



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS (CFCH)
DEPARTAMENTOD E CIÊNCIAS GEOGRÁFICAS**

RAUL GOMES DA SILVA

**APLICAÇÃO MULTITEMPORAL DE MODELO
HIDROSSEDIMENTOLOGICO USLE EM UMA MICROBACIA DO AGRESTE
PERNAMBUCANO: INDICAÇÕES PARA ENSINO DO SOLO.**

Recife

2022

RAUL GOMES DA SILVA

**APLICAÇÃO MULTITEMPORAL DE MODELO
HIDROSEDIMENTOLÓGICO USLE EM UMA MICROBACIA DO AGRESTE
PERNAMBUCANO: INDICAÇÕES PARA ENSINO DO SOLO.**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Departamento de Ciências
Geográficas da Universidade Federal de
Pernambuco, como requisito parcial para a
obtenção de grau de Licenciado em
geografia.

Orientadora: Profa. Dra. Danielle Gomes
da Silva Liso

**Grupo de Estudos em Mapeamento
Geomorfológico e do Quaternário
Continental – GEODEQC (UFPE).**

Recife

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Silva, Raul Gomes da.

Aplicação multitemporal de modelo hidrossedimentológico USLE em uma microbacia do agreste pernambucano: indicações para ensino do solo. /Raul Gomes da Silva. - Recife, 2022.

83 : il., tab.

Orientador(a): Danielle Gomes da Silva Listo

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Geografia - Licenciatura, 2022.

Inclui referências, apêndices.

1. Geomorfologia. 2. Pedologia. 3. Erosão dos solos. 4. Geologia. I. Listo, Danielle . (Orientação). II. Título.

550 CDD (22.ed.)

RAUL GOMES DA SILVA

**APLICAÇÃO MULTITEMPORAL DE MODELO
HIDROSEDIMENTOLÓGICO USLE EM UMA MICROBACIA DO AGRESTE
PERNAMBUCANO: INDICAÇÕES PARA ENSINO DO SOLO.**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Departamento de Ciências
Geográficas da Universidade Federal de
Pernambuco, como requisito parcial para a
obtenção de grau de Licenciado em
geografia.

Recife, 21 de julho de 2022.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 DANIELLE GOMES DA SILVA LISTO
Data: 18/05/2023 15:49:32-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Danielle Gomes da Silva Listo - Orientadora
Docente do Departamento de Ciências Geográficas – UFPE

Prof. Dr. Fabrizio de Luiz Rosito Listo
Docente do Departamento de Ciências Geográficas – UFPE

Profa. MSc. Sinara Gomes de Sousa
Docente do Departamento de Geociências - URCA

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus, por todas as bênçãos concedidas e privilégios em minha vida, que lhe seja dada toda honra e glória.

A Profa. Dra. Danielle Gomes da Silva Listo, por toda a paciência, profissionalismo, e carisma ao exercer sua função de professora e orientadora. Agradeço pelos ensinamentos, pelos esforços, oportunidades, desabafos e por ser um dos melhores exemplos de professora e pessoa que já presenciei, que Deus possa continuar lhe iluminando hoje e sempre.

Ao Prof. Dr. Fabrizio de Luiz Rosito Listo, por tantas vezes que me apoiou e colaborou imprescindivelmente com minha formação como profissional, e por ser um exemplo tão forte de profissionalismo, excelência e amizade.

Prof. Dr. Lucas Costa de Souza Cavalcanti por me receber tão bem em tantas disciplinas, por me passar tanto conhecimento, por sempre ser tão entusiasmado e carismático.

A Profa. Dr. Talitha Lucena de Vasconcelos pelos ensinamentos prestados, por ser um exemplo de resiliência e profissionalismo, a quem devo muita admiração.

O Prof. Dr. Antônio Vicente Ferreira Júnior por ter sido tão receptivo e prestativo comigo durante minha breve passagem pelo departamento de oceanografia, por contribuir demais minha aprendizagem em tão pouco tempo de aulas.

A Profa. Dra. Luciana Dantas dos Santos por prestar tanta ajuda e informação no Laboratório de Oceanografia Geológica.

A Luis Henrique Bezerra Alves por tanto companheirismo e ensinamentos.

Sandro Barbosa por ter sido tão colaborativo e promissor durante nossos estudos.

Aos Prof. Dr. Rui Batista Pordeus e Prof. Osvaldo Girão da Silva pela paciência e milhares de dúvidas respondidas ao longo de minha graduação.

Ao Prof. Msc. Josias Ivanildo Flores de Carvalho pelas indicações de leitura e todo o carisma do mundo.

A Sidney Marinho da Silva por disponibilizar os dados de sua pesquisa e pela grande amizade.

A meus amigos de graduação, João Pedro Cabral, Leonardo Cristiano, Karen Carvalho, Fellipe Araújo, Matheus Arruda, Humberto Costa, Adelino Francisco Júnior, Marcelo Sanches, Natália Larissa, Daniel Oliveira, José Henrique, por tantas risadas,

abraços, piadas, descontrações, e tudo que me fez me sentir querido na universidade, obrigado por sempre serem verdadeiros comigo.

Em especial, aos amigos Fernanda Thais de Oliveira Cabral, Matheus Vinicius Avelino de Menezes, Wendell Lopes da Silva e Thiago Elias da Silva, por serem sempre tão verdadeiros e parceiros comigo, por nunca se negarem a me prestar qualquer auxílio mesmo quando não fosse possível, e por toda amizade, e cada momento juntos nessa trajetória, oro por vocês todos os dias, e que possamos levar nossa amizade pelo resto da vida.

A Universidade Federal de Pernambuco por contribuir em minha formação.

A Conselho Nacional de Pesquisas (CNPq) pelo financiamento de minhas bolsas de iniciação científica.

A minha família, meus pais, Rinaldo e Valdirene, por me propiciarem uma educação tão boa, por tanto carinho e valores que me ensinaram, pelo suporte incondicional em todos os momentos, minha irmã Regina, e minha namorada, Samara e toda a sua família, por tudo, obrigado por tudo mesmo, não tem como resumir em palavras o quão sou grato.

*O SENHOR é o meu pastor, e nada me
faltará.*

(Salmos 23:1)

RESUMO

Conforme o passar dos anos, a compreensão da dinâmica das paisagens está a tornar-se cada vez mais uma necessidade na nossa sociedade. O mau uso do solo, assim como o uso abusivo de seus recursos naturais são em geral, um pré-requisitos para um futuro incerto em termos de conservação do solo e da vida que este suporta. Um dos processos superficiais mais perturbado por influências antropogênicas é a erosão do solo, que ocorre principalmente através do uso imoderado ou da exploração do solo em condições extremas, majoritariamente através do desmatamento e da implantação do cultivo ou da criação de pastagens sem estudos de precaução. Devido a estes processos em questão, este estudo baseia-se em um método baseado próprio a utilização de práticas de conservação, por viés de modelos matemáticos para quantificar a erosão do solo. O modelo utilizado para este estudo foi a Equação Universal de Perda de Solos (USLE), este modelo tem em conta fatores naturais e antrópicos que podem ser avaliados com a ajuda da geotecnologia. O estudo para mensurar a perda média de solo na área de estudo foi definida na escala temporal de análise de 21 anos, com último ano dos cenários envolvidos finalizando em 2021. A definição da álgebra de mapas proposta pela metodologia da USLE conclui a perda de solos média para a área de estudo foi de 2,11tons/ano. Conforme as características predominantes da área de estudo, à baixa espessura da vegetação local em conjuntura com a rugosidade e declividade do terreno se demonstraram fatores de extensão dos processos erosivos na região. E diante destes critérios, mesmo com a extensa antropização da paisagem rural do município pela agricultura e pastagem, a área de estudo obteve uma taxa média considerada baixa no que cerne a produção de sedimentos. Estes valores amenos de erosão identificados pela USLE são coniventes com os níveis de pluviosidade leves a moderados na microbacia, onde, em conjuntura com a baixa declividade local, acaba por resultar em dinâmicas discretas no tocante a erosão pluvial. Por intermédio deste aporte teórico desenvolvido com uso da USLE, foi proferido um plano de ensino para representar estes resultados de maneira que se adeque as necessidades do ensino em nível escolar, principalmente para estudantes em nível de ensino médio. Para atender a esta demanda, foi proposto a aplicação de um modelo de simulação de erosão, onde obteve-se como conclusão que, a USLE propôs um arcabouço teórico de extrema qualidade, no qual pode se adequar perfeitamente as demandas de uma aula didática, informativa, e que possa trazer benefícios acerca da conscientização sobre erosão dos solos no país. O experimento de erosão se mostrou adequado, uma vez que o estudante compreende de maneira didática os processos de intensidade de erosão hídrica em vertentes, relacionada as formas de uso e cobertura da terra.

Palavras-chave: Equação Universal de Perda dos Solos, Erosão dos solos, Plano de Aula.

ABSTRACT

As the years go by, understanding the dynamics of landscapes is increasingly becoming a necessity in our society. Misuse of land, as well as misuse of its natural resources, are generally a prerequisite for an uncertain future in terms of conservation of the soil and the life it supports. One of the surface processes most disturbed by anthropogenic influences is soil erosion, which occurs mainly through immoderate use or exploitation of the soil under extreme conditions, mostly through deforestation and the establishment of cultivation or grazing without precautionary studies. Due to these processes in question, this study is based on a method based on the use of conservation practices themselves, through the use of mathematical models to quantify soil erosion. The model used for this study was the Universal Soil Loss Equation (USLE), this model takes into account natural and anthropic factors that can be evaluated with the help of geotechnology. The study to measure the average soil loss in the study area was defined in the time scale of analysis of 21 years, with the last year of the scenarios involved ending in 2021. The definition of the map algebra proposed by the USLE methodology concludes the average soil loss for the study area was 2.11 tons/year. According to the predominant characteristics of the study area, the low thickness of the local vegetation in conjunction with the roughness and slope of the terrain have been shown to be factors in the extension of erosive processes in the region. In view of these criteria, even with the extensive anthropization of the rural landscape of the municipality by agriculture and pasture, the study area obtained an average rate considered low in terms of sediment production. These mild values of erosion identified by the USLE are consistent with the light to moderate levels of rainfall in the watershed, which, in conjunction with the low local slope, end up resulting in discrete dynamics regarding rainfall erosion. Through this theoretical contribution developed with the use of the USLE, a teaching plan was proffered to represent these results in a way that suits the needs of teaching at the school level, especially for students at the high school level. To meet this demand, the application of an erosion simulation model was proposed. The conclusion was that the USLE proposed a theoretical framework of extreme quality, which can perfectly suit the demands of a didactic and informative class, and which can bring benefits about the awareness of soil erosion in the country. The erosion experiment proved to be adequate, once the student understands in a didactic way the intensity processes of water erosion on slopes, related to land use and land cover.

Keywords: Lesson Planning, Soil Erosion, Universal Soil Loss Equation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma da pesquisa	16
Figura 2 - Mapa de localização e hipsometria da área de estudo	19
Figura 3 - Distribuição de granitoides na Província Borborema	23
Figura 4 - Mapa Geológico da área de estudo	25
Figura 5 - Mapa Geomorfológico da área de estudo	29
Figura 6 - Mapa Pedológico da área de estudo	35
Figura 7 - Simulação do experimento em animação	46
Figura 8 - Mapa USLE para potencial de perda de solos (Ton/ha.ano)	48
Figura 9 - Incidência da perda de solo acima de 50ton/ha.ano sobre Índice de Vegetação Ajustado ao Solo	51
Figura 10 - Incidência da perda de solo acima de 50ton/ha.ano sobre mapa de uso do solo	54
Figura 11 - Incidência da perda de solo acima de 50ton/ha.ano sobre mapa pedológico	56
Figura 12 - Incidência da perda de solo acima de 50ton/ha.ano sobre mapa geomorfológico	58
Figura 13 – Experimento de erosão hídrica	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores do fator K -----	43
Tabela 2 - Fator CP para usos do solo -----	44
Tabela 3 - Classes de potencial de perda de solos e distribuição -----	49
Tabela 4 - Estatísticas da USLE em Ton/ha.ano -----	50
Tabela 5 - Plano de aula proposto -----	59

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

USLE - Equação Universal de Perda de Solos
RUSLE - Equação Universal de Perda de Solos Revisada
WEPP – Water Erosion Prediction Project
SWAT – Soil and Water Assessment Tool
LISEM - Limburg Soil Erosion Model
EROSEM - European Soil Erosion Model
MDT – Modelo Digital do Terreno
SIG - Sistema de Informação Geográfica
SRTM - Shuttle Radar Topography Mission
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
BDIA - Banco de Dados de Informação Ambiental
CPRM - Serviço Geológico Brasileiro
NE - Nordeste
SW - Sudeste
ONU – Organização das Nações Unidas
IVAS – Índice de Vegetação Ajustado ao Solo
IVDN - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada
ZCIT – Zona de Convergência Intertropical
TSM – Temperatura de Superfície do Mar
ENOS – El Niño Oscilação Sul
FPA – Frente Polar Atlântica
APAC - Associação Pernambucana de Águas e Clima
SIBICS – Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Agropecuária
ZAPE – Zoneamento Agroecológico de Pernambuco
ASF - Alaska Satellite Facility
FAO – Food and Agriculture Organization
USGS – United States Geological Survey
BNCC – Base Nacional Comum Curricular

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Justificativa	15
1.2 Objetivos	16
1.3.1 Objetivo Geral	16
1.3.2 Objetivos específicos	16
2 REVISÃO DA LITERATURA	17
2.1 Erosão	17
2.1.1 Erosão Laminar	18
2.1.2 Erosão Linear	18
2.1.2 Consequências da Erosão	19
2.2 Modelos Matemáticos Para Prevenção de Erosão	20
2.2.1 Universal Soil Loss Equation (USLE)	21
2.3 Aplicação socioambiental da pesquisa científica para o ensino de geografia em nível escolar: um projeto pedagógico de ensino em erosão dos solos	22
3 MATERIAIS E MÉTODOS	25
3.1 Caracterização da área de estudo	26
3.1.1 Localização	26
3.1.2 Geologia	28
3.1.3 Geomorfologia	35
3.1.4 4 Climatologia	40
3.1.5 5 Pedologia	42
3.1.6 6 Vegetação	47
3.2 Modelos Matemáticos	49

3.3 Proposta de plano de aula	53
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
4.1 USLE (Pluviosidade entre anos 2000 e 2021)	55
4.2 Fator vegetação	58
4.3 Fator uso da terra	61
4.4 Fator Pedológico	63
4.5 Fator Geomorfológico	65
5 APLICAÇÃO PEDAGOGICA, USO DE MATERIAL CIENTÍFICO PARA DIFUSÃO DO CONHECIMENTO SOBRE EROSÃO DOS SOLOS EM NÍVEL ESCOLAR	68
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	72
REFERÊNCIAS	74

1 INTRODUÇÃO

Ao longo dos últimos anos, o entendimento da dinâmica paisagem passou a ser cada vez mais uma necessidade dentro nossa sociedade. O mau uso do solo, bem como o abuso de seus recursos naturais, serve de pressuposto para um futuro incerto no tocante a conservação dos solos, tal como a vida que ele sustenta. Para isso, os estudos geomorfológicos tiveram que cada vez mais, expandir seus horizontes, e compreender toda a dinâmica dos ecossistemas terrestres em diversas escalas, sejam elas locais, até mesmo em propostas de visão continentais.

A evolução das paisagens, sobretudo em regiões tropicais, quando relacionadas a processos naturais superficiais, tais como a pedogênese e morfogênese, propõe uma gama de metodologias para compreensão das mudanças nas feições da paisagem como um todo, e estas conexões, por muitas vezes, podem ser aferidas a partir de regiões fonte de sedimentos, bem como regiões acumulativas (LISTO, 2013). Para compreensão deste dinamismo superficial, os processos de produção e acumulação de sedimentos são regidos por diferentes fatores, podem ser eles oscilações climáticas, energia tectônica, gravidade, e até mesmo influência antrópica sobre o meio ambiente, e para isso, uma das principais consequências da ação humana no meio ambiente, é a aceleração ou retardamento de processos já atuantes sistemicamente na natureza.

Um dos processos superficiais mais amplamente perturbados pelas influências antrópicas é a erosão dos solos, onde, ocorre majoritariamente pelo mau uso, ou uso exacerbado do solo em condições extremas, principalmente por meio do desmatamento e culturas ou pastagem ostensivas. A erosão dos solos, é a priori, um fenômeno recorrente natural, nele implica a fragmentação e transporte acelerado das partículas do solo sobre ação principais da água e vento (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2017). Autores como Suguio (2003), confirmam esta preposição, e acrescentam que estes processos são responsáveis por esculpir a paisagem, e podem ser aperfeiçoados por interações químicas, físicas e biológicas. Para Guerra e Jorge (2013), a erosão pode ser recorrente em geralmente toda declividade superior a três graus. Para os respectivos autores, este processo é de fundamental importância para conservação dos solos, uma vez que é o processo responsável pelo mantimento da fertilidade.

A erosão dos solos pode ser caracterizada de acordo com a sua escala e profundidade de influência, sendo um dos maiores riscos naturais, sobretudo quando ocorre interferência antrópica, tornando a erosão um efeito de tamanha complexidade, sendo as suas consequências muitas vezes imensuráveis. Devido a este fator, severos danos econômicos, ambientais e sociais podem ser provocados, sobretudo quando a erosão se encontra em níveis acelerados, como o caso da presença de ravinas e voçorocas, levando ao solo em que estes fenômenos ocorrerem a destruição ou inoperância, sendo devastador para práticas antrópicas, como a agricultura ou construção civil (GUERRA; JORGE, 2013; BERTONI; LOMBARDI NETO, 2017).

