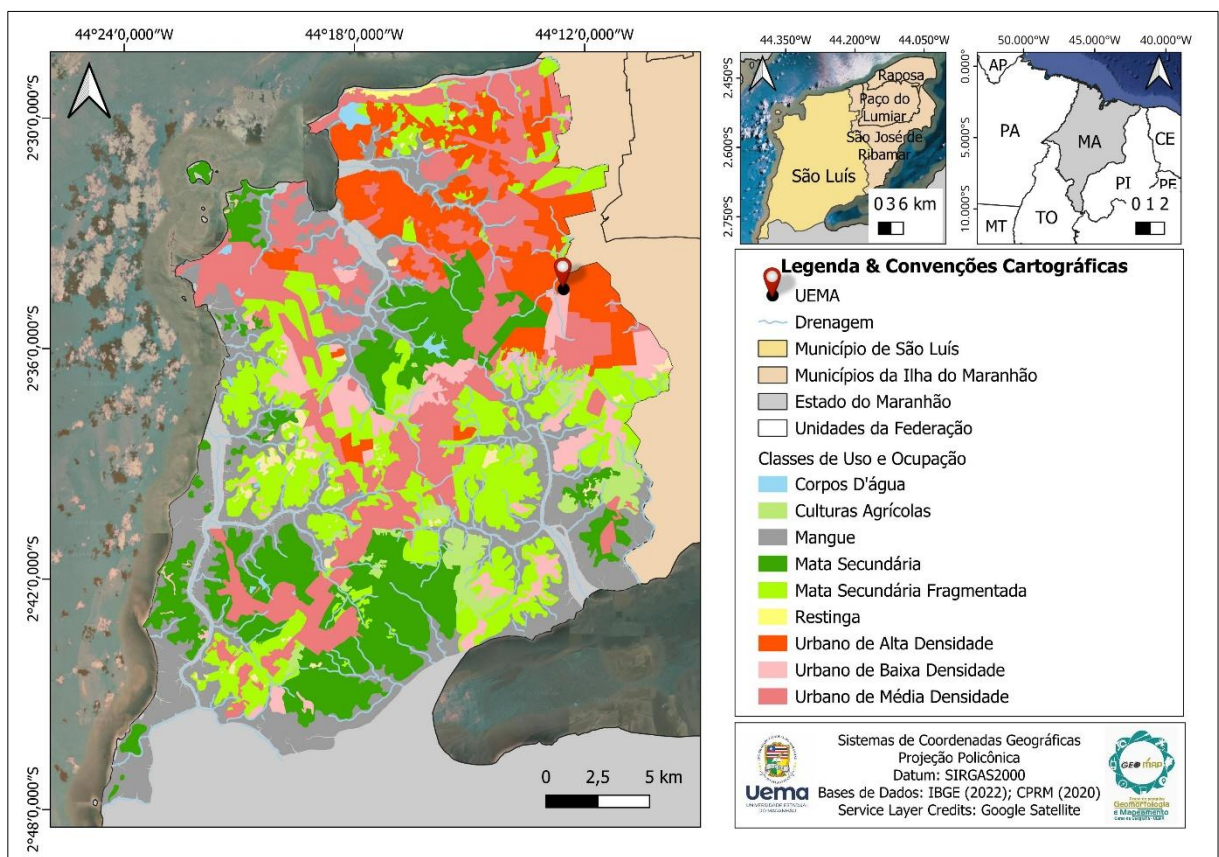
Além do uso urbano consolidado, identifica-se a presença de fragmentos de mata secundária, resultado de regeneração natural ou reflorestamento após a supressão da vegetação

original. Embora não desempenhem a mesma função ecológica de uma vegetação primária, esses fragmentos contribuem para a estabilidade do solo, atuando como barreiras físicas à ação erosiva da água, além de favorecerem a retenção de umidade e a ciclagem de nutrientes.

Outro componente relevante é a vegetação de restinga, presente em áreas costeiras e associada a solos arenosos. Essa vegetação cumpre papel essencial na fixação de dunas, na contenção do avanço do mar e na proteção do solo contra a erosão causada pelos ventos e pela ação das chuvas. Também se destacam os manguezais, ecossistemas altamente produtivos e sensíveis, que ocupam regiões estuarinas e funcionam como áreas de transição entre os ambientes terrestre e marinho. Apesar da sua importância ecológica, esses ambientes sofrem forte pressão devido à expansão urbana e à disposição inadequada de resíduos.