Segundo Judston (1968), numa era que antecedia as ações antrópicas, haveria uma produção de sedimentos transportados pelos rios em escala global de 9,3 bilhões de ton/ano aos oceanos, todavia, atualmente estes valores mais que dobraram, e atingiram a casa dos 24 bilhões de ton/ano (SUGUIO, 2003). Complementando esta informação, a Organização das Nações Unidas (ONU) faz a estimativa de que cerca de 1,9 bilhões de pessoas sofrem com terras degradadas no mundo, as principais causas desta degradação são a pastagem excessiva, práticas agrícolas não sustentáveis e processos de desertificação. (CHRISTOPHERSON; BIRKELAND, 2017).

1.1 Justificativa

Devido à crescente urbanização e aumento nas demandas agropecuárias para saciar as necessidades humanas em se desenvolver através dos recursos naturais, e devido ao uso demasiado do meio ambiente e suas fontes de matéria prima, esta pesquisa fundamentou seu arcabouço metodológico, afim de colaborar com o desenvolvimento de práticas conservacionistas, propor parâmetros aplicação de modelos matemáticos para quantificar erosão dos solos, tanto em cenários atuais, quanto para previsões em condições de uso do solo futuras e avaliação das condições passadas.

As utilizações de modelos hidrológicos de perda de sedimentos podem atingir um grande dinamismo de resultados, levando em consideração a disponibilidade de dados para aplicação da equação, utilizando de valores empíricos para quantificar os níveis de erosão, e divulgar o conhecimento do modelo a toda pessoa que deseje

adotar de práticas conservacionistas para conservação dos solos, podendo reter danos agravantes ao meio ambiente.

Esta investigação deve demonstrar o potencial do modelo em uma escala de tempo relativamente alta, e como irá reagir as determinadas condições do agreste brasileiro, em estado de uso do solo majoritariamente antrópico, como as encontradas no município de Capoeiras-PE, levantando cenários que se aproximem da realidade, e forneçam um prognóstico qualitativo a conservação dos solos e planejamento ambiental em diversas escalas.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

Este estudo tem como objetivo geral quantificar os níveis de perda de solo por erosão laminar. E para atingir tal objetivo, foi adotado como metodologia o uso e aplicação de um modelo empírico de erosão dos solos, neste caso, o modelo matemático hidrológico Universal Soil Loss Equation (USLE) para primeiramente, quantificar os níveis de erosão de uma microbacia no município de Capoeiras, levando em consideração fatores climáticos, pedológicos, geomorfológicos, culturais e socioeconômicos, e em seguida, realizar um diagnóstico ambiental acerca da resposta do modelo, averiguando suas principais vantagens e desvantagens, aferindo os níveis de perda de solo em um cenário aproximado de duas décadas.

1.3.2 Objetivos específicos

- Revisão bibliográfica sobre erosão laminar e suas consequências;
- Aplicação da metodologia USLE para a área de estudo;
- Quantificar níveis de erosão para a área de estudo;
- Elaborar um plano de aula baseado nas informações previamente recolhidas sobre erosão dos solos.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Erosão

No tocante a erosão, muito se pode encontrar na literatura, tanto internacional, quanto nacional. Conforme Zachar (1982), em citação a Penck (1894), a primeira utilização do termo erosão foi adotado na geologia, afim de descrever concavidades por desgaste pela ação hídrica no terreno em deterioração do material sólido, sobretudo em regiões suscetíveis a ações fluviais. A priori, o princípio de erosão confere em um processo ativo natural, e refere-se no desprendimento das partículas de sedimentos presentes na superfície do solo, ocasionado pela desagregação física ou química do mesmo, ocorrido após impacto das gotas da chuva num solo desprovido de proteção vegetal. (LEPSCH, 2021; GUERRA; JORGE, 2013; BERTONI; LOMBARDI NETO, 2017; SUGUIO, 2003; ZACHAR, 1982; MORGAN, 2005; LAL, 2017).

A erosão também é frequentemente utilizada na literatura, como um termo abrangente para descrição de desgaste da paisagem, entretanto, a utilização mais precisa do termo, vem sendo para definir o descolamento e arrastamento de partículas no solo, distinguindo-se de processos de deposição, sedimentação e transporte de sedimentos (LAL, 1994). Não obstante, segundo pesquisas recentes de Guo *et al.* (2019), podemos dividir a erosão em dois processos distintos, a erosão antrópica, sendo as ações de deterioração dos solos a partir de influências do ser humano, tal como desmatamento, mineração, agricultura e outros. Já a erosão natural, seria um tipo de erosão espontânea. como um elemento diferenciado, a partir do momento em que os seres humanos entram em contato com a natureza e interferir nos seus processos, a erosão passa tomar escalas aceleradas devido a atividades extensivas nos solos. Conforme abordado por autores como Guerra (1966) e reiterado pela FAO (Food and Agriculture Organization of United Nations) e USGS (United States Geological Survey), a erosão oriunda de atividade antrópica também pode ser associada com erosão acelerada, de uma maneira demasiada e não natural, sendo moldada a partir processos de desagregação física e química, intensificada após interferência humana no uso da terra, de acordo com determinada prática de manejo, ou ausência dela. Goudie (2004) complementa essa abordagem, esclarecendo o

conceito de que os seres humanos também são poderosos agentes erosivos, e podem atuar de maneira incisiva, sobretudo em escala local.

Goudie (2004) também destaca que, o autor destaca que as influências humanas no meio ambiente tendem a reduzir ou acelerar processos de agentes naturais já existentes, podendo retardar ou elevar as taxas de erosão, todavia, em grande maioria dos casos, os seres humanos atuam por estimular as taxas de produção de sedimentos, principalmente em regiões densamente habitadas, ou locais de uso extensivo do solo. Christopherson e Birkeland (2017) acrescentam sobre o uso do solo que, a agropecuária de maneira imprudente, combinada com a precipitação e temperaturas elevadas, podem desencadear um período histórico de erosão intransigente e ríspida, corroborando em perda de nutrientes imensuráveis.

2.1.1 Erosão Laminar

A erosão pode ser identificada no terreno em diferentes tipos de escala e intensidade, e a frequência de sedimentos removidos dos solos referem-se justamente as condições geográficas da região em análise. A erosão laminar, por sua vez, corresponde a perda de sedimentos causada por água de maneira equilibrada na rampa, em fluxos rasos, espalhados, em que não haja formação de canais aparentes na drenagem do terreno. A erosão laminar se diferencia por ser caracterizada como uniforme no relevo, e por isso, deriva o nome de lâminas, onde se difere das erosões em sulcos, ravinas, voçorocas. (SUGUIO, 2003; BERTONI; LOMBARDI NETO, 2017; CHRISTOPHERSON; BIRKELAND, 2017). A erosão laminar é um dos primeiros indicativos do uso excessivo ou mau uso do solo, e evidência de que aquele tipo de solo ou cultura necessitam da adoção de práticas conservacionistas efetivas. Caso os níveis de erosão comecem a ultrapassar a erosão laminar para suas escalas superiores, mais difícil será de contornar a perda de solos em áreas nesta situação.

2.1.1 Erosão Linear

A erosão linear por sua vez, pode ser considerada como uma etapa superior a erosão laminar. Se a erosão laminar ocorre em lâminas, de maneira uniforme no relevo, a erosão linear é o início do escoamento superficial da água em pequenos canais (GOVERS, GIMÉNEZ & OOST 2007). Segundo Guerra, Silva e Botelho (2009),

neste nível de erosão, conforme o fluxo hídrico se acumula em pequenos canais, a profundidade destes canais passa a aumentar, onde futuramente, caso ocorra continuidade de ação dos agentes erosivos, estes canais tendem a elevar seu tamanho para maiores dimensões.

Dube *et al.* (2020, apud Cerdan *et al.* 2002, p. 389) relata que a erosão laminar é uma fase intermediária entre a erosão laminar, e as voçorocas, que fazem parte de uma ação de desprendimento do solo por canais.

2.1.2 Consequências da Erosão

Perante estas ideias, as consequências da erosão podem ser consideradas como imprescindíveis. A erosão dos solos, de maneira geral, pode ser julgada como uma das formas mais agressivas e prejudiciais ao solo, e consequentemente o colapso do uso antrópico nele, afetando o suprimento e produção de comida a ser produzido naquela terra (GADONE; STANCHI, 2012; LAL, 1994; PIMENTEL, 1993) (TIFFEN; MORTIMORE; GICHUKI, 1994).

Sobre este quesito, Pimentel complementa em suas pesquisas que:

A erosão afeta negativamente a produtividade das culturas, reduzindo a disponibilidade de água, nutrientes e matéria orgânica e, à medida que a camada superficial do solo diminui, restringindo a profundidade do enraizamento. A redução na água disponível para as plantas é o efeito erosivo mais prejudicial. Durante a erosão hídrica, a maior parte da água é perdida devido ao escoamento rápido. Além disso, as erosões hídricas e eólicas reduzem a capacidade de retenção de água do solo, removendo seletivamente a matéria orgânica e as partículas mais finas do solo. Em solos degradados pela erosão, a infiltração de água pode ser reduzida em até 90% (PIMENTEL, 1993, p.2).

Diante esta situação, caso seja reduzida a capacidade de infiltração e retenção de umidade nos solos, haverá cada vez menos água disponível para as plantas, e consequentemente, menos matéria orgânica sendo produzida devido à ausência da vegetação, causando uma grave infertilidade (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2017). Os solos, além de necessitarem de práticas conservacionistas efetivas, uma vez que são alicerces para a vida na Terra, compondo nele aspectos fundamentais para mantimento do ciclo natural na biosfera, onde, caso tenha seus nutrientes perdidos e

suas características primárias modificadas, consequências muitas vezes irreversíveis podem ocorrer (GUERRA; CUNHA, 2015; GUERRA; JORGE, 2013; LEPSCH, 2021).

Conforme abordado por Morgan (2005), os impactos locais oriundos da erosão, são especialmente imperativos na escala rural, onde a redistribuição do solo dentro de um campo, a perda do solo agrícola, a quebra da estrutura do solo, a diminuição da matéria orgânica natural e a redução do suprimento dos solos podem resultar no encolhimento da profundidade do solo cultivável, bem como da diminuição na maturação. Tal desintegração também diminui a umidade acessível do solo, ocorrendo em condições mais propensas à seca. O impacto líquido pode ser um infortúnio na eficiência da produção agrícola, no qual limita culturas de se desenvolverem resultando na ampliação do uso de fertilizantes, afim de manter os lucros por parte dos agricultores. Para isso, em estudos mais recentes Bertoni e Lombardi Neto (2017) também chegaram à conclusão semelhante de Morgan (2005), e acrescentaram que:

A sedimentação e a deposição do material erodido nas baixadas de solo fértil reduzem a sua produtividade e prejudicam ou destroem as plantas do local. Quando a camada superior é erodida, torna-se necessário, ao arar, penetrar mais na camada de subsolo que tem uma estrutura fraca, ficando mais difícil preparar a sementeira, dando, em consequência, uma germinação baixa e uma produção reduzida (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2017, p.75).

Os solos, sendo esta fina camada friável sobreposta a superfície da Terra, é também uma das regiões mais vulneráveis a qualquer tipo de metamorfismo em sua composição, seja por mudanças climáticas, ou até mesmo fenômenos tectônicos, podendo remover a vegetação, e tornar o solo uma região delicada e mais suscetível a enfrentar a erosão (GUERRA, 1966). A vegetação, por sua vez, atua de modo incisivo nas dinâmicas da paisagem e de modelagem do relevo, é ela a responsável por minimizar efeito das gotas da chuva no solo, ocasionando o controle dos processos erosivos (LISTO, 2007).

2.2 Modelos Matemáticos Para Prevenção de Erosão

Trabalhar a conservação dos solos tem se tornado uma missão cada vez mais delicada e complexa podemos encontrar na literatura uma gama de formas para

manutenção e conservação dos solos, bem como da vida que há neles. Conforme abordado por Porto e Callegari (2018) sendo a erosão dos solos uma eminente ameaça, demandamos da aplicação de estratégias para minimizar os custos de seu impacto em escalas micro e macro, tais estratégias necessitam de métodos confiáveis para mensurar o risco de erosão, e frequentemente, são utilizados modelos eficazes diferentes para tal conclusão. Modelos de equações para calcular a perda de solos em campos agrícolas começaram a serem desenvolvidas na década de 1940, nas regiões do cinturão agrícola de milho nos Estados Unidos, associadas principalmente com elevação da erosão por porcentagem de declividade (WISCHMEIER; SMITH, 1978).

Ao longo das últimas décadas, diversos países buscaram realizar pesquisas utilizando de modelos empíricos de erosão para quantificá-la e contorná-la, alguns destes principais modelos empíricos são a Equação Universal de perda de Solos (USLE), a Equação Universal de Perda de Solos Revisada (RUSLE), Walter Erosion Prediction Project (WEPP), Limburg Soil Erosion Model (LISEM), European Soil Erosion Model (EROSEM), Soil and Water Assessment Tool (SWAT) entre outras (ZHANG; ZHANG, *et al.*, 2011; PORTO; CALLEGARI, 2018; LEPSCH, 2021).

2.2.1 Universal Soil Loss Equation (USLE)

A USLE foi desenvolvida no National Runoff and Soil Loss Data Center em 1954 pelo Science and Education Administration (anteriormente Agricultural Research Service) em cooperação com a Purdue University (WISCHMEIER; SMITH, 1978). Dentre diversos modelos desenvolvidos afim de colaborar com a conservação dos solos, a USLE, propõe uma das metodologias mais utilizadas para prevenção de perda de sedimentos dentre as mais abordadas na literatura. Esta metodologia é reconhecida pela sua prática aplicabilidade, sem interferir negativamente nas dinâmicas da sua área de estudo. (ZHANG; ZHANG, *et al.*, 2011; SILVA; LISTO, 2022; XAVIER, HOLANDA, *et al.*, 2018; ARAÚJO, 2017). Autores como Jabbar (2003) complementam que a USLE é um modelo de grande qualidade para a avaliação quantitativa da intensidade da erosão do solo para a gestão da conservação, e possuem aplicabilidade universal. Bertoni e Lombardi Neto (2017) reiteram que o uso de equações empíricas para diagnosticar o solo é indispensável a todo aquele que

deseje adotar práticas conservacionistas, sendo uma técnica aplicável em escala universal, apenas demandando dados das variantes da fórmula em sua área de estudo.

Haan Bargield e Hayes (1994) referem-se a uma das limitações do modelo USLE como que as formulas originais não se adequam a regiões acima de 20% de declividade. A equação utilizada para o fator S acabam por superestimar projeções iniciais acima destes 20% da USLE.

Tais autores também acrescentam que um dos fatores negativos do modelo USLE é que os procedimentos computacionais demandam alta qualidade de tecnologia, e com isso, exigem tempo e dinheiro necessários para equipamentos de qualidade que venham a produzir o modelo com perfeição.

2.3 Aplicação socioambiental da pesquisa científica para o ensino de geografia em nível escolar: um projeto pedagógico de ensino em erosão dos solos.

Com o passar das últimas décadas, o avanço tecnológico propiciar inúmeras melhorias para o campo científico. O desenvolvimento de pesquisas em diversas áreas das ciências gradualmente vem sendo melhorado e expandido. Todavia, os resultados dessas pesquisas, seja nas ciências ambientais, quanto quaisquer outras, não tem filtrado seus resultados para um nível de relevância em escala escolar (ARTHURY; TERRAZZAN, 2018). Com esses avanços científicos trazendo novas tecnologias a nossa sociedade, o status de ciência, ou de “cientificamente comprovado”, obteve uma grande pertinência na comunidade popular, autores como Sasseron (2008) destaca que, principalmente nas pesquisas ambientais que representam um impacto direto aos seres humanos, estão ganhando relevância a cada ano nas manchetes de jornais e revistas, permanecendo em grande difusão nos meios de comunicação, e com isso, levando a informação de que nós, seres humanos, podemos ser afligidos demasiadamente, caso não tomemos providências para um desenvolvimento urbano equilibrado, que venha a cada vez menos interferir nas dinâmicas naturais atuantes.

O conhecimento científico, por sua vez, representa a priori, uma linha antagônica a dedução, onde rejeita a ideia de que a verdade é assumida por um fruto de preposição, a ciência, por si mesma, representa a comprovação empírica de

determinada concepção ou situação (CHIBENI, 2004). Já conforme o autor Rauen (2018, apud, LAKATOS; MARCONI, 1986, p. 41-42) induz que, “a finalidade da atividade científica é a obtenção da verdade, através da comprovação de hipóteses, que, por sua vez, são pontes entre a observação da realidade e a teoria científica que explica a realidade”.

Posteriormente, relacionar o conhecimento científico em paralelo aos processos educacionais passaram a se tornar necessidade, essencialmente em função de uma carência histórica no processo de desenvolvimento das redes de ensino nacionais, e neste tocante, segundo Vilaça (2010), a relação entre pesquisa e ensino parte de dois pressupostos, sendo:

Primeiramente, o referencial teórico que dá suporte às discussões tem origem em diferentes campos do saber, especialmente nas Ciências Humanas e Sociais. Em segundo lugar, ainda em estreita relação com o aspecto anterior, o foco das discussões está em duas áreas de naturezas interdisciplinares: Educação e Letras. (VILAÇA, 2010, p. 60).