Por fim, observam-se áreas de uso agrícola tradicional, geralmente associadas à agricultura de subsistência e a pequenos cultivos localizados em áreas periféricas ou de menor valor imobiliário. Nessas regiões, a prática agrícola sem manejo adequado pode acelerar os processos de degradação do solo, sobretudo quando associada à ausência de técnicas conservacionistas.

**Figura 18:** Mapa de uso e ocupação do município de São Luís – MA.



Fonte: Elaborado pela autora (2025)

## 5.2 Estações experimentais: índices pluviométricos, escoamento superficial e perda de sedimentos

O município de São Luís apresenta clima quente e úmido, com características típicas do clima Aw segundo a classificação de Köppen-Geiger, ou seja, clima tropical com estação seca bem definida no inverno. A temperatura média anual situa-se em torno de 27 °C, com variações sazonais pouco acentuadas, embora com tendência a temperaturas ligeiramente mais elevadas entre os meses de agosto e novembro (Araújo, 2001; Araújo, 2014).

O regime pluviométrico é marcado por forte sazonalidade, com precipitações concentradas entre os meses de janeiro a junho, quando ocorre a estação chuvosa, com destaque para os meses de março e abril, que concentram os maiores volumes. A estação seca se estende de julho a dezembro, período em que os índices pluviométricos são significativamente reduzidos, muitas vezes com semanas consecutivas sem registro de precipitação.

Os resultados apresentados (Tabela 1) mostram uma análise da precipitação por milímetro (mm), escoamento superficial em litros por metro quadrado (l/m<sup>2</sup>) e perda de sedimentos em gramas por metro quadrado (g/m<sup>2</sup>) em diferentes parcelas experimentais de vegetação gramínea e arbórea ao longo do monitoramento realizado.

As colunas representam os valores de escoamento e sedimentos para duas parcelas de gramínea (a e b) e para as duas parcelas de vegetação arbórea (a e b). Esse estudo permite entender melhor como diferentes ambientes de cobertura vegetal impactam diretamente na retenção de água e proteção do solo contra a erosão hídrica superficial.

**Tabela 1:** Taxas de precipitação (mm), escoamento superficial (l/m<sup>2</sup>) e perda de sedimentos (g/m<sup>2</sup>) das parcelas de experimento obtidos durante o monitoramento das estações experimentais.

Coleta de amostras	Precipitação (mm)	ESGa (l/m <sup>2</sup> )	SEGa (g/m <sup>2</sup> )	ESGb (l/m <sup>2</sup> )	SEGb (g/m <sup>2</sup> )	ESAA (l/m <sup>2</sup> )	SEAA (g/m <sup>2</sup> )	ESAb (l/m <sup>2</sup> )	SEAb (g/m <sup>2</sup> )
02/05/2023	216,6	43	306,95	43	330,16	44	204,57	44	264,25
07/06/2023	129	43	22,45	40	21,04	44	37,67	44	42,84
27/06/2023	83	9	21,81	25	23,90	36	39,12	42	36,95
06/02/2024	238,4	41	9,26	42	3,79	42	17,14	43	25,75
29/02/2024	486	41	3,55	42	3,60	42	18,83	43	37,22
16/03/2024	191,9	40	3,81	40	3,30	39	9,94	37	21,09
27/03/2024	33,1	14	13,61	9	8,47	20	21,89	19	22,44
16/04/2024	100,9	43	12,34	43	2,69	42	9,02	42	39,57