A difusão do conhecimento para o nível escolar possui como principal intuito a conscientização e reeducação da população por meio da educação e cultura, imergindo os estudantes num meio de informação fora da abrangência do senso comum, variando de acordo com metodologias, e o público alvo. E para isso, conforme estes conceitos, ideias como as de “Alfabetização Científica” passam a ser cada vez mais utilizado dentre a literatura, a imersão do processo de investigação atuante nas ciências, podem fazer despertar uma vocação qualitativa, principalmente dentre a população jovem, onde, segundo a autora Sesseron (2008, apud, FOUREZ, 2003, 2000), a carreira científica é cada vez mais procurada pelos mais novos, e levar o conhecimento científico de pesquisas para a comunidade escolar, deve não apenas demonstrar a dimensão da influência humana sobre o meio ambiente, seja ela maléfica ou não, mas também propor uma alternativa de carreira para o futuro daquele que interesse pelo tema, e deseje se imergir nos campos científicos.

A concepção de ciência na escola pode ser abordada diferentemente por vários autores. Ferreira (2003), por exemplo, aborda a iniciação científica como metodologia de aprendizagem e vocação científica, orientando trabalhos acadêmicos aplicados por alunos do ensino médio. Já Queiroz e Lima (2007), adotam o conhecimento científico

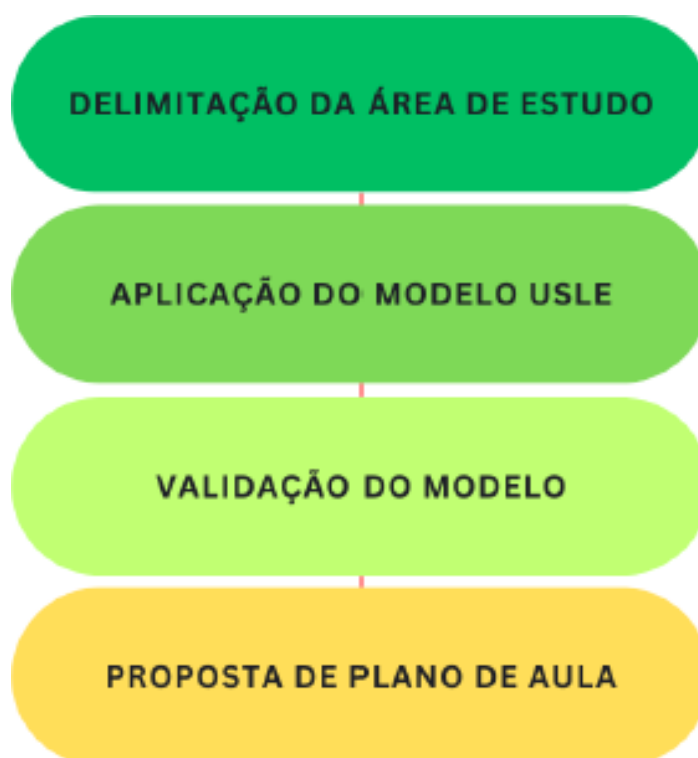
não como metodologia ativa direta com os estudantes, mas sim como um meio construtivista de ensino, incluindo o conhecimento científico como algo educacional e gradativo na sociedade, construindo e repassando o conhecimento adquirido as gerações futuras. Autores como Mello e Guazzelli (2011) trabalham temas semelhantes, e tratam o desenvolvimento científico na escola como uma questão cultural, algo que deve ser implementado por meio da construção de conhecimento, baseado principalmente na relação professor aluno.

A erosão dos solos está entre as diversas temáticas a serem abordadas de maneira científica na escola, principalmente devido a sua relevância e versatilidade de se abordar no ensino, sobretudo associada ao desenvolvimento sustentável das grandes cidades, e conservação dos solos nos ambientes rurais. Oliveira (2020) conclui que o tema de solos, apesar de possuir uma importância imprescindível para que haja a manutenção da vida no planeta, carece de informações e amplo debate acadêmico, e para contextualizar, o autor aborda a temática de erosão dos solos tanto para elementos geográficos, tanto como políticos, sociais, econômicos e culturais. (CAVALCANTE; DINIZ, *et al.*, 2013; DOMINGUES; FRANÇOSO, 2008).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A escolha para esta localização de estudo baseou-se em alguns critérios primários para a aplicação do modelo hidrosedimentológico para previsão da erosão, a USLE. A bacia do rio Uma é uma das bacias mais importantes de toda mata sul do Estado de Pernambuco. Estas regiões, sobretudo nas localidades próximas do litoral, já arcaram com severos danos devido a desastres naturais, e muitos deles, intensificados pela ação antrópica, impermeabilizando as planícies de inundação, e afetando drasticamente o uso da terra local, trazendo consequências imprescindíveis.

Fig. 1 – Fluxograma da pesquisa



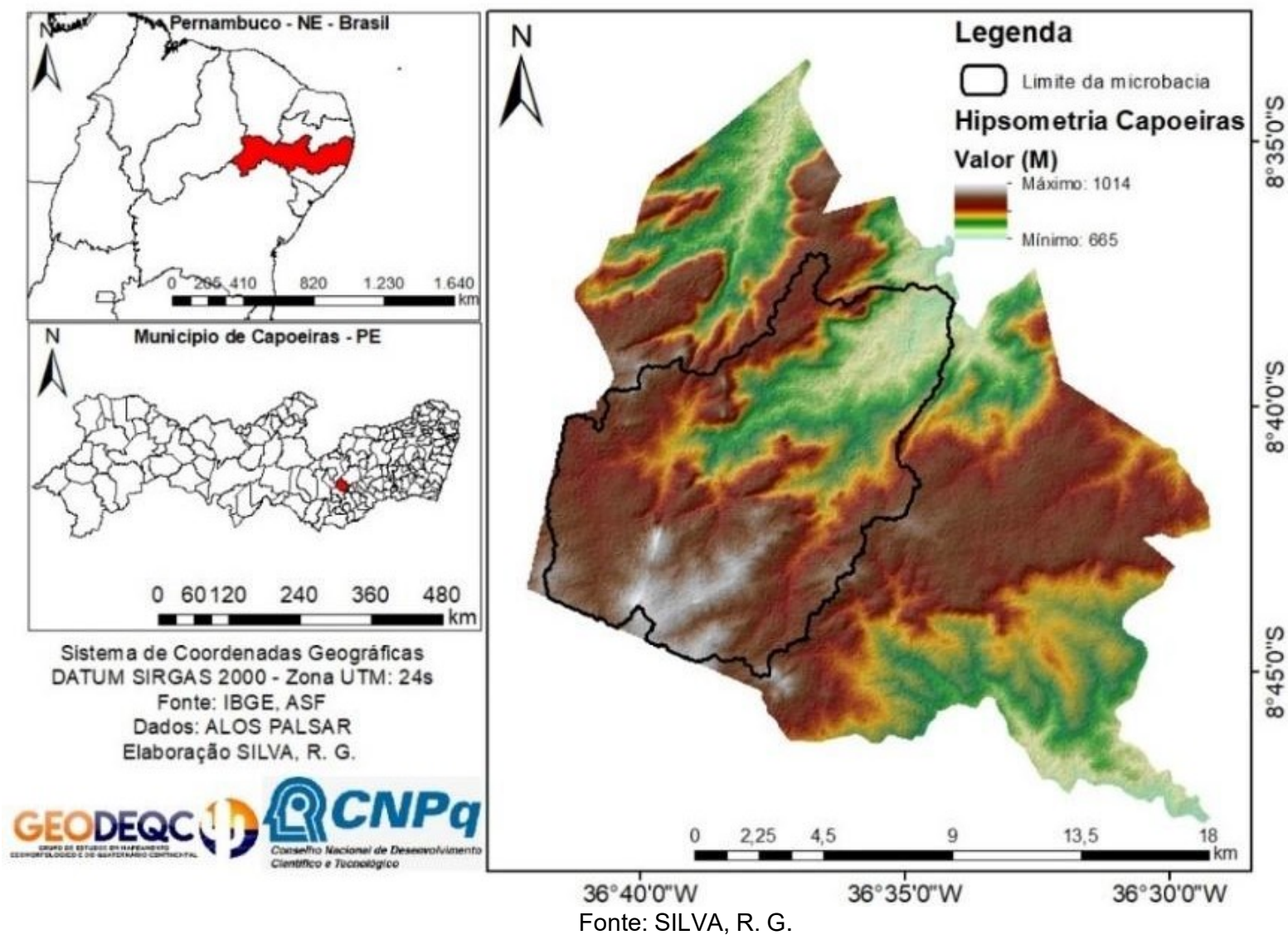
3.1 Caracterização da área de estudo

O município de Capoeiras se localiza na nascente do rio Uma, um importante exultório para formação de uma das principais bacias do sul de Pernambuco. O compreendimento das dinâmicas e processos erosivos e sedimentológicos a montante, podem colaborar para a produção de dados e conhecimentos que possam sanar problemas ambientais e urbanos a jusante do rio. Outro fator de relevância para a escolha da área do município, é o amplo uso antrópico do solo da região, ~~onde~~ segundo mapeamentos de uso do solo do MapBiomas, aproximadamente 61% do município para o ano de 2021 possui uma predominância de uso da terra para agropecuária, e uma vez que o uso do solo ostensivo eleva a probabilidade para perda de sedimentos, o município se encaixa num cenário ideal para aplicação do modelo USLE, no qual melhor se adequa para análise de erosão em nível laminar (WISCHMEIER; SMITH, 1978).

3.1.1 Localização

A microbacia em estudo localiza-se no Município de Capoeiras, na região agreste do Estado de Pernambuco, faz-se presente entre as coordenadas de 08° 44' 7" e 08° 55' 28" latitude sul, e 36° 37' 38" e 36° 42' 10" de longitude oeste, ocupando área total de 121,58 km². Situado na Serra da Boa Vista, a microbacia apresenta altitude média de 842,8 metros de altitude (Shuttle Radar Topography Mission - SRTM), situa-se a 238,6km de Recife e seu acesso principal é feito através da BR-

Fig. 2 - Mapa de localização e hipsometria da área de estudo, dentre município de Capoeiras-PE



A área de estudo, apresenta uma população considerada pequena, possuindo aproximadamente 20.000 habitantes (IBGE, 2014), demonstra grande parte de seu território com uso para agricultura e pecuária, sendo 62,85% da área do município utilizada apenas para pastagem. A vegetação predominante da região é a caatinga, ocupando cerca de 33,55% da área de estudo, no qual é considerada como a maior zona fitogeográfica do estado (AZAMBUJA, 2012).

3.1.2 Geologia

**Província da Borborema*

Conforme pesquisas de Cruz (2014), a Província Borborema, possui sua gênese por esforços orogênicos durante o Neoproterozoico (Brasiliano), possuindo interferência, também sobre o Continente da África, e grande parte da porção leste do Continente da América do Sul durante origem do supercontinente da Gondwana, atingindo uma área total de aproximadamente 450.000 km². O autor reitera que o ciclo Brasiliano obteve este nome em referência à formação geológica que comporta, hoje, o país Brasil, e foi criado a partir de uma série de eventos orogenéticos Panafricano, alterando significativamente os Continentes da América do Sul e África.

Sobre a Província Borborema, Dátoli (2021, *apud*, ALMEIDA 1981), associa a região em parte de uma série de cinturões de dobramentos, no qual podem se prolongar desde o continente africano, evidenciado na reconstrução pré-drift (Brito Neves et al., 2000; Van Schmus et al., 2011). Já a autora Pires (2021, *apud*, KEGEL, 1961, 1965; NEVES, 1975; ALMEIDA *et al.*, 1977) acrescenta que a Província da Borborema, refere-se em um complexo de granito-gnássico-migmatítico, associados a uma série de dobramentos antigos. Tal província, demonstra um registro de dinâmica crustal durante a orogênese Brasileira, ocasionando na convergência dos crátons africano oeste/São Luís, e o crátons São Francisco/Congo (DÁTOLI, 2021; *apud* NEVES, 2003; ARTHOUD *et al.* 2008).

Ainda conforme Dátoli (2021), a origem e divergência da Província da Borborema serve como palimpsesto histórico acerca de eventos geológicos em larga escala, principalmente correlacionados a episódios de origem metamórfica e rejuvenescimento crustal Brasiliano (*apud*. GANADE DE ARAÚJO *et al.*, 2013; SILVA FILHO *et al.*, 2014; GUIMARÃES *et al.*, 2015). Tais ocorrências dão origens a

geofraturas e zonas de cisalhamento de grande complexidade, orientadas em sentido Leste-Oeste, como exemplos dos lineamentos Patos ao norte do Estado de Pernambuco, e o próprio lineamento Pernambuco ao sul (LISTO, 2013).

Uma das principais formações geológicas é o cinturão orogênico meso-proterozóico da Província Borborema. Cruz (2014), menciona em sua pesquisa que esta feição se estende ao longo do nordeste brasileiro, e alonga-se até o leste da África Central, originando Cinturões de Dobramento Central da África. A deformação do relevo durante o ciclo Brasileiro, e a formação das zonas de cisalhamento com demasiado plutonismo granítico, é uma das características da formação da Província da Borborema, é delimitada pelo Cráton do São Francisco ao sul, Bacia do Parnaíba ao norte/oeste, e bacias costeiras ao leste.

Na Província da Borborema, ao sul do lineamento de Patos, há registros notáveis de processos orogênicos crescentes, entretanto, só recentemente foram identificados. Da fronteira sudoeste da bacia do Parnaíba até a costa Atlântica, ocorrem diversas evidências litológicas e estruturais, evidenciando o cinturão orogênico, ocupando uma grande área WSW-ESE, cerca de 800 km de comprimento e mais de 200 km de largura (ALMEIDA e BRITO NEVES, 2000).

**Terreno Pernambuco-Alagoas*

Segundo Silva (SILVA, 2016, *apud*, Rocha, 1990) o Terreno da Subprovíncia Pernambuco-Alagoas é uma derivação da província Borborema, esta região é composta majoritariamente por composto de gnássico-migmatítico, onde predominam ortognaisses granítica a tonalítica. A Subprovíncia se caracteriza por agregados xenomórficos (quartzo) e o (biotita, hornblenda e plasioclásio).

Sobre a definição desta região, Dátoli complementa que:

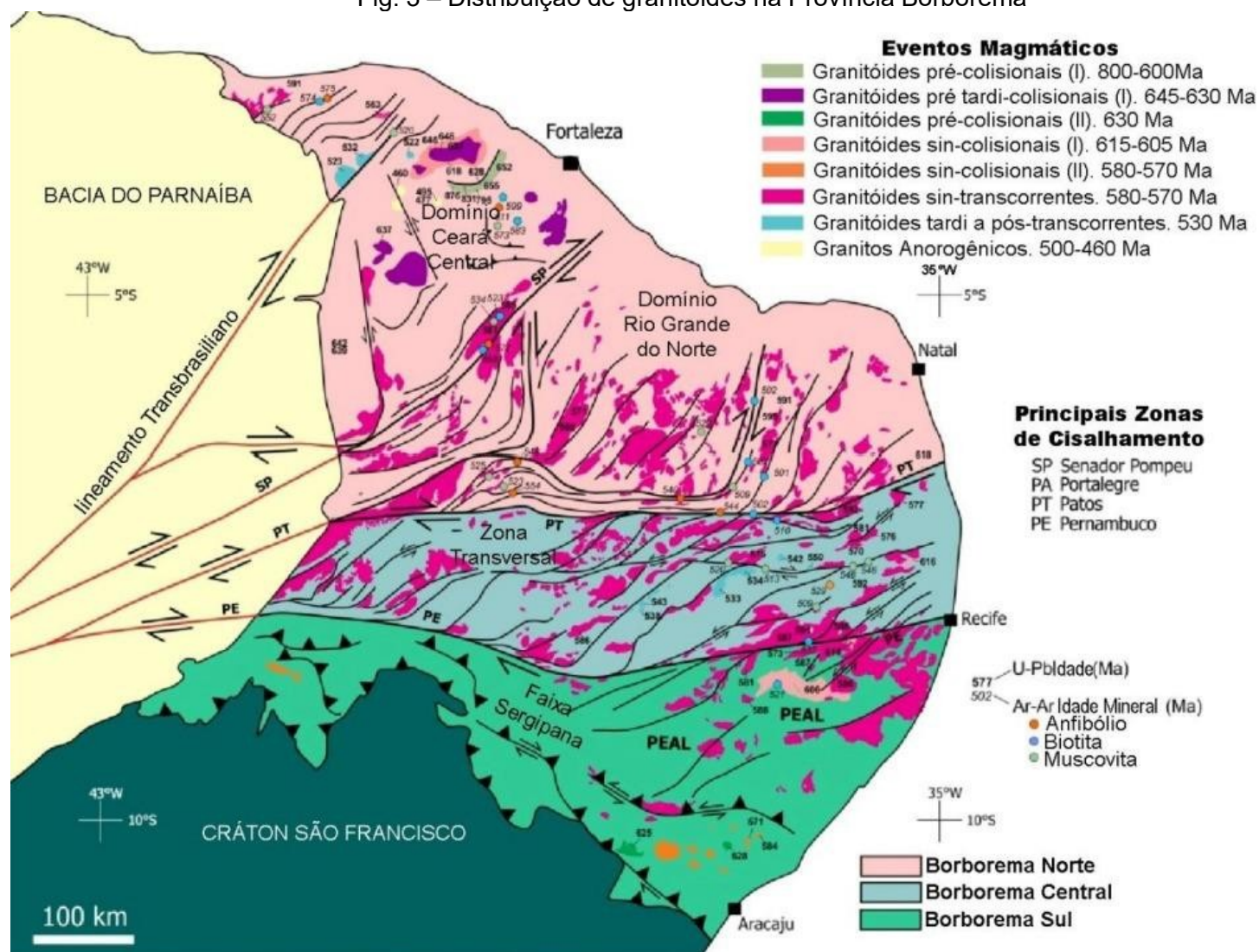
“O Domínio Pernambuco-Alagoas é dividido em duas porções: em PEAL leste e oeste, separados pela bacia sedimentar do Tucano-Jatobá, datada do Cretáceo. Dados de Cruz *et al.* (2015) mostram idades máximas de sedimentação do PEAL oeste do Criogeniano, enquanto a porção leste possui populações de grãos detríticos evidenciando uma deposição entre Criogeniano e Ediacarano (Silva Filho *et al.*, 2014; Neves, 2015).” DÁTOLI, 2021, p. 19).