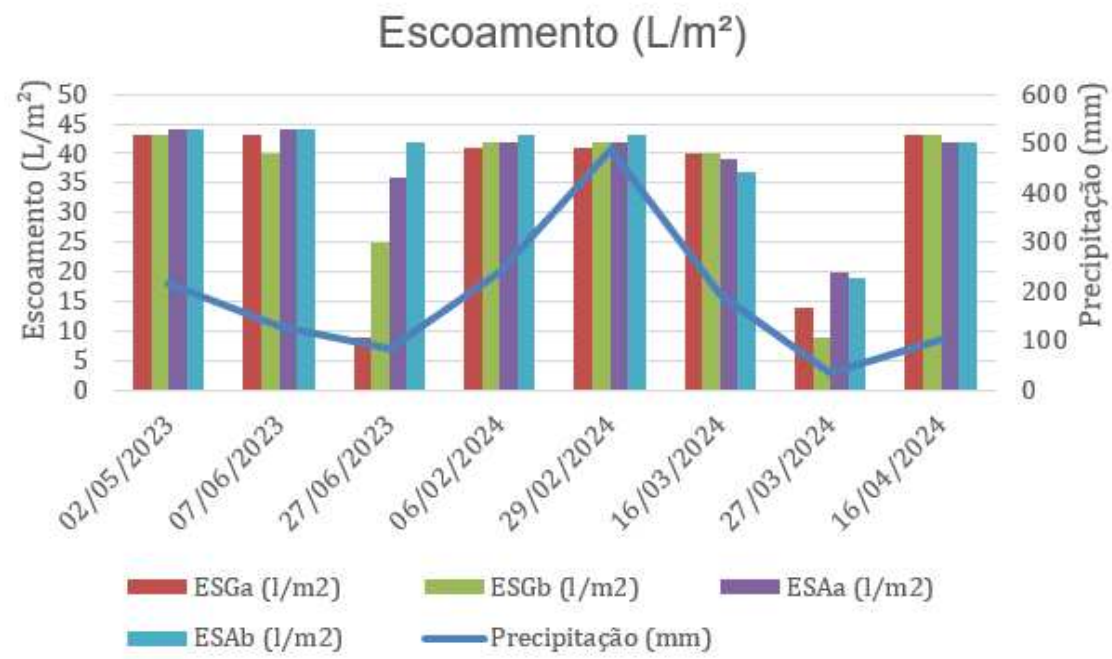
<b>Total</b>	<b>1478,9</b>	<b>274</b>	<b>393,78</b>	<b>284</b>	<b>396,95</b>	<b>309</b>	<b>358,18</b>	<b>314</b>	<b>490,10</b>
--------------	---------------	------------	---------------	------------	---------------	------------	---------------	------------	---------------

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Siglas: Escoamento Gramínea A (ESGa); Sedimento Gramínea A (SEGa); Escoamento Gramínea B (ESGb); Sedimento Gramínea B (SEGb); Escoamento Arbórea A (ESAA); Sedimento Arbórea A (SEAA); Escoamento Arbórea B (ESAb); Sedimento Arbórea B (SEAb).

Os resultados apresentados indicam que as precipitações mais altas tendem a gerar maiores volumes de escoamento e maiores perdas de sedimentos. As taxas de escoamento superficial, em geral, seguem um padrão semelhante à precipitação, com os maiores valores observados nas datas de maior precipitação. No dia 29/02/2024, a precipitação foi a mais alta (486 mm), e os escoamentos foram relativamente constantes entre 41-43 l/m<sup>2</sup> para as diferentes coberturas vegetais. O gráfico 1 apresenta a relação entre o escoamento e a precipitação que as parcelas experimentais obtiveram ao longo do monitoramento.

**Gráfico 1:** Relação entre o escoamento superficial e precipitação das parcelas experimentais.



Fonte: Acervo da pesquisa (2024).

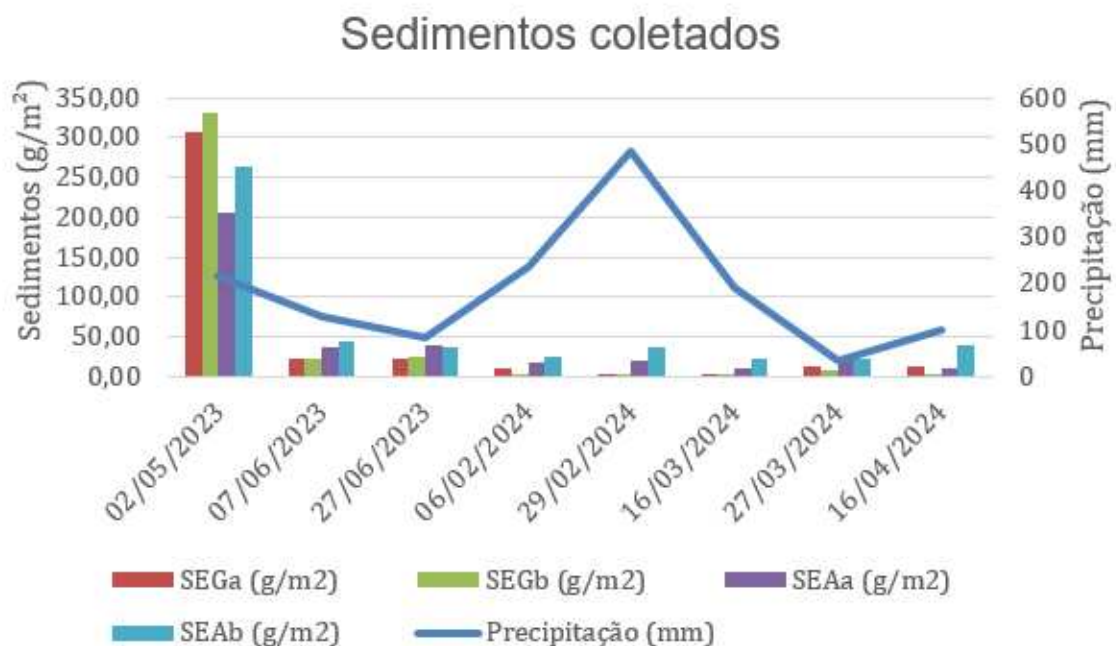
Siglas: Escoamento Gramínea A (ESGa); Escoamento Arbórea A (ESAa); Sedimento Gramínea A (SEGa); Sedimento Arbórea A (SEAA).