Sobre o Terreno Pernambuco-Alagoas, Rocha (1990) destaca a presença do lineamento Pernambuco, localizado ao norte do maciço Pernambuco-Alagoas, e reitera a presença de as rochas plutônicas no local, subdividindo-as em pre-granitóides sinderformação tangencial, granitóides em deformação transcorrente e granitóides tardi, gerados em momento pós deformação. É destacado pelo autor os batólitos compostos por quartzo-dioríticos a sienitos alcalinos, presentes ao norte sul do lineamento Pernambuco Silva (2016)

Os batólitos marcados pelo Lineamento Pernambuco, são formações com gênese em extensão do ciclo Brasileiro (650-540 Ma), com direcionamento E-W, cruzando o Estado de Pernambuco, partindo da costa da Capital Recife, e separado em dois domínios, com nomenclatura de domínio Externo/Meridional, e o domínio norte chamado de Transversal (LISTO, 2013). Ao analisar a faixa oeste do Lineamento Pernambuco, Azambuja (2012) menciona o destaque regional do Lineamento, e acrescenta a formação de mosaicos paleo, meso e neoproterozóicos, oriundo da formação, definido como substrato da bacia, preenchido por rochas mesoproterozóicas.

Assim como demonstrado pela figura 2, o Lineamento Pernambuco possui ramificações que correm tanto para norte, quanto para sul, e podem ser encontrados tais ramificações em diversas regiões da área de estudo, sobre o patamar erosivo de Garanhuns, também evidenciado no mapeamento geológico do Município (figura 3). Tais ramificações são abordadas em trabalhos como os de Azambuja e Corrêa (2015) e Corrêa *et al.* (2010), em correlação com os arqueamentos regionais nesta área, os arqueamentos podem ser descritos como domínios Externo Meridional, localizadas na porção sul do Lineamento Pernambuco, e possuem alta influência sobre a morfologia do relevo da região. Segundo os autores anteriormente citados, os arqueamentos identificados de Arcoverde, dão origem a serras e cimeiras, podendo atingir 1100m, já o arqueamento de Garanhuns, possui topo aos 1000m, dando origem a Brejo de Altitude em diversas regiões do Nordeste. O arqueamento associado ao patamar de Garanhuns é de maior expressão, este por sua vez, culmina na Serra da Baixa Verde-PE, possuindo topo de 1185m, e Teixeira-PB, com topo de 1197m.

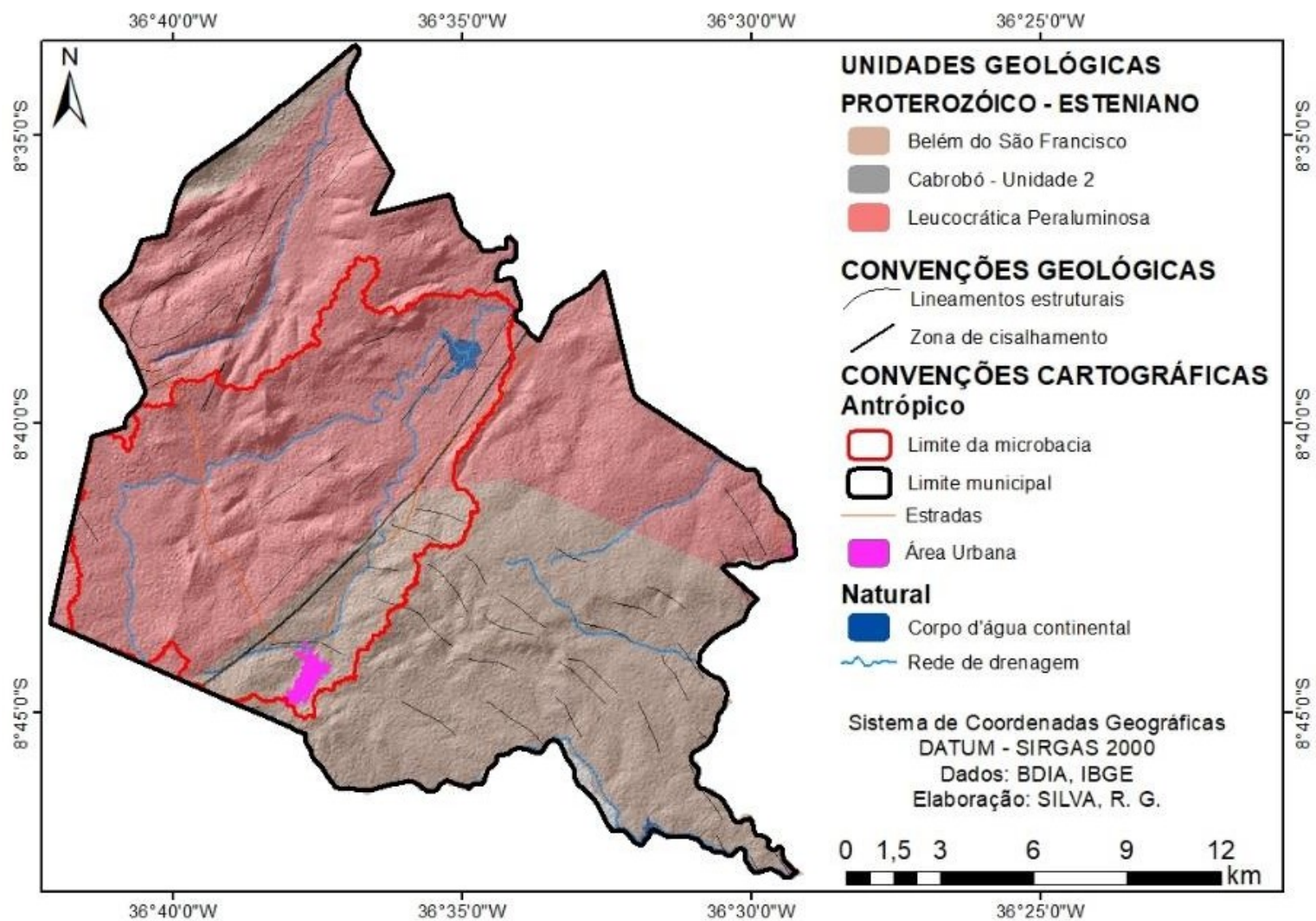
Fig. 3 – Distribuição de granitoides na Província Borborema

Fonte: Araújo *et al.*, 2014

**Unidades Geológicas*

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), por meio do Banco de Dados de Informações Ambientais (BDIA) fornece uma base de dados geológica, com aporte teórico e descritivo para litologia da área de estudo, e por intermédio deste banco de dados, foram utilizadas a descrição geológicas da área de estudo, onde, para esta pesquisa, foram apontadas três unidades geológicas, sendo elas “Belém do São Francisco”, Cabrobó Unidade 2, e Leucocrácia Peraluminosa.

Fig. 4 - Mapa Geológico da área de estudo



Fonte: BDIA

MP3bf. Unidade Belém do São Francisco

A unidade geológica do Complexo Belém do São Francisco está inserida no domínio geotectônico da Subprovincia Estrutural de Pernambuco-Alagoas, dentro do contexto da Província Estrutural da Borborema. Esta Subprovincia, por sua vez, é constituída por ortognaisses tonalítico e granodiorítico, em geral migmatizados, migmatito com mesossoma quartzo-diorítico e tonalítico e restos de rochas paraderivadas. Esta unidade, conforme estudos previamente proferidos pela CPRM (Serviço Geológico Brasileiro, 2000), definem-se por compostos de Biotita ortognaisses tonalíticos/granodioríticos, leucocráticos de cor cinza, geralmente migmatizados e migmatitos com mesossoma quartzo diorítico/tonalítico a anfibólio e/ou biotita além de porções anfibolíticas. Não obstante, podem ser encontrados nestas localidades, relíquias de rochas paraderivadas, calcários/mármore (ca), quartzitos (qt) e rochas calcissilicáticas (cs). Datada em 1070 Ma pelo método Rb-Sr, idade de cristalização. O tempo final desta formação geológica é datada como Proterozoico Esteniano, e possui como característica genética metamorfismo regional de médio a alto grau.

MP3NP1(G)a. Unidade Leucocrática Peraluminosa

Esta unidade é constituída essencialmente de leucogranitíde com muscovita-biotita ou granada-biotita ou cordierita-biotita. Assim como as demais unidades, está inserida no contexto da Subprovincia Estrutural de Pernambuco-Alagoas. Seu tempo final de formação é datado como Proterozoico Toniano, e sua principal característica genética é a presença de Metaplutonismo, encontrada na litologia local. Segundo Melo *et al.* (2017), a Leucocrática Peraluminosa apresenta fragmentos recorrentes de ações plutônicas durante o mesoproterozoico e neoproterozoico, se estendem ao longo de grande parte dos embasamentos cristalinos referentes a Borborema, sobretudo no domínio Pernambuco-Alagoas, ao sul dos cisalhamentos Palmeira dos Índios, e norte do Cisalhamento Pernambuco.

MP3ca2. Unidade Cabrobó (Und 2)

Por fim, o complexo Cabrobó é constituído por uma sequência metavulcanossedimentar formada por xistos, paragnaisses por vezes migmatizados, metagrauvacas, níveis de quartzitos, calcissilicáticas, mármore e intercalações de anfibolitos. Também é localizado sobre Domínio Pernambuco- Alagoas. Neste complexo, constitui uma faixa irregular, entrecortada por zonas de cisalhamentos, disposta no sentido NE/SW representando o Domínio Meridional da Província Meridional. A unidade 2 é constituída de biotita e/ou muscovita xisto e gnaiss, leucognaiss, metagrauvaca, migmatito e níveis de quartzito, anfibolito e mármore. O tempo final para formação geológica desta unidade é Proterozoico Esteniano, e possui como característica genética rochas metavulcanossedimentares.

Complementando esta informação, esta classe geológica pode ser caracterizada pela alta presença de Biotita gnaisses e muscovita gnaisses (por vezes migmatizados) e migmatitos, possuem frequentes lentes de rochas metamáficas/anfibolíticas e rochas calcissilicáticas (Mcb). Em algumas localidades são encontradas Biotita gnaisses quartzo-feldspáticos (podendo conter granada, muscovita gnaisses, micaxistos, metagrauvacas, paragnaisses e migmatitos, com níveis de quartzitos (qt), anfibolitos (af) e calcários/mármore (ca) (Mcb).

3.1.3 Geomorfologia

Unidade Morfoestrutural - Planalto da Borborema

Corrêa *et al.* (2010, *apud*, BIROT, 1958), para descrição desta unidade morfoestrutural, inclui os conceitos de escalas cartográficas em pequenos compartimentos de relevo sobre regiões rebaixadas, sendo localidades deposicionais com estrutura de rochas tenras, também chamadas de rebaixamento tectônico. Em contrapartida, nas regiões elevadas, terão origem à material fonte de erosão e intemperismo devido a anteriores soerguimentos tectônicos, e diante deste contexto, o cenário morfoestrutural da Província da Borborema é desenvolvido. O conceito de compartimento morfoestrutural na região foi primeiramente abordado por Cazjka (1959), e a partir deste momento, foram iniciados a correlação entre lineamentos estruturais (como os do Lineamento Pernambuco) dando origem a orografia e geomorfologia da área (AZAMBUJA, 2012).

Nesta unidade morfoestrutural, podem ser encontradas uma grande presença de metamorfismo, identificado na litologia presente relacionada a dinâmica pré-cambriana, submetendo o relevo, principalmente durante o Cenozóico, a dobramentos e flexão do rebordo continental, dando origem a uma série de blocos soerguidos e rebaixados, influenciando na ação exógena do clima e adjacentes, formando assim, uma conjuntura de depressões, cristas, inselbergs, entre outros (LISTO, 2013).

Processos de orogênese recente, bem como o tectonismo, propõe feições paisagísticas com relevo montanhoso, e em contrapartida, a formação de planaltos, devido ao longo tempo de exposição do relevo a ação do tempo. (CORRÊA *et al.*, 2010, *apud*, DAVIS, 1899; KING, 1953). Portanto, basicamente, o Planalto da Borborema atende a uma porção elevada do relevo do nordeste brasileiro, delimitado por desnivelamentos na topografia regional, com amplitude de 100m em relação as suas margens, sendo raro a continuidade litológica quando comparado ao relevo circundante.

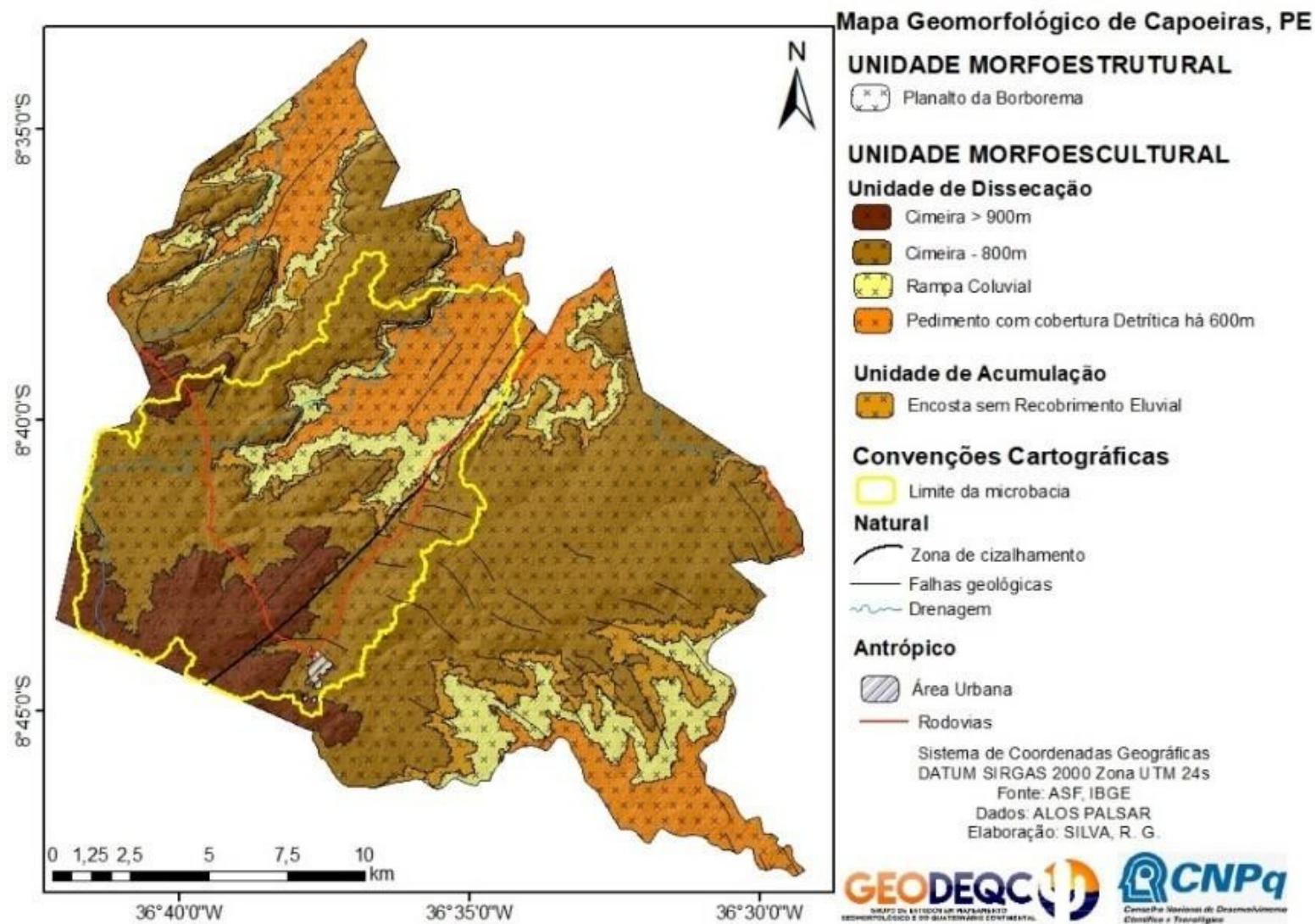
Para melhor compreensão de sua origem, segue citação de Corrêa *et al.*:

“Sua gênese reflete uma série de pulsos epirogenéticos, associados inicialmente ao desmantelamento do Gondwana e posteriormente ao magmatismo continental Cenozóico, que atuaram sobre estruturas herdadas, dando origem a um mosaico de subcompartimentos com características distintas do ponto de vista morfoestrutural.” (CORRÊA *et al.* pag. 49).