Apesar das variações de precipitação, o escoamento das superfícies parece ser mais constante, variando entre 20 a 40 l/m<sup>2</sup> na maior parte das datas. Observa-se ainda que as parcelas reagem de maneira diferente à variação na precipitação, sendo as parcelas da estação arbórea ser a mais influenciada pelos eventos com alta precipitação.



Concernente as taxas de sedimentos, ambas apresentam uma variação mais ampla, não necessariamente correlacionadas de forma linear com o escoamento superficial ou precipitação. Em 02/05/2023, a precipitação foi de 216,6 mm, com altas taxas de sedimento perdidos, especialmente nas parcelas SEGb (330,16 g/m<sup>2</sup>) e SEAb (264,25 g/m<sup>2</sup>). O gráfico 2 apresenta a relação entre a precipitação e a taxa de sedimentação perdida de cada parcela de experimento.

**Figura 2:** Relação entre a precipitação e a taxa de sedimentos das parcelas experimentais.



Fonte: Acervo da pesquisa (2024).

Siglas: Escoamento Gramínea A (ESGa); Escoamento Arbórea A (ESAa); Sedimento Gramínea A (SEGa); Sedimento Arbórea A (SEAa).

Já em 29/02/2024, apesar da precipitação ter sido elevada (486 mm), as taxas de sedimentos foram substancialmente menores, como no caso das duas parcelas com vegetação de gramíneas (3,55 g/m<sup>2</sup> e 3,60 g/m<sup>2</sup>). Demonstrando que às parcelas de vegetação arbórea obteve escoamentos ligeiramente maiores, mas não necessariamente resultam em menores perdas de sedimentos em todas as condições do solo.

As parcelas com cobertura de gramíneas apresentaram maior eficácia na redução do escoamento superficial e na retenção de solo, especialmente em condições de chuva intensa. Com isso, as variações entre as estações experimentais sugerem que diferentes condições de solo respondem de maneira distinta à mesma quantidade de precipitação. Além disso, as perdas de sedimentos são influenciadas pelo tipo de cobertura quanto pela intensidade das chuvas.

Tendo em vista que os resultados estão diretamente relacionados as características específicas do uso de cada sistema de estação experimental.

## **6. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Através dos procedimentos metodológicos utilizados, alcançou-se resultados satisfatório para realização dos objetivos desta pesquisa. Destacou-se ainda a importância do monitoramento contínuo da erosão laminar, para uma análise detalhada dos processos geomorfológicos gerados a partir do escoamento superficial em áreas com diferentes tipos de cobertura vegetal.

As parcelas cobertas por gramíneas apresentaram uma diminuição significativa na perda de sedimentos ao longo do tempo, enquanto a vegetação arbustiva também demonstrou eficácia na contenção da erosão, especialmente após um pico inicial observado devido à compactação do solo durante a instalação das estações.

Os resultados indicaram então que a presença da vegetação desempenha um papel fundamental na redução da perda de solo e na prevenção da erosão, com as parcelas cobertas por gramíneas e vegetação arbustiva mostrando variações significativas nas taxas de escoamento e sedimentação. A análise dos dados ao longo do tempo revelou que, embora o escoamento e a sedimentação sejam inicialmente elevados, especialmente após intervenções no solo, a cobertura vegetal contribui para a estabilização dessas taxas.

Além disso, o uso de estações experimentais e a análise dos parâmetros de escoamento superficial e taxas de sedimentos perdidos fornecem uma abordagem robusta para monitorar e entender os processos erosivos, sendo um avanço metodológico na área, tendo em vista a crescente preocupação dos processos erosivos cada vez mais tendo avanços no cotidiano social.

Portanto, essas contribuições são essenciais para melhorar as práticas de gestão de usos da terra e para a preservação dos recursos naturais, além de auxiliar na mitigação dos efeitos da degradação ambiental, tornando-se crucial a necessidade de intervenções que contribuam para a prevenção da erosão no solo, tendo em vista que as metodologias desta pesquisa estabelecem uma base sólida para estudos futuros, incentivando novas investigações sobre o impacto da vegetação na erosão do solo.

## REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, R. R. **O processo de urbanização na produção do clima urbano de São Luís – MA**. 2001. 217f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2001.
- ARAÚJO, R. R. **Clima e vulnerabilidade socioespacial: uma avaliação dos fatores de risco na população urbana do município de São Luís (MA)**. 2014. Tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2014).
- BACCARO, C. A. D. Os estudos experimentais aplicados na avaliação dos processos geomorfológicos de escoamento pluvial em área de Cerrado. **Revista Sociedade & Natureza**. Uberlândia: Edufu, ns. 9 e 10, p. 55-62, 1993.
- BARBOSA, L. G. **Análise de sistemas em Biogeografia**: estudo diagnóstico da cobertura vegetal da Floresta Nacional de Palmares, Altos, Piauí /Brasil. 2015. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2015.
- BARBOSA, L. G.; GONÇALVES, D. L. A paisagem em geografia: diferentes escolas e abordagens. **Élisée, Revista de Geografia da UEG**, Anápolis, v.3, n.2, p.92-110, 2014
- BERTRAND, G. Paisagem e Geografia Física Global. Esboço metodológico. **RA´e GA – O Espaço Geográfico em Análise**, Curitiba, v. 8, p. 141-152, 2004.
- 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**. 2011. Tese (Doutorado em Geografia – Planejamento e Gestão Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.
- BEZERRA, J. F. R.; GUERRA, A. J. T.; RODRIGUES, S. C. Aplicação de geotêxteis biodegradáveis na redução do escoamento superficial e controle da erosão superficial, Uberlândia-MG. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 12, p. 93-104, 2011.
- BEZERRA, J. F. R.; GUERRA, A. J. T. Geomorfologia e reabilitação de áreas degradadas por erosão com técnicas de bioengenharia. In: **XII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**. Natal, 2007.
- BEZERRA, J. F. R. **Avaliação de geotêxteis no controle da erosão superficial a partir de uma estação experimental, Fazenda do Glória – MG**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Uberlândia. Instituto de Geociências. Programa em PósGraduação em Geografia. 104 p, 2006.
- BEZERRA, J. F. R.; GUERRA, A. J. T.; RODRIGUES, S. C. Monitoramento e avaliação de geotêxteis na recuperação de um solo degradado por erosão, Fazenda Experimental do Glória, Uberlândia – MG. In: **XI Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**. São Paulo. 2005.

BHATTACHARYYA, R. **Utilization of palm-mat geotextiles for soil conservation on arable loamy sands in the United Kingdom. Thesis.** University of Wolverhampton. 352p, 2010.

BHATTACHARYYA, R.; SMETS, T.; FULLEN, M. A.; POESEN, J.; BOOTH, C. A. Effectiveness of geotextiles in reducing runoff and soil loss: A synthesis. In: **Catena** 81, p. 184-195, 2010.

BURNETT, F. L. Metropolização e gestão urbana na Ilha do Maranhão: efeitos socioambientais da produção imobiliária de baixa renda. **Revista de Políticas Públicas**, p. 353-361, 2012.

BURNETT, F. L.; FERREIRA, E. A. Relatório N° 20 – município de São Luís: avaliação da Lei N° 4669/2006. In: SANTOS JÚNIOR, O. A.; MONTANDON, D. T. **Os planos diretores municipais pós-estatuto da cidade: balanço crítico e perspectivas.** Rio de Janeiro: Letra Capital: Observatório das Cidades: INPUR/UFRJ, 2011.

CARVALHO, N. L.; BARCELLOS, A. L. Educação ambiental: importância na preservação dos solos e da água. **Revista Monografias Ambientais**, v. 16, n. 2, 2017.

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

CPRM – COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS; Barros, S. B.; Bandeira, I. C. N. **Geodiversidade da Ilha do Maranhão.** Teresina – PI, 2020.