Com essas informações, possuímos discernimento de que o Planalto da Borborema reside de um tectonismo antigo, originando uma unidade de relevo residual, dissecado pela ação do tempo geológico, com uma superfície uniforme de pedimentos, apenas, contínua até a presença de relevos residuais, como os Inselbergs e alinhamentos de serras, onde, segundo Listo (2013), tais relevos podem alcançar uma altitude entre 500m a 900m

**Geomorfologia de Capoeiras*

Fig. 5 – Mapa Geomorfológico da área de estudo.



Fonte: SILVA, R. G.

O município de Capoeiras se encontra no compartimento morfoestrutural do Planalto da Borborema, mais especificamente na zona central da Cimeira Estrutural Pernambuco-Alagoas (CORRÊA *et al.*, 2010). Segundo Azambuja (2007, *apud* CORRÊA, 2001), nesta condicionante são apresentadas a topografia da região de Capoeiras, sobre o terreno Pernambuco-Alagoas, e a montante de patamares arqueados oriundos de ações transpressivas e distensivas. Este platô é constituído como um patamar exclusivo do eixo de arqueamento do planalto da Borborema, denominado como patamar erosivo de Garanhuns.

CZAJKA (1958) afirmou que no nordeste do Brasil a relação entre erosão e tectônica tem um papel fundamental. O autor reconheceu a importância dos lineamentos estruturais de direção E-W como condicionadores de alinhamentos de serras e de eixos de depressões. Estes lineamentos estariam intimamente associados aos principais eixos de soerguimento regional. Também foi observado por Czajka o comportamento diferenciado do relevo do setor oriental de Pernambuco e Paraíba em função do arqueamento. Corrêa *et al.* (2010) agrega a este tema onde: “Em Pernambuco, os vales instalados em falhas penetram para o interior do continente em diversos níveis elevados, formando depressões intermontanas em níveis de até 800 metros de altitude.” (CORRÊA *et al.*, 2010, p. 42).

Sobre papel deste arqueamento, são produzidas as depressões intermontanas abordadas por Corrêa, correspondem, de mesmo modo, as localizadas a montante do Município de Capoeiras, sendo região deposicional de sedimentos oriundo das cimeiras. Este compartimento de relevo é responsável pela nascente do rio Una, fonte de uma das principais bacias hidrográficas da região sul do Estado de Pernambuco, e matriz para transporte de toneladas de sedimentos anuais.

O arqueamento regional do planalto da Borborema, reflete também na elevada altitude da região, possuindo regiões de brejo de altitude, localizados acima dos 1000m em relação ao nível do mar. Christofolletti (1980) salienta que os processos morfogenéticos, responsável pelo esculpimento do relevo e deterioração da paisagem por parte dos agentes erosivos, são influenciados de grande modo pela declividade e tempo, onde, devido à ampla presença de material rochoso para ser erodido, conferem em regiões suscetíveis a ação intempéricas, e consequentemente erosiva.

A feição topográfica do Município é caracterizada com um perfil homogêneo de ocorrência de cimeiras planas e uma predominância de solos do tipo Neossolos

Litólicos, Neossolos Regolíticos e Argissolos Bruno-azincetados (EMBRAPA, 2018). As unidades geomorfológicas estão relacionadas com a altitude local dentro do patamar erosivo de Garanhuns, sendo uma das feições com maiores elevações do Planalto da Borborema.

A compartimentação geomorfológica da área de estudo corresponde em 5 unidades, sendo elas: Cimeira acima de 900m, cimeira a 800m, rampa coluvial, pedimento com cobertura detrítica e encosta sem recobrimento eluvial. Para o município de Capoeiras, devido à elevada altitude e diferentes morfologias, as cimeiras possuem duas classificações, as localizadas a 800m em patamares regulares abaixo da região de topo, e as localidades de cimeira acima 900m em regiões de topo do relevo local.

**Unidades Morfoesculturais - Compartimentação do Relevo de Capoeiras-PE*

As cimeiras referem-se em regiões de feições parcialmente planas, sendo fonte primária de material sedimentar, com baixas taxas de acumulação e vegetação (LISTO, 2013). Região aproximada com o topo do relevo, correspondente a patamares de menos elevação a categoria anterior, sendo uma localidade moderadamente aplainada, caracterizado pela baixa sedimentação e alta dissecação por cursos hídricos (AZAMBUJA, 2012). Esta classe convém em fácies deposicionais com moderada declividade, caracterizado por ser uma zona de transição entre os patamares elevados e as zonas de acumulação a jusante, sendo depósitos de encosta, recobertos por detritos (LISTO, 2013; SOUSA; SANTOS; *et al.*, 2019; AZAMBUJA; CORRÊA, 2015). Regiões parcialmente planas, localizadas nas margens de relevos residuais, sendo uma zona de transporte de sedimentos oriundo das regiões de topo, possuem usualmente baixos níveis de dissecação devido a declividade amena. (SOUSA; SANTOS; *et al.*, 2019; LISTO, 2013; AZAMBUJA, 2012). Regiões circundantes as localidades de topo, sendo identificadas pela ausência de sedimentos na área da encosta. Este tipo de região é susceptível a interferência por ravinas devido a processos denudacionais (LISTO, 2013; AZAMBUJA, 2012).

As unidades morfoesculturais demonstram um alto grau de relação com a pedogênese local, com as áreas de cimeira acima dos 900 metros de altitude apresentando majoritariamente a presença de Neossolos Litólicos, a cimeira com 800

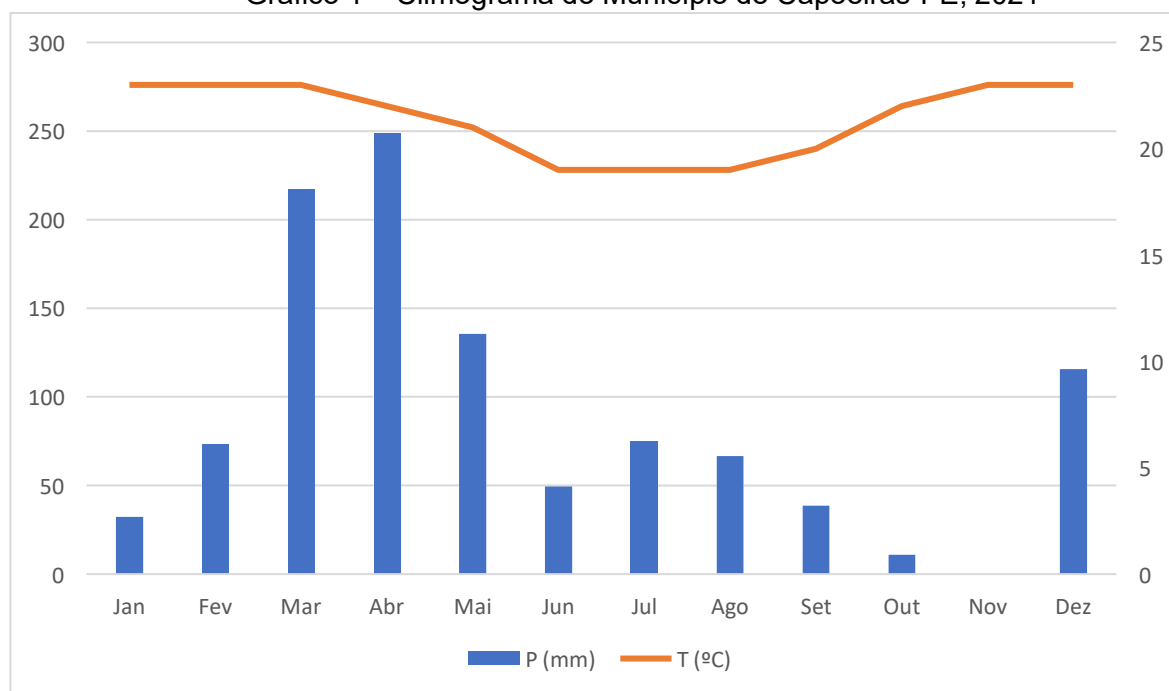
metros de altura, com níveis de dissecação vertical considerados estáveis pela baixa declividade, resulta em acumulação de sedimentos oriundos das regiões de topo por meio da gravidade, estando muito relacionada a ampla presença de Neossolos Regolíticos. As demais unidades geomorfológicas, como as encostas e pedimentos presentes na área de estudo, são recobertos com os Planossolos Nátricos e Argissolos Bruno-azincados por se apresentarem como zonas de acumulação que variam em profundidade, de acordo principalmente com a declividade da área.

3.1.4 Climatologia

Para melhor compreensão da realidade climática local, foi realizado uma revisão literária dos principais efeitos atmosféricos atuantes na região, bem como revisão pluviométrica histórica da área de estudo, para então, averiguar a com precisão dinâmica climatológica local. Portanto, a de acordo com uma melhor descrição do histórico pluviométrico uma determinada área estudo, é fundamental importância para estabelecimento de sua suscetibilidade a perigos naturais (GIRÃO; CORRÊA; GUERRA, 2006). Para a classificação climática de Köppen do município, este é caracterizado como Bsh definido como semiárido quente e Cs'a de clima mesotérmico com verões quentes e chuvas de outono-inverno (MEDEIROS; HOLANDA; *et al.*, 2018; JATOBÁ, 1996).

Conforme demonstrado pelo gráfico 1, podemos identificar uma precipitação anual má distribuída, concentrada em duas estações primárias, sendo uma estação chuvosa, com picos de chuva entre fevereiro a maio, e outra estação de menor expressão pluviométrica, entre junho a novembro.

Gráfico 1 – Climograma do Município de Capoeiras-PE, 2021



Fonte: APAC

**Principais efeitos climatológicos atuantes*

Em conformidade com Nóbrega e Santiago (2014), são dois os principais fenômenos atmosféricos, no qual, são responsáveis pela grande variabilidade pluviométrica do Nordeste brasileiro, são elas O fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS), atuante no Pacífico Equatorial, e o Dipolo do Atlântico, sendo incisivo no Oceano Atlântico Tropical. O ENOS regula as temperaturas de superfície do mar (TSM), sendo o El Niño responsável pelas anomalias de temperatura positivas, e o La Niña pelas oscilações negativas, todavia, os autores reiteram um parcial desconhecimento sobre o oceano Atlântico tropical, enfatizam o Dipolo do Atlântico como um dos principais responsável por anomalias na temperatura de superfície do mar (TSM). Conforme estes autores:

“É notório que diversas pesquisas procuram de fato relacionar anos secos/chuvosos no NEB com ENOS, mas estudos observacionais e estatísticos realizados por Hastenrath e Heller (1977) e simulações numéricas por Moura e Shukla (1981), Servain (1991), Nobre e Shukla (1996), evidenciaram um padrão de anomalias da TSM sobre o oceano Atlântico tropical, comumente chamado de padrão de Dipolo do Atlântico, e que este padrão está associado a mudanças nos valores de precipitação sobre a região Nordeste e Norte do Brasil (NOBREGA & SANTIAGO, p. 108, 2014).”

Tais efeitos, por sua vez, não são os únicos responsáveis pela incisão de chuvas no Nordeste, primeiramente, devido à localização geográfica do município de Capoeiras na porção oriental do Planalto da Borborema, propõe a área de estudo uma climatologia característica para região, com pequenas diferenciações locais. Complementando esta informação, assim como verificado por Azambuja (2007) em estudos para área de estudo próximo da localidade, as principais incidências de precipitação da região conferem sobre interferência da ZCIT (Zona de Convergência Intertropical), seguindo como um dos efeitos climáticos de maior relevância para a área de estudo em consequência com sua posição no oceano devido a variabilidade sazonal de temperatura, pode acrescentar ou inibir a ação das chuvas.

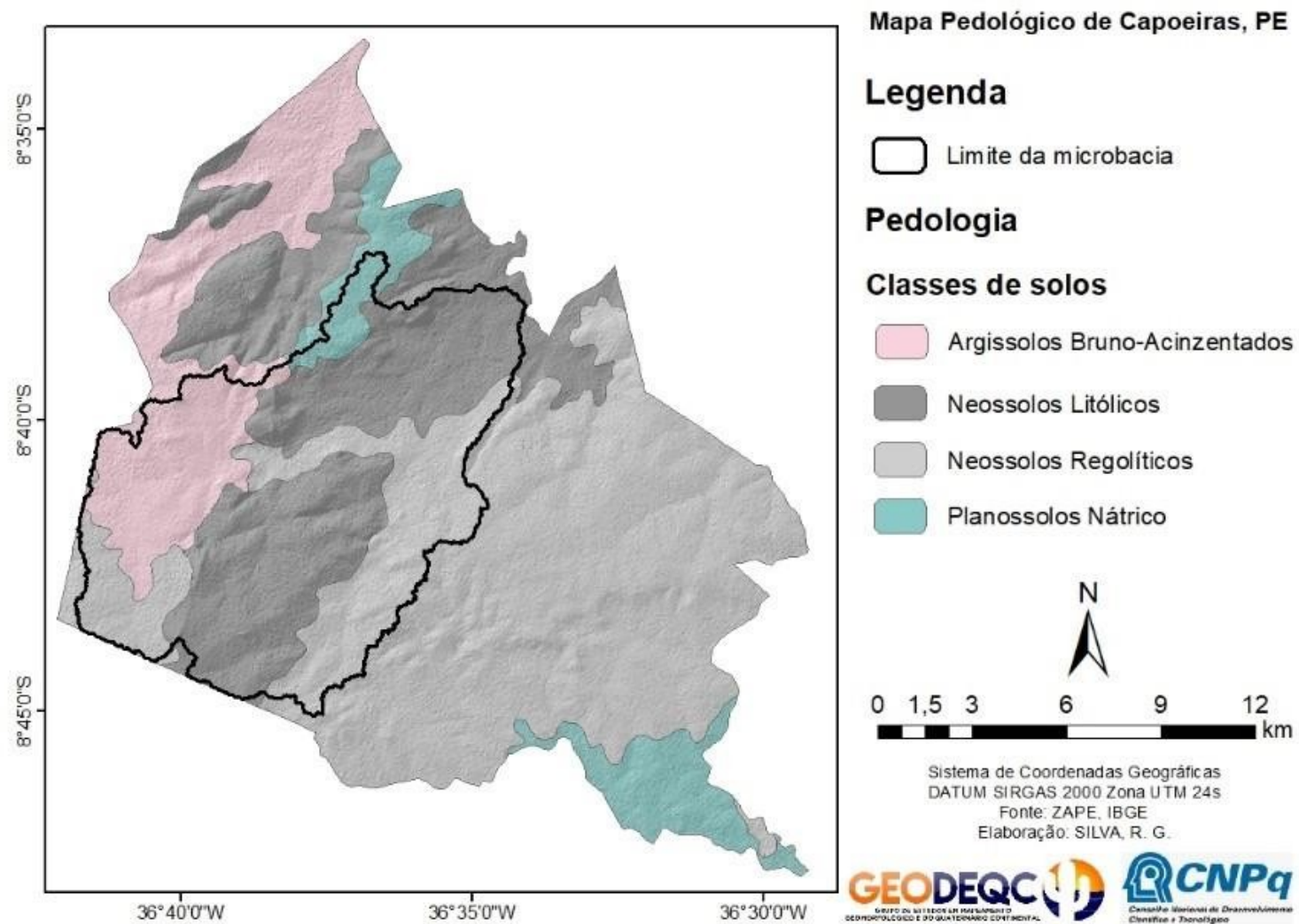
Não obstante, a autora supracitada também associa as precipitações na região com perturbações da Frente Polar Atlântica (FPA), atuando nos meses de inverno, durante estabilização da ZCIT ao hemisfério norte. Listo (2007) também aborda importância da ZCIT para influência meteorológica na região, e acrescenta as influências de altas pressões subtropicais devido ao anticiclone semifixo no hemisfério sul do oceano Atlântico.

**Tendência climática a seca*

Em uma outra perspectiva, de acordo dados obtidos da Associação Pernambucana de Águas e Clima (APAC, 2021), a área de estudo obteve uma precipitação média para o ano de 2021 de 88,4mm de chuva médio anual (gráfico 1). Conforme série histórica pluviométrica produzida por Santos, num período entre 1934-1990, a precipitação atual do município de Capoeiras é de 67,2% menor que o período abordado, possuindo média anual de 270mm. Segundo os estudos estabelecidos por Andrade *et al.* (2018), os resultados se assemelham aos de Santos, encontrando valores de precipitação médio de 436,76mm anuais entre 1985 e 2017. Diante da realidade pluviométrica da região nas últimas décadas, iniciando em meados da década de 1990, o agreste pernambucano sofre uma tendência a diminuição da precipitação média, onde pode estar diretamente influenciar a produção de sedimentos na área de estudo (ANDRADE; NETO; *et al.*, 2018; PEREIRA; SOARES, *et al.*, 2017; SILVA; LISTO, 2022).

3.1.5 Pedologia

Fig. 6 - Mapa Pedológico da área de estudo



Fonte: SILVA, R. G.

Assim como abordado por Bertoni e Lombardi Neto (2017), os solos são um fundamento básico para sustentação de toda a vida na Terra, é nele onde se sustenta a cobertura vegetal, e os seres vivos no continente. Dentre os solos, não estão inclusos apenas as culturas, mas também todo tipo de vegetação, que possa ou não ser utilizada pelo ser humano ao seu favor. Na visão geopolítica, os solos são de fato uma fonte de riquezas e economias, pois são neles onde serão produzidos os alimentos de uma nação, por tanto, por se tratar de um recurso finito, a possibilidade dos nutrientes do solo serem perdidos por erosão, faz com que esta temática seja cada vez mais delicada e importante para estudos como este. (TEIXEIRA; FAIRCHILD; *et al.*, 2009)

Para caracterização pedológica da microbacia em estudo, foi realizado um mapeamento com uso da base de dados proveniente do Zoneamento Agroecológico de Pernambuco (ZAPE, 2001), e o utensílio de dados de mapeamento pedológico da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), e do Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (SIBCS, 2018).

O clima da região, bem como sua geomorfologia são os principais condicionantes pedológicos local, o padrão topográfico do planalto da Borborema, bem como dinâmica pluviométrica amena produzem solos de menor desenvolvimento. O uso do solo também afeta este quesito, sendo a área de estudo um grande domínio da agropecuária.

Dentre as formações declivosas, a topografia desfavorece a presença e formação dos solos, em benefício a erosão. O manto de intemperismo e feições erosivas propõe uma região instável e suscetível a ações erosivas, bem como as características dos solos ali presentes (LISTO, 2007). Diante do levantamento pedológico da região, foi possível encontrar quatro classes de solos presentes, são elas os Neossolos Litólicos, Neossolos Regolíticos, Planossolos Nátricos e Argissolos Bruno-acinzentados.

Os autores Guerra e Cunha (2021) realizaram em seus trabalhos uma associação de fatores que venham a interferir nas condições erosivas físicas e químicas dentre as classes de solos, e foram utilizadas como aporte teórico para descrição das unidades.

São solos caracterizados pela ocorrência em áreas de relevo acidentado, associado a afloramento de rocha, o “Lito”, expressão gênese para rocha, indica a presença de granulometria grossa, relativa à proximidade da rocha primária.

Devido à baixa espessura desta classe, o fluxo de água subterrânea é interrompido prematuramente, favorecendo o escoamento superficial, gerado pela rápida saturação do solo, e superficial, na região. Este tipo de feição deve favorecer a ação erosiva, onde a erosão laminar, e até mesmo em eventos extremos, a ocorrência de deslizamentos, agravado pela associação a encostas, e ausência de cobertura vegetal.

A FAO (Food and Agriculture Organization) conclui sobre esta classe que é possível encontrar a presença de vegetação natural nesta classe de solos, todavia, não em quantidades que possam retardar processos erosivos, sendo este solo muito suscetível a dissecação ou alagamento, dependendo do clima e da topografia.

A gênese desta classe de solo se dá de duas maneiras principais, são elas em depósitos arenosos, ou formação sobre rochas pré-cambrianas, e por isso, são um dos solos de maior recorrência no semiárido brasileiro (sertão e agreste). Estudos da FAO concluem que sua origem pode estar atrelada a alúvios, e podem ocorrer tanto em regiões áridas quanto em regiões polares.

*Classes Pedológicas

Os Neossolos Regolíticos, assim como os Litólicos possuem pouco desenvolvimento, e ampla presença de frações de areia, caracterizando textura arenosa, e estrutura bangular fraca.

Conforme os Neossolos Regolíticos estarem em grande parte das vezes associados a depósitos arenosos, tal granulometria deve se tornar um agravante erosivo, principalmente quando coordenados com o fator declividade, onde as regiões de encosta, e o predomínio de areias grossas e cascalho, favorecem o desprendimento de partículas *in-loco*.

Como descrito pelo ZAPE, os Planossolos possuem maior expressão na região do Nordeste brasileiro. Esta classe se diferencia pela dificuldade em drenagem subsuperficial, uma vez que seu horizonte diagnóstico possui alta fração de argila, com densidade aparente semipermeável.

Esta pedologia faz-se presente em topografias planas, o que deve associar-se a presença de acúmulo d'água em épocas de chuva, bem como processos de oxidação e ambiente redutor, pelo excesso hídrico.

A FAO define estes solos pela capacidade de acumulação de sais de sódio nos horizontes superficiais, e acumulação significativa de argila subsuperficial. Devido ao acúmulo de sódio, agriculturas irrigadas demandam uma extrema atenção por parte dos agricultores, afim de evitar precipitação de sais, provocando a salinização do solo.

De maneira geral, os Argissolos formam-se principalmente sobre paisagens antigas, e predominam sua distribuição em topografias de cerca maneira onduladas, sobretudo dentre climas tropicais. Eles são definidos principalmente pela presença de argilas caoliníticas acumuladas, no qual, possui influência de grande maneira em sua textura argilosa. Conforme estudos da FAO, os Argissolos comportam uma vegetação principalmente florestal, mas que podem ceder lugares a savanas, devido a extensa lixiviação e processos agrícolas no solo, provocando elevada erodibilidade, resultando em baixos níveis de nutrição para as plantas. Todavia, em cultivos tradicionais, o solo é flexível e adapta-se bem, e se mantém em boas condições mineralógicas em culturas menos ostensivas, mantendo uma fertilidade plausível a agricultura.

A classe de Neossolos, pode ser considerada como uma das categorias de solo com maior instabilidade, devido ao seu baixo grau de desenvolvimento e profundidade, estando mais sujeito a fatores externos. Para sustentar a importância e atenção sobre estes tipos de solos, segue citação de Jatobá *et al.* (2014).

“A ocorrência dos neossolos associados a relevos movimentados indica uma necessidade de maior esforço para evitar a erosão e conseguir alcançar patamares de produtividade aceitáveis, com menores riscos. Nesses tipos de solos é prudente que sejam evitadas culturas mais exigentes em água, principalmente neossolos litólicos ou até mesmo regolíticos, onde a presença massiva da fração areia impede retenção de umidade capaz de manter as culturas completarem seu ciclo vegetativo adequadamente.” (Jatobá *et al.* p.133, 2014).

Devido ao desenvolvimento demasiado da população, no qual, derivam uma grande pressão sobre a agropecuária para produção de alimentos, ocasionam no desmatamento de diversas regiões preservadas para fins comerciais e expansão de áreas agricultáveis. Segundo Teixeira *et al.* (2009), este tipo de proposta é dado como

“ilusório”, devido à pedologia da região tropical ser considerada com alta instabilidade e fragilidade, sendo facilmente erodidos com o desmatamento. Ainda segundo tal autor, uma das melhores estratégias para a conservação dos solos, seria adoção de práticas conservacionistas, bem como do uso adequado dos solos já existentes, evitando assim o desmatamento.

3.1.6 Vegetação

A vegetação possui como principal serventia a defesa natural contra ação erosiva do terreno, ela desempenha um papel fundamental no dinamismo geomorfológico local, atuante em contrapeso de processos erosivos incisivos, tendo capacidade de reduzir o impacto das gotas de chuva, e produção de sedimentos a serem erodidos. (LISTO, 2013; GUERRA e CUNHA, 2015; GUERRA e JORGE, 2013; CHRISTOPHERSON; BIRKELAND, 2017).

Em estudos da região agreste de Pernambuco, o principal domínio de vegetação da região é a caatinga hiperxerófila, principalmente associada à elevada presença de Neossolos Litólicos, com presença de Planossolos Nátricos em suas limitações. Já para o município de Capoeiras, a vegetação permanece diante das condições climatológicas da região, esta hipótese é sustentada pelo mapeamento de uso de ocupação do solo, onde demonstra ampla presença da vegetação de caatinga, ocupando cerca de 38,28% do, entretanto, a área de estudo possui seu uso do solo sobre grande domínio antrópico, segundo dados do MapBiomas (2020), ocupando 61% para agropecuária no município.

Conforme estes estudos comparativos entre Índices de Vegetação proposto por Silva e Listo (2022), ao analisar a resposta espectral entre o Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (IVAS) e o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN) durante cenários com maiores e menores registros pluviométricos, destacaram a presença de vegetação majoritariamente rasteira, do tipo gramínea, bem como áreas de pastagem e solo semi-exposto pelo uso antrópico excessivo. Tais autores definiram que ambos índices de vegetação propuseram resultados satisfatórios, entretanto, o IVAS, pela flexibilidade de ajuste a exposição do solo, deve resultar em respostas no qual mais se aproximem da realidade. Os autores não identificaram a presença de vegetação densa na área estudo, todavia, a vegetação de caatinga herbácea, bem

como a caatinga em dimensões arbórea-arbustiva podem ser encontradas, tanto para cenários com elevados índices de pluviosidade, quanto num cenário de estiagem, tal vegetação faz-se presente em toda a região fitogeográfica da caatinga, como uma das culturas mais abundantes de todo o Estado de Pernambuco (AZAMBUJA, 2012). Devido a elevada sazonalidade e conseqüentemente, má distribuição das chuvas, duas estações do ano distintas são formadas, sendo elas uma estação chuvosa, e outra seca, devido à ausência de efeitos atmosféricos atuantes.

*Índice de Vegetação Ajustado ao Solo

O Índice de Vegetação Ajustado ao do Solo é composto por variação na fórmula original do IVDN, propondo características de ajuste a sensibilidades do solo. Foi criado para minimizar o impacto de fatores externos no espectro do índice de vegetação, e é um método satisfatório onde vem a ajustar os efeitos da refletância do solo exposto (RIBEIRO; SILVA; SILVA, 2016). Foi usado pela primeira vez por Heute (1988), e faz uso das bandas de infravermelho e vermelho do IVDN, entretanto, acrescenta o fator de ajuste a refletância, portanto, o IVAS é expresso pela seguinte equação:

Equação 1

$$\text{IVAS} = (\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{RED} + \text{L}) * (\text{L} + 1)$$

Para este caso, L se apresenta como valor para minimizar o efeito do solo nesta pesquisa, foram utilizados os valores de L=1 corresponde a Vegetação Baixa, e o valor de L=0,5 condizente a Vegetação em níveis Médios (SILVA; LISTO, 2022).

A obtenção das imagens foi feita através da plataforma online do Serviço Geológico Americano (USGS), Earth Explorer. Originou-se da órbita/ponto 215/066 do satélite Sentinel-2, datado em 9 de fevereiro de 2022. A resolução espacial da imagem capturada é de 10mx10m. Esta, por sua vez, foi vetorizada em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG) pelo ArcGIS versão 10.5 desenvolvido pela ESRI. O georreferenciamento foi realizado no mesmo ambiente adotou o datum de sistema de projeção cartográfica SIRGAS 2000.

A escolha do Índice de Vegetação Ajustado ao Solo foi feita baseado um critério principal, conforme abordado na pesquisa de Silva e Listo (2021), o IVAS possui um valor de ajuste chamado de “L” ao Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN), afim de reduzir os efeitos do grau de refletância do solo, sendo o índice de vegetação mais adequado para o uso dos biomas com maior exposição de solo e maior espaçamento da vegetação, como por exemplo a caatinga. Esta suposição é sustentada por uma série de documentos na literatura comprovando a eficiência do IVAS em regiões de clima árido ou semiárido como as desta presente pesquisa, sendo amplamente utilizado para fins de averiguar a vegetação de determinada região por meio do sensoriamento remoto. (HEUTE, 1988; ARAÚJO, MACHADO e SOUZA, 2009; RIBEIRO, SILVA e SILVA, 2016; RÊGO, LIMA, et al., 2012; SILVA e GALVÍNCIO, 2012; DEMARCHI, PIROLI e ZIMBACK, 2011).

3.3 Modelo Matemático

3.3.2 Equação Universal de Perda de Solos (USLE)

A Equação Universal de Perda de Solo é um modelo de erosão laminar projetado para prever as taxas perdas de solo em longo prazo para escoamento superficial, amplamente utilizado para áreas de campo agrícola em sistemas específicos de cultura e manejo (ZHANG; ZHANG; *et al.*, 2011). Este modelo considera fatores naturais e antrópicos, os quais podem ser avaliados com uso de geotecnologias. A USLE, segundo Wischmeier e Smith (1978), representa seus fatores condicionantes sendo expressa pela equação (1):

Equação 2

$$A = R * K * (L * S) * (C * P)$$

A = índice que representa a perda de solo por unidade de área (ton/ha.ano);

R = índice de erosividade da chuva (Mj.mm/ha.h.ano);

K = índice de erodibilidade do solo;

L = índice relativo ao comprimento da vertente;

S = índice relativo à declividade da vertente;

C = índice relativo ao fator uso e manejo do solo;

P= índice relativo à prática de conservação adotada.

**Fator de erosividade das chuvas (R)*

Para construção do fator erosividade das chuvas, foi compilado uma planilha eletrônica com os valores de precipitação mensais para a presente área de estudo, os valores obtidos possuem origem dos dados pluviométricos disponibilizados pela APAC, propondo séria histórica dentre os anos de 2000 até o ano de 2021, afim de produzir um cenário relativo a uma escala de tempo, com amplitude suficiente para melhor detalhamento do input climático na região de estudo. Para execução do cálculo da erosividade, foi utilizado fórmula proposta por Guerra *et al.* (2015) (equação 2) onde, EI = Erosividade média; p = precipitação média mensal; P = precipitação média anual. Todo o procedimento foi decorrido no ArcMAP versão 10.7.

Equação 3

$$EI = 0,866 \cdot (p^2/P)^{0,85}$$

Os números de EI por intermédio da ferramenta “covert coordinate notation”, foram convertidos em pontos geográficos, e posteriormente através da ferramenta “IDW”, foram interpolados e convertidos em valores em rasters.

**Fator erodibilidade do solo (K)*

Para fator erodibilidade dos solos foi utilizado a base de dados do Zoneamento Agroecológico do Estado de Pernambuco (ZAPE, 2001) disponibilizado pela Empresa Brasileira de Agropecuária (EMBRAPA). O mapa foi georreferenciado em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG) e utilizado as limitações da área de estudo como máscara para recorte pela ferramenta “Clip”. A coloração dos solos seguem referência do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SIBCS, 2018). Os valores de K, potencial erosivo do solo, seguiram parâmetros anteriormente utilizados na literatura pedológica, assim como citados pela tabela 1. Os valores de K são expressos em $\text{ton} \cdot \text{ha} \cdot \text{h} (\text{ha} \cdot \text{MJ} \cdot \text{mm})^{-1}$

Tabela 1 - Valores do fator K

Classe de Solo	Valor de K	Fonte
Neossolo Litólico	0,04	Ribeiro e Alves (2007)
Neossolo Regolítico	0,03	Xavier <i>et al.</i> (2018)
Argissolo Bruno-Acinzentado	0,052	Gil (2017)
Planossolo Nátrico	0,02	Xavier <i>et al.</i> (2018)

**Fator Topográfico (LS)*

Assim como o utilizado para mapa topográfico do SWAT, a realização do fator LS foi obtida com uso de um Modelo Digital de Terreno (MDT), obtido gratuitamente no portal Alaska Satellite Facility (ASF), o satélite utilizado foi ALOS PALSAR, possuindo resolução espacial de 12m². O cálculo para obtenção do fator LS foi efetivado em ambiente SIG, onde primeiramente, o raster MDT da área de estudo foi submetido a ação “slope” para retirada dos valores em porcentagem da declividade local (Fator S), em seguida, o mesmo MDT da área de estudo foi aplicado as ferramentas de “fill” para correção de possíveis imperfeições no raster, “flow direction” para determinação da orientação do relevo, e a seguir, “flow length” (Fator L). Com os dois rasters em mãos, fatores LS juntos, foram aplicados a equação 3 para obtenção dos valores finais deste Fator.

Equação 4

$$LS = 0,00984 * L^{0,63} * S^{1,18}$$

Onde:

L= Comprimento da vertente

S= Declividade média da área de estudo

**Fator Uso e Cobertura do solo e Práticas Conservacionistas (CP)*

Para a representação do fator Uso e Cobertura do solo e Práticas Conservacionistas, foram utilizados valores anteriormente aplicados na literatura, em referência na tabela 2, onde os valores de CP foram inseridos ao raster de uso e cobertura do solo, recalculados com os valores atualizados.

Tabela 2 - Fator CP para usos do solo

Classe de uso do solo	Valor do Fator CP	Fonte
Formação Florestal	0,00004	Paranhas Filho <i>et al.</i> (2003)
Formação Savânica	0,013	Silva (2010)
Pastagem	0,01	Paranhas Filho <i>et al.</i> (2003)
Cana de Açúcar	0,3066	Ribeiro e Alves (2007)
Mosaico de Agricultura e Pastagem	0,025	Oliveira (2012)
Infraestrutura Urbana	0,0001	Paranhas Filho <i>et al.</i> (2003)
Solo Exposto	1	Xavier <i>et al.</i>
Corpo hídrico	0	Paranhas Filho <i>et al.</i> (2003)

Fonte: Autor

Para realização do mapeamento de uso e ocupação do solo, foram utilizados como referência a plataforma do MapBiomas Coleção 6 (2021). A plataforma disponibiliza seus dados através do satélite Landsat, que dispõe resolução espacial de 30m².

Segundo o MapBiomas, as classes caracterizadas para a região de estudo são: Pastagem, Formação Savânica, Infraestrutura Urbana, Rio e Lago, Mosaico de Agricultura e Pastagem, Formação Florestal, Cana de Açúcar, Solo Exposto. A

microbacia apresentou grande parte de seu uso como antrópico, onde a classe de pastagem predominou no uso, ocupando 62,85% da área total da microbacia para o ano de 2020.