COSTA, Y. T.; RODRIGUES, S. C. Relação entre cobertura vegetal e erosão em parcelas representativas de Cerrado, **Rev. Geogr. In: Acadêmica.** v. 9, n. 2, 2015.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** Rio de Janeiro: Embrapa, 2018.

FERREIRA, V. G. S. **Atributos químicos e físicos do solo diante dos usos da terra na microrregião de Caxias - MA.** 2023. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Natureza e Dinâmica do Espaço, Universidade Estadual do Maranhão, Maranhão, 2023.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Status of the World's Soil Resources.** Roma: ITPS, 2015.

FULLEN, M. A.; CATT, J. A. Soil Management: Problems and Solutions. Arnold Publishers. **London**, 269p, 2004.

FULLEN, M. A.; GUERRA, A. J. T. The potencial of palm (Borassus) mat geotextiles as a soil conservation technique. In: **IV Simpósio Nacional de Geomorfologia.** São Luís, 2002.

FUSHIMI, M.; RIBEIRO, D. Q.; NUNES, J. O. R. Vulnerabilidade ambiental aos processos erosivos lineares da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, Amazônia Oriental. **Revista Do Departamento De Geografia (USP)**, v. 42, p. 1-16, 2022.

GOUDIE, A. S. Human impact. In: Goudie, A. & Migón, P. (eds.). **Landscapes and landforms of England and Wales**. World Geomorphological Landscapes. Springer Nature Switzerland AG, 2020. chap. 4, 16 p.

GUERRA, A. J. T. **Geomorfologia e Planejamento Ambiental – Conceitos e Aplicações**. Revista de Geografia. V. 35, No. 4. Recife-PE, 2018.

GUERRA, A. J. T. **Erosão dos solos e movimentos de massa: abordagens geográficas**. Curitiba: CRV, 2016. 222 p.

GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. C. O. Orgs. **Degradação dos Solos no Brasil**. Editora Bertrand Brasil, 315p, 2014.

GUERRA, A. J. T. **Geomorfologia urbana**. Ed. Bertrand Brasil. Rio de Janeiro-RJ, 2011.

GUERRA, A. J. T. Processos erosivos nas encostas. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Orgs.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 9ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009. p.149-197.

GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. **Erosão e Conservação dos Solos: conceitos, temas e aplicações**. 2ª Ed. Rio de Janeiro. Bertrand Brasil. 2005.

GUERRA, A. J. T. Experimentos e monitoramentos em erosão dos solos. **Revista do Departamento de geografia**, v. 16, p. 32-37, 2005.

GUERRA, A. J. T. (2005). **Processos Erosivos nas Encostas. In: Geomorfologia – uma Atualização de Bases e Conceitos**. Orgs. A.J.T. Guerra e S.B. Cunha. Ed. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 6. ed. p. 149-209.

GUERRA, A. J. T. (2002). **Processos Erosivos nas Encostas. In: Geomorfologia - Exercícios, Técnicas e Aplicações**. Orgs. S.B. Cunha e A.J.T. Guerra. Ed. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 2.ed. p. 139-155.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia: exercícios, técnicas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996.

GUERRA, A. J. T. (1996). Técnicas e métodos utilizados no monitoramento dos processos erosivos. **Sociedade e Natureza**, 15. p. 15-19.

GUERRA, A. J. T. (1991). **Soil characteristics and erosion, with particular reference to organic matter content**. Tese de Doutorado, Universidade de Londres. 441 p.

GUO, M., CHEN, Z., WANG, W., WANG, T., WANG, W., CUI, Z. (2021). **Revegetation induced change in soil erodibility as influenced by slope situation on the Loess Plateau**. Science of The Total Environment, 772, 145540.

GUTIERRES, H. E. P.; SILVA, O. G.; SILVA, C. S.; GUERRA, A. J. T. Monitoramento de voçorocas na barragem Serro Azul, Mata Sul do estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 24, p. 1-27, 2023.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Brasileiro de 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022.

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.

KUHN, N. J.; GREENWOOD, P.; FISTER, W. Use of field experiments in soil erosion research. In: THORNBUSH, M. J.; ALLEN, C. D.; FITZPATRICK, F. A. (ed.). **Geomorphological Fieldwork**. Developments in Earth Surface Processes, v. 18, 2014, chapter 5.1, p. 175-200.

LAL, R. Soil degradation by erosion. **Land Degradation & Development**, Chichester, v. 12, n. 6, p. 519-539, 2001.