Perante estes resultados obtidos, aplicar o conhecimento científico direcionando-o a um conhecimento escolar, pode se tornar de grande valia para o desenvolvimento intelectual dos estudantes, sobretudo para gerar uma consciência acerca da conservação ambiental, e dos impactos que os seres humanos podem causar no meio ambiente. Portanto, através do aporte teórico desenvolvido através de bases científicas confiáveis e amplamente utilizadas na literatura ambiental, foi proferido um plano de ensino para representar estes resultados de maneira que se adeque as necessidades do ensino em nível escolar, principalmente para estudantes em nível de ensino médio, devido ao conhecimento prévio obtido por temas como geomorfologia, geologia, pedologia entre outros.

A elaboração deste plano tem como objetivo construir com os estudantes o conhecimento acerca da conservação do meio ambiente, desenvolvimento sustentável, agricultura sustentável, e diversos outros temas de grande relevância, tanto para o convívio harmônico entre sociedade e meio ambiente, quanto para conhecimento técnico aplicável em temas de vestibulares.

3.3 Proposta de plano de aula

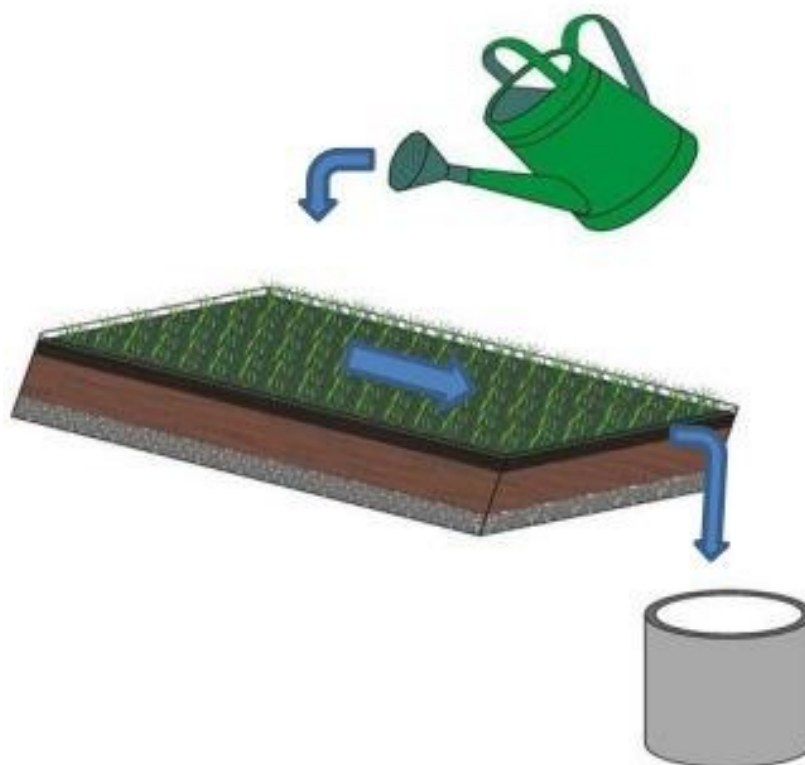
Com a atuação crescente dos processos erosivos atuando sobre a paisagem e os solos continuamente, os valores adotados pelos seres humanos relacionados ao meio ambiente demandam estudos concretos entre a sociedade. Para que este tipo de filosofia conservacionista chegue até os cidadãos, muito se deve ser feito para compartilhamento deste tipo de informação. Caso as consequências do mau uso do solo não cheguem aos ouvidos da população, podemos tornar-nos muito dependentes do acaso no tocante à agricultura e produção agrícola, principalmente quando a erosão em níveis elevados ocorrer, e inviabilizar determinada cultura ou plantio, tornando assim, cada vez mais necessário conhecer melhor os solos e as modificações que a erosão impõe sobre eles. (QUADROS, NASCIMENTO e SARTORI, 2015).

Para contribuir com esta ciência, Comin *et al.* (2013) contribui que:

No entanto apesar da ciência reconhecer a importância do estudo do solo, muitas vezes o professor não coloca em prática esta temática como deveria, seja por conveniência ou por falta de conhecimentos mais aprofundados. Desta forma, acaba de modo geral, ministrando uma aula tradicional, cansativa e que muitas vezes não chama a atenção dos educandos. (COMIN; *et al.* p. 1).

As importâncias destas formas de metodologias contribuem de maneiras muito significativas para os estudantes, fornecendo uma didática interativa e divertida. Entretanto, segundo autores como Saldanha *et al.* (2017) e Pereira e Vieira (2013), por muitas vezes as instituições de ensino escolar carecem de sensibilidade no tocante a relevância que os estudos sobre solos podem ser entregues aos estudantes, onde, num espaço que deveria dedicar a vivência e aprendizado do estudante, em prol de sua melhor vivência quando relacionado ao meio ambiente, a temática de conservação dos solos e meio ambiente, é por muitas vezes negligenciada, tanto num contexto de escolas em grandes cidades, dentre cenários urbanos, quanto em escolas rurais, que deveriam estar imergidas quando se trata de conservação dos solos.

Fig. 7 – Simulação do experimento em animação

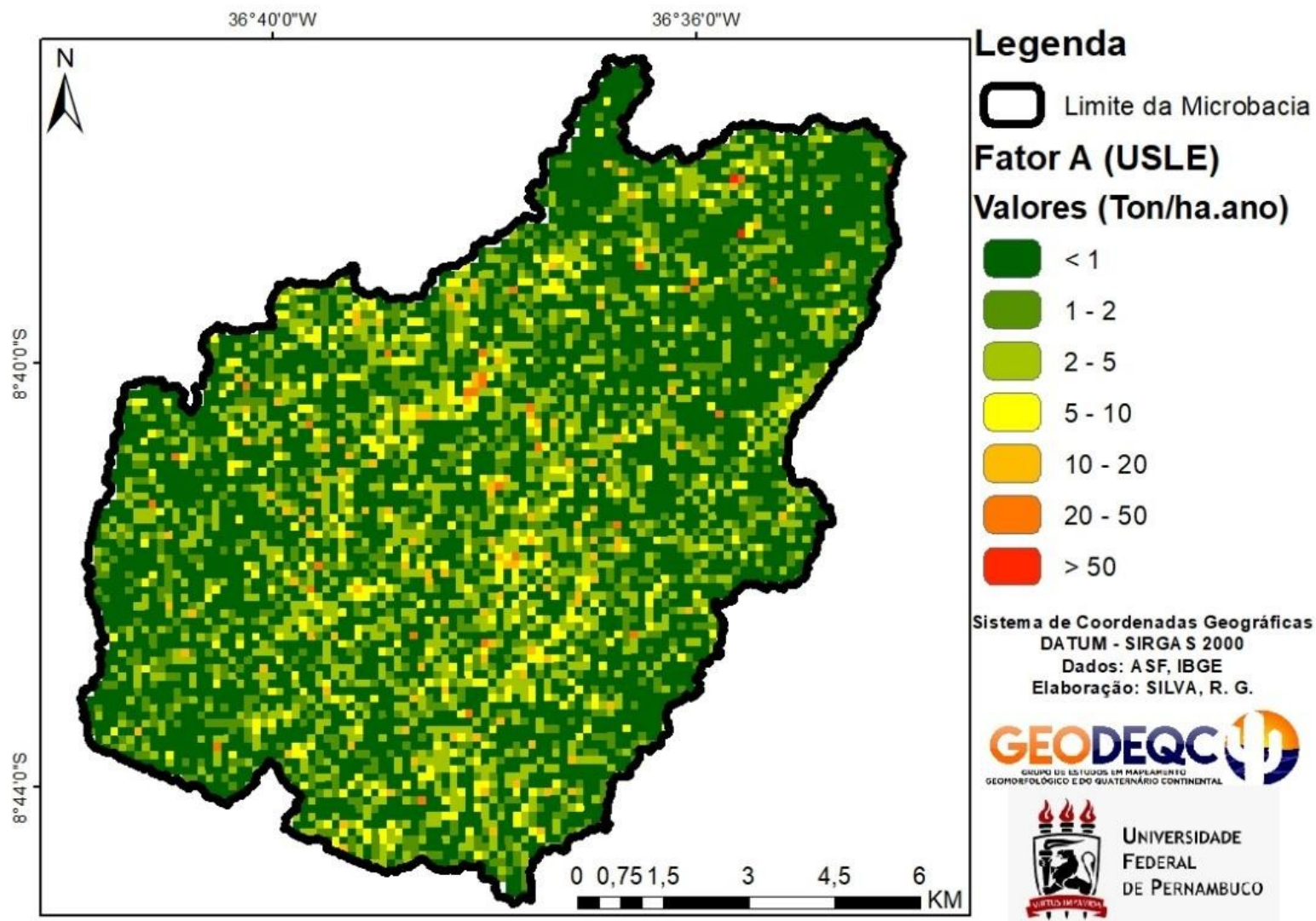


Fonte: Adaptado de Quadros *et al.*

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.2 USLE (Pluviosidade entre anos 2000 e 2021)

Fig. 8 – Mapa USLE para potencial de perda de solos (Ton/ha.ano).



Fonte: SILVA, R. G.

As classes de perdas de solo foram divididas em 7 classes, destacadas pela tabela 3, os resultados da distribuição de perda de solos no município pela álgebra dos fatores da USLE em ambiente SIG, Majoritariamente, a produção de sedimentos esteve concentrada abaixo de 1 ton/ha.ano, entre 1 e 2 ton/ha.ano, e entre 2 e 5 ton/ha.ano, no qual, a partir desta última classe mencionada, a distribuição de áreas suscetíveis a erosão permaneceu decrescendo conforme o nível de perda de solos aumentava.

Tabela 3 - Classes de potencial de perda de solos e distribuição.

Nível de erosão	Classes Ton/ha.ano	Distribuição em %	Distribuição em Km²
Muito Baixo	< 1	57,43	67,69
Baixo	1 - 2	13,29	15,62
Moderado	2 - 5	18,41	21,70
Alto	5 - 10	7,59	8,94
Muito Alto	10 - 20	2,49	2,93
Extremamente alto	20 - 50	0,72	0,86
	> 50	0,07	0,09

Fonte: Adaptado de Miguel *et al.* (2011)

A perda de solos média para região de estudo, numa escala temporal analisada de 21 anos, foi definida conforme a álgebra de mapas como 2,11 ton/ha.ano, já desvio padrão esteve em 4,46 Ton/ha.ano, assim como demonstrado pela tabela 4 é possível observar através destes resultados que a declividade possui um papel fundamental para determinação dos focos erosivos da área de estudo. A rugosidade do terreno pela baixa espessura da vegetação nativa também é um fator que estende os processos erosivos na região. Conforme critérios obtidos pela FAO (1980), regiões de perda de solo abaixo de 10 ton/ha.ano são consideradas baixo nível de erosão. Estas localidades compreendem em aproximadamente 96% da área total da microbacia.

Tabela 4 – Estatísticas da USLE em Ton/ha.ano.

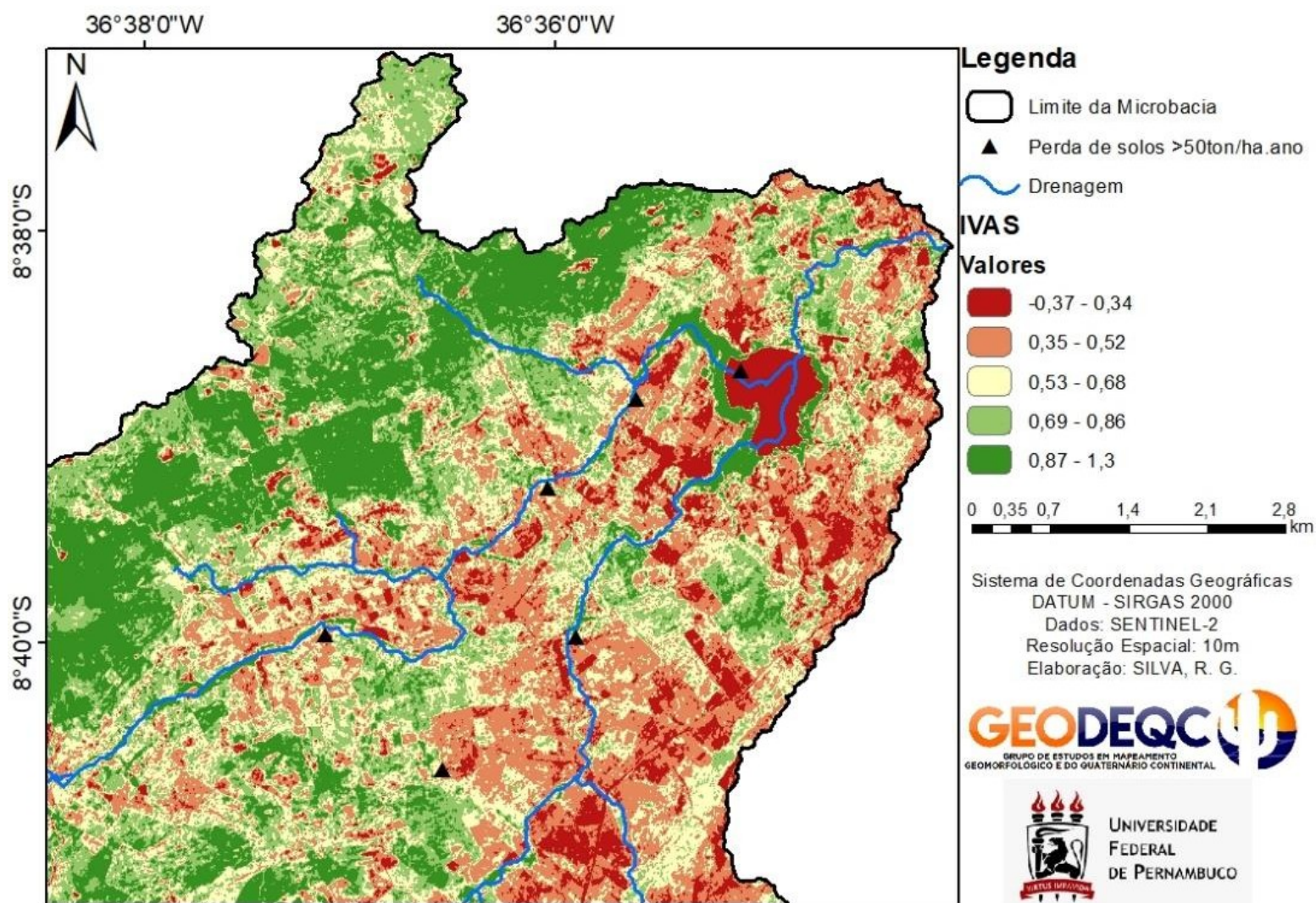
Máximo	117,53
Média	2,11
Desvio Padrão	4,36

Fonte: SILVA, R. G.

Devido a estes critérios, mesmo devido ao amplo uso antrópico na área de estudo, a baixa incidência de chuvas média, bem como a declividade média relativamente aplainada, faz com que haja uma menor produção de sedimentos *in loco* na microbacia. Todavia, focos erosivos de níveis moderados a avançados, mesmo em menor expressão, se fazem presentes na região, sobretudo em regiões de incidência das classes pedológicas de Neossolos Litólicos, declividades mais acentuadas no relevo, e regiões de maior vazão da drenagem local.

4.3 Fator vegetação

Fig. 9 - Incidência da perda de solo acima de 50ton/ha.ano sobre Índice de Vegetação Ajustado ao Solo.



Fonte: SILVA, R. G.

O mapeamento de perda de solos, quando analisado em conjuntura com Índice de Vegetação Ajustado ao Solo, podem ser identificados que os focos de perda de solos acima de 20 ton/ha.ano, principalmente em regiões vegetadas por Caatinga, e não apenas em áreas de uso do solo ostensivo. Conforme pesquisas proferidas pela FAO, estes níveis de sedimentos anuais produzidos podem produzir, inclusive, elevados níveis erosão e dissecação do solo. Estas regiões com altos níveis de erosão encontrado nos resultados, mesmo em localidades preservadas, podem ser explicadas pelo alto espaçamento da vegetação hiperxerófila, bem e suas características fisiológicas, podendo conter em determinadas localidades até 117 ton/ha.ano de sedimentos produzidos.

No mapeamento representado pela figura 7, as regiões em coloração verde escuro próximas do valor 1 são definidos como Caatinga arbóreo/arbustiva, e podem ser encontradas focos de perda em níveis moderados a elevados. Já as colorações avermelhadas, solo exposto, área urbana e corpos hídricos, próximas do valor 0, e estes, por sua vez, assim como esperado pelas pesquisas, localizam-se as incidências mais graves de erosão, principalmente devido à ação ostensiva da pastagem, e uso agrícola sem qualificações de manejo adequado. Mesmo sendo encontrado focos de erosão em regiões majoritariamente preservadas, a incidência de perda de solos mais graves acima de 50 ton/ha.ano, encontra-se, de grande maneira, em regiões de semi-exposto, próximo ao exultório, onde há maior concentração e potencial de vazão hídrica da microbacia.

Entretanto, devido à elevada declividade em algumas regiões do município, o uso do solo para pastagem e agricultura encontra-se inviabilizado, isso corrobora para que os focos da vegetação nativa estejam em concordância com áreas em níveis de declividade intermediárias, e por esta razão, a produção de sedimentos pode ser encontrada em diversas regiões da microbacia, mesmo em áreas vegetadas, assim como demonstrado pelo mapeamento da USLE.