LANZA, D. S. **Diagnóstico da erosão laminar na alta e média bacia do rio Paraopeba**. 2011. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais, 2011.

LEPSCH, I. F. **Formação e Conservação dos Solos**. São Paulo: Oficina de Textos, São Paulo, 2002.

LISBOA, G. S.; BEZERRA, J. F. R. Análise das propriedades física do solo dos processos erosivos acelerados na bacia do rio bacanga: o caso das voçorocas torres e cepromar. **Revista Contexto Geográfico**, v. 8, p. 63-77, 2023.

LOUREIRO, H. A. S. **Monitoramento e diagnóstico de áreas degradadas na bacia hidrográfica do rio São Pedro (RJ): estudos experimentais em voçoroca e utilização de geotêxteis de fibra de bananeira**. 2013. Dissertação (Mestrado em Geografia – Planejamento e Gestão Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

MAGALHÃES, A. C.; BATISTA, D. R.; CARDOSO, E. J.; VIEIRA, E. B.; ANDRADE, E. J. D.; BARBOSA, F. E.; COSTA, L. S.; GOMES, M. L.; PAULA, M. H. S.; ANDRADE, O. D.; SILVA, R. G.; PINTO, R. M.; FONSECA, T. M.; LEAL, V. A. O.; LEÃO, M. S.; FREITAS, B. A. **A importância dos solos para o ecossistema**. 2015.

MARQUES NETO, R. Considerações sobre a paisagem enquanto recurso metodológico para a Geografia Física. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v.9, n.26, p. 243-255, jun. 2008.

MAXIMIANO, L. A. Considerações sobre o conceito de paisagem. **RAÍZES**, Curitiba, v. 8, p. 83-91, 2004.

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

MORGAN, R. P. C. (1986). Soil erosion and conservation. **Longman Group**, Inglaterra. 298p.

NUNES, J. O. R.; SANT'ANNA NETO, J. L.; GARCIA TOMMASELLI, J. T.; TRINDADE AMORIM, M. C. C.; PERUSI, M. C. A influência dos métodos científicos na Geografia Física. **Terra Livre**, v. 2, n. 27, p. 121–132, 2015.

NUNES, M. C. M. **Erosão hídrica em entressulcos de latossolos do Rio Grande do Sul**. Tese de Doutorado em Ciência do Solo, Programa de PósGraduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS. (160 p.) Julho, 2006.

NUNES, J. O. R. Os novos ritmos da natureza. In: ENCONTRO ESTADUAL DE GEOGRAFIA - Território, Sociedade e Natureza: novas dinâmicas espaciais, 24, 2004, [s.l]. **Anais [...]**, [s.l]. 1-9, 2004.

PASSOS, M. M. **Biogeografia e Paisagem**. 2. ed. Maringá: UEM, 2003.

PENTEADO, M. M. **Fundamentos de Geomorfologia**. Rio de Janeiro: IBGE. 1980.

PEREIRA, L. S. **Análise Hidroerosiva de Trilha em Encosta e Métodos e Técnicas de Educação Ambiental Visando à Geoconservação**. 2019. Tese (Doutorado em Geografia – Planejamento e Gestão Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C.; PINHEIRO JUNIOR, C. R.; PINTO, L. A. S. R.; SILVA NETO, E. C.; FONTANA, A. Formação e caracterização de solos. In: TULLIO, L. (Org.). **Formação, classificação e cartografia dos solos**. Ponta Grossa: Atena Editora, 2019.

PEREIRA, P. R. M. **As transformações históricas e a dinâmica atual da paisagem do município de Pedro do Rosário, Baixada Maranhense - MA**. 2017. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2017.

PEREIRA, L. S. **Análises Físico-Químicas de Solos com Distintas Coberturas Vegetais e Processos Hidroerosivos em Área Degradada na Bacia do Rio Maranduba - Ubatuba, São Paulo**. 2015. Dissertação (Mestrado em Geografia – Planejamento e Gestão Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

PINESE JÚNIOR, J. F.; CRUZ, L. M.; RODRIGUES, S. C. Monitoramento de erosão laminar em diferentes usos da terra, Uberlândia-MG. **Sociedade & natureza**, v. 20, p. 157-175, 2008.

POESEN, J. Soil erosion in the Anthropocene: Research needs. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 43, p. 64-84, 2018.

ROCHA, S. A. Geografia Humanista: história, conceitos e o uso da paisagem percebida como perspectiva de estudo. Raega - **O Espaço Geográfico em Análise**, [S.l.], v. 13, jun. 2007.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia: ambiente e planejamento**. 9ª ed. Editora Contexto. São Paulo-SP, 2014.

ROSS, J. L. S.; FIERZ, M. S. M. **Algumas técnicas de pesquisa em Geomorfologia**. In: VENTURI, L. A. B. (org.). **Praticando Geografia – técnicas de campo e laboratório**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 69-84

SALOMÃO, F. X. T. Controle e prevenção dos processos erosivos. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. 3. ed. Rio de Janeiro: Bertand, 2009. 339 p.

SANTOS, B. S. **Um discurso sobre as ciências**. São Paulo: Cortez, 2008.

SANTOS, M. 2000. **Por uma outra globalização: do Pensamento Único à Consciência Universal**. Rio de Janeiro: Ed. Record, 174 p.

SCHIER, R. A. Trajetórias do conceito de paisagem na geografia. **RA'E GA**, Curitiba, v. 7, p. 79-85, 2003.

SEEGER, M. Experiments as tools in geomorphology. **Cuadernos de Investigación Geográfica**, v. 43, n. 1, p. 7-17, 2017.

SILVA, L. F. T.; BEZERRA, J. F. R.; GUERRA, A. J. T. Implicações da mudança na cobertura vegetal em relação à erosão na sub-bacia hidrográfica do rio São Pedro – RJ. **Revista Geonorte**, V.1, N.6, p.1–16, 2012.

SLAYMAKER, O. **Field experiments and measurement program in Geomorphology**. Vancouver: Balkema and UBC Press, 1991. 224 p.

SOARES, I. G. **Análise da vulnerabilidade ambiental ao processo erosivo como subsídio ao planejamento e à gestão ambiental na bacia hidrográfica do Rio Preto - MA**. 2021. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Natureza e Dinâmica do Espaço, Universidade Estadual do Maranhão, Maranhão, 2021.

SOTCHAVA, V. B. O estudo do geossistema. In: **Instituto Geográfico do Estado de São Paulo**. Série Métodos em Questão: p. 1-51, 1978.

SOUSA, M. M. M.; PALÁCIO, H. A. Q.; RIBEIRO FILHO, J. C.; ARAÚJO NETO, J. R.; MOURA, M. M. S. Influência da cobertura vegetal nas perdas de água e solo em parcelas de erosão no Semiárido Brasileiro. **Revista Geonorte**, edição especial 5, v.7, n. 26, p.160-171, 2016.

SOUZA, M. L. O enfoque da Geografia Ambiental como Aufhebung: Rejeitando o dualismo, abraçando a dialética. **AMBIENTES: Revista de Geografia e Ecologia Política**, v. 3, n. 1, p. 09–82, 2021.

SOUZA, C. Y. V; PEREIRA, F. S. G. Geografia: relações científicas e análise de métodos. **Revista Cerrados**, v. 15, n. 02, p. 347–367, 2017.

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



SUERTEGARAY, D. M. A. Espaço geográfico uno e múltiplo. **Scripta Nova: Revista electrónica de Geografía y Ciencias Sociales**, Universidade de Barcelona, v.5, n. 79-104, p.1-10, jul. 2001.

SUERTEGARAY, D. M. A.; NUNES, J. O. R. A natureza da Geografia Física na Geografia. **Terra Livre**. n. 17, 2001.

THORNBURY, W. **Principles of Geomorphology**. Wiley, New York, 1954.

TOWNSEND, C. R.; BEGON, M.; HARPER, J. L. **Fundamentos em ecologia**. 2. ed. Porto Alegre, Artmed, 2006. 592 p.

TRICART, J. P. Geomorphology for development and development for Geomorphology. In: **International Geomorphology**. John Wiley & Sons. University of Manchester, 1986.

VIANA, J. D. **Estudo dos fatores controladores dos processos erosivos em área urbana: caso da voçoroca na cidade de Bom Jesus das Selvas/MA**. 2019. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Natureza e Dinâmica do Espaço, Universidade Estadual do Maranhão, 2019.

VIDAL, B. S. **A expansão da soja na Amazônia Setentrional: mudanças ambientais em Roraima**. 2024. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Amazonas, Amazonas, 2024.

VOLK, L. B. S. **Condições físicas da camada superficial do solo resultantes do seu manejo e indicadores de qualidade para redução da erosão hídrica e do escoamento superficial**. Tese de Doutorado em Ciência do Solo, Programa de PósGraduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS. (149 p.) Setembro, 2006.