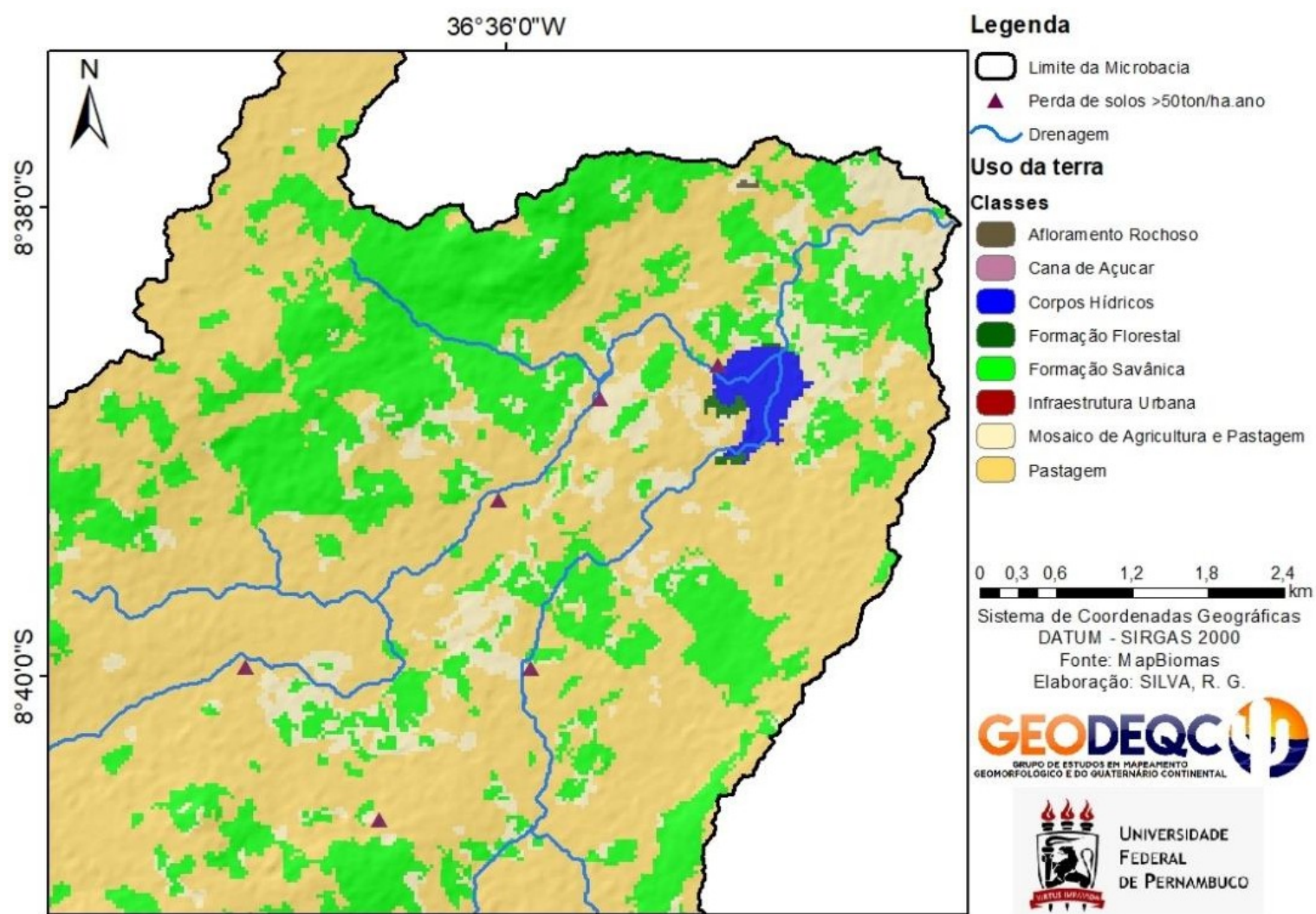
Em uma perspectiva generalista, a influência da vegetação na mitigação risco ambiental de erosão é considerada de grande relevância, para colaborar com essa afirmação, autores como Lemos e Ferreira (2003), Santos *et al.* (2000), Silva *et al.* (2012), Cândido *et al.* (2014), e Costa e Rodrigues (2015), reiteram o uso de conservação da vegetação nativa como uma das maneiras mais eficientes para

manutenção de subsídios relacionados conservação ambiental, e colaboram significativamente com esta temática, sobrepondo a resistência da vegetação devido a sua fisionomia com a retenção energia cinética das chuvas em regiões de encosta, diminuindo o poder erosivo, e impedindo a compactação do solo pelo impacto direto das gotas da chuva, elevando taxas de infiltração em detrimento do escoamento superficial.

4.4 Fator uso da terra

Contudo, mesmo diante do cenário desfavorável para retenção de erosão por parte da vegetação nativa, ao realizar uma sobreposição da incidência da perda de solos em sua classe mais ostensiva, sendo acima de 50 ton/ha.ano, a produção de sedimentos nessa escala ocorreu em maior parte em regiões com domínio de solo antrópico, assim como evidenciado pela figura 8, possuindo distribuição de 84% do foco de perda de solos acima de 50 ton/ha.ano de toda a área da pesquisa em áreas de pastagem/agricultura.

Fig. 10 – Incidência da perda de solo acima de 50ton/ha.ano sobre mapa de uso do solo.



Fonte: SILVA, R. G.

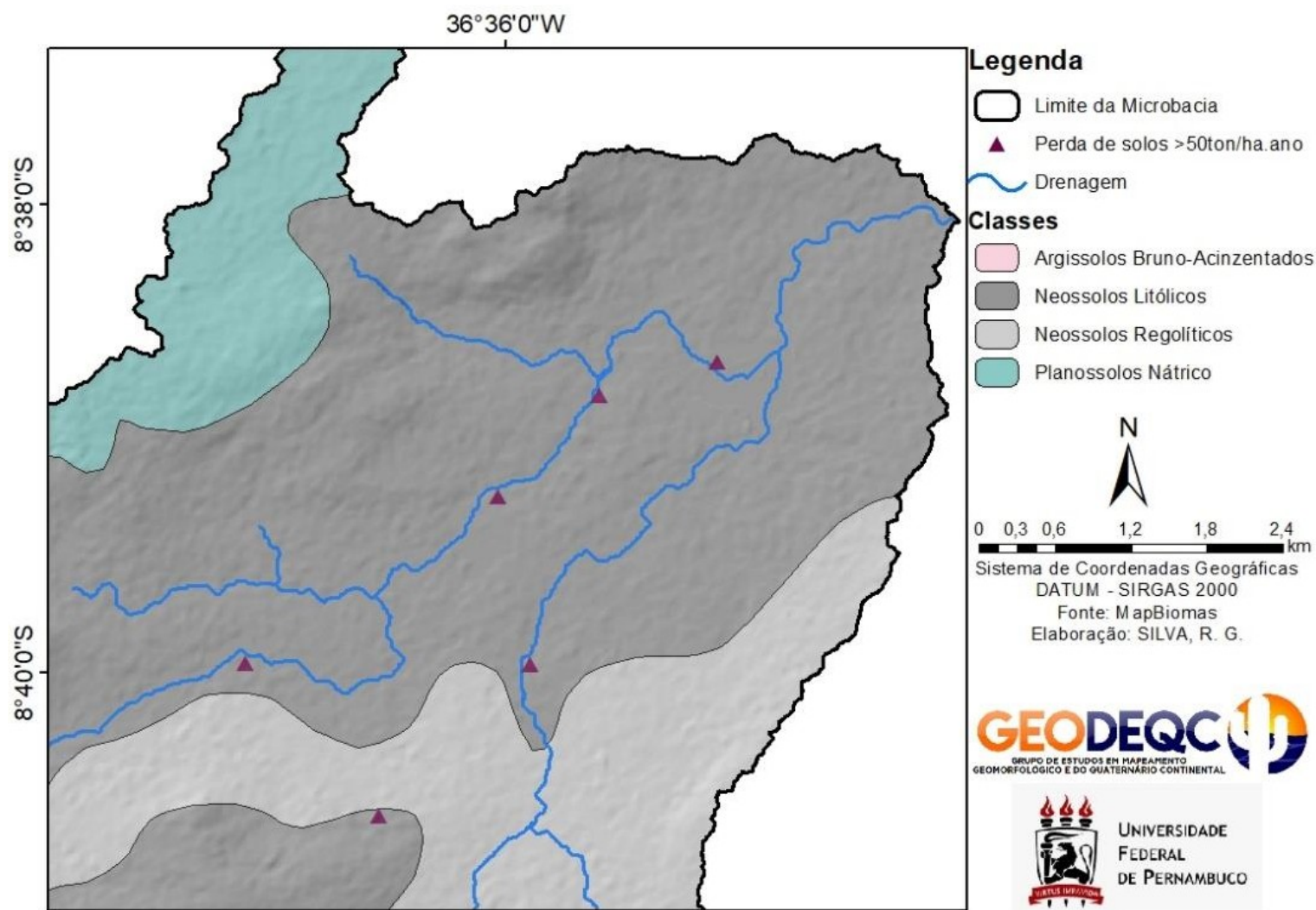
Este fator reitera que, mesmo os valores totais da perda de solos da área de estudo ser considerada baixa, existem focos de erosão extremamente alta em determinadas condições de uso, principalmente quando relacionadas as características pedogenéticas, rede de drenagem e declividade. Pesquisas como as dos autores Montebelo *et al.* (2005), Caten, Minella e Madruga (2012), Oliveira *et al.* (2012) e Volk e Cogo (2008) confirmam esta suposição, onde desenvolvem em suas pesquisas um alto grau de influência antrópica sobre a erosão, sobretudo nos horizontes superficiais, mais suscetíveis a ação exógena do clima e biosfera de maneira geral.

Trindade e Rodrigues (2016) em seu trabalho desenvolvido para evolução temporal nos níveis de erosão devido ao crescimento do uso antrópico, concluem resultados semelhantes, onde devido ao uso sem prescrições do solo devem levar riscos elevados de erosão *in-loco*, afetando de grande modo não apenas a localidade em questão, mas também a qualidade dos recursos hídricos.

4.5 Fator Pedológico

No tocante a sobreposição da perda de solo em sua classe extremamente alta, 100% da incidência desta categoria esteve presente sobre as unidades pedológicas de Neossolos Litólicos, este valor dominante sobre esta classe pedológica, é refletida devido principalmente as características de textura e rugosidade superficial predominante nestes solos. As características pedogenéticas dos Neossolos Litólicos, associados a influência da drenagem, principalmente em épocas de atividade pluviométrica, fazem com que esta classe esteja muito suscetível ao risco de erosão.

Fig. 11 – Incidência da perda de solo acima de 50ton/ha.ano sobre mapa pedológico.



Fonte: SILVA, R. G.

Autores como Castro *et al.* (2006), Santos, Sakedo e Candeiras (2002), Bertol e Almeida (2000) e Sanchez *et al.* (2009) reafirmaram em suas pesquisas a importância da rugosidade e textura superficial, como de grande importância para determinação de suscetibilidade erosiva de determinada classe pedológica. Estas características, quando associadas ao uso antrópico do solo, principalmente sem práticas de manejo adequadas, podem levar a região a nível de dissecação superficial muito elevados e prejudicial à saúde ambiental.

Mendes (1982) e Campos *et al.* (2008) em suas pesquisas contribuem para a temática da pedogênese associada a feições do relevo, favorecendo ou não a formação de solos com maiores potenciais de risco a erosão, atrelando o fator topográfico com o delineamento da drenagem regional, bem como traços pedológicos das classes de solo subjacentes, tais como encontradas neste estudo no contexto das classes pedológicas de Neossolos.

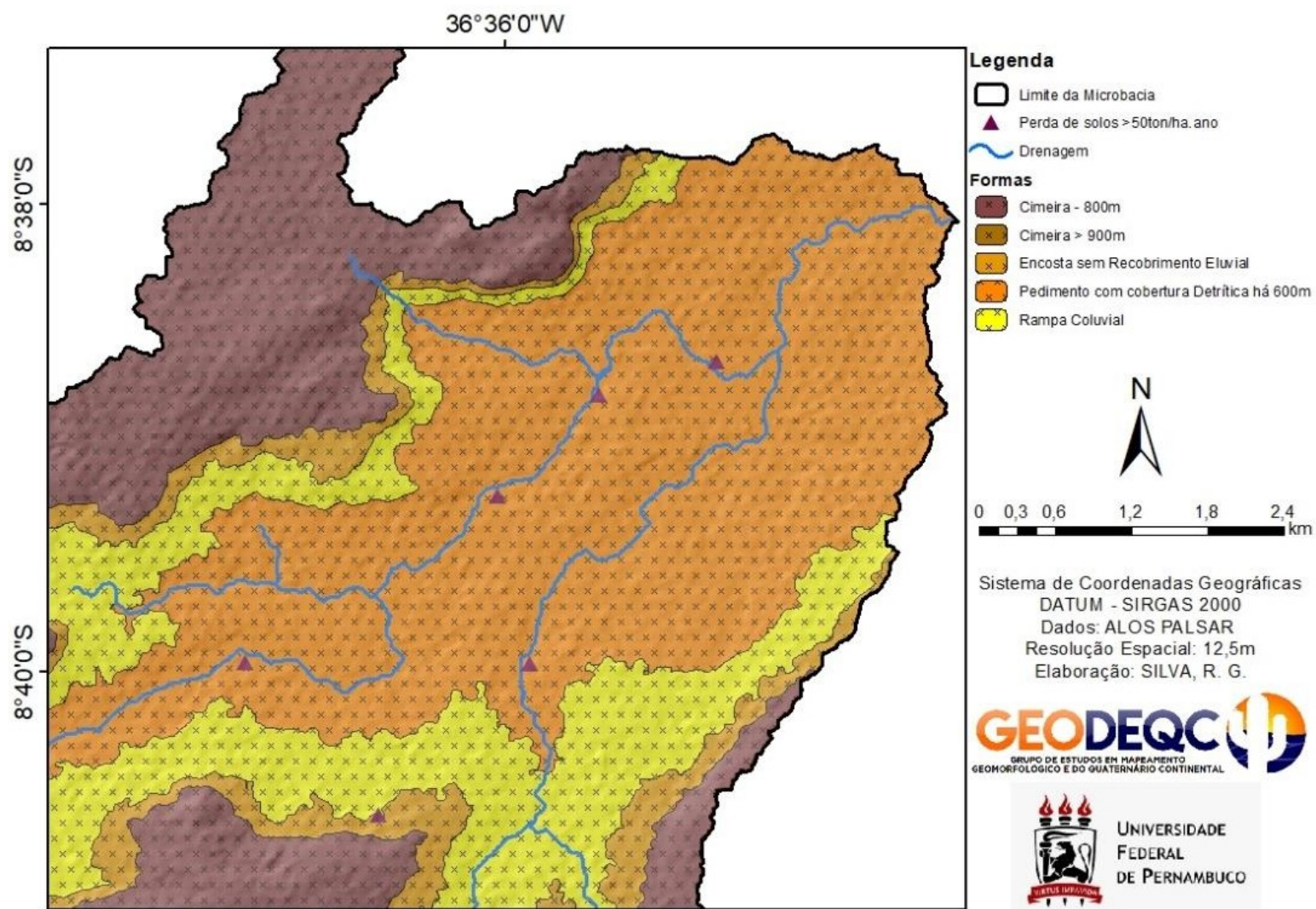
4.6 Fator Geomorfológico

Entre a relação da frequência de focos erosivos mais graves com a feição geomorfológica, os focos erosivos da classe extremamente alta estão quase em sua totalidade está sobre a unidade de dissecação de Pedimento com cobertura detrítica.

Souza *et al.* (2010) e Fett e Junior (2006) reafirmam que os pedimentos, mesmo sendo superfícies morfogenéticas aplainadas, podem possuir uma parcial declividade, revestido por material litológico desagregado a rocha matriz, podendo ser associado ao saprólito, contendo material genético associado a proximidade dos horizontes inferiores. Este material detrítico é caracterizado pela ruptura de declive, sendo uma superfície angulosa com forte proximidade com vertentes de superfícies tabular, ainda em fase de desenvolvimento. Souza *et al.* (2010) complementam esta afirmação e relacionam a incidência desta classe morfogenética com a formação de Neossolos

Litólicos devido à ampla presença de substrato arenítico, estas características corroboram para desenvolvimento de materiais pedológicos suscetíveis a dissecação do relevo.

Fig. 12 – Incidência da perda de solo acima de 50ton/ha.ano sobre mapa geomorfológico.



Fonte: SILVA, R. G.

Bigarella, Mousinho e Silva (2016) em citação a McGee (1897) confirmam resultados semelhantes como as da presente pesquisa, sendo uma das principais características dos pedimentos, a presença de uma superfície de inclinação suave, mas resultante de uma forte ação erosiva em sopé de vertentes escarpadas. Estas superfícies de erosão muitas vezes podem estar em correlação com erosão laminar, ou até mesmo em nível mais avançados de erosão, bem como estágios de ravinamento, até mesmo a presença de voçorocas (SOUZA; CORRÊA, 2012; MARTINS; REATTO; *et al.*, 2004; ESPAÇO ABERTO, 2011; LIRA; CAVALCANTI; CORRÊA, 2016).

5 APLICAÇÃO PEDAGÓGICA, USO DE MATERIAL CIENTÍFICO PARA DIFUSÃO DO CONHECIMENTO SOBRE EROSÃO DOS SOLOS EM NÍVEL ESCOLAR.

Para suprir esta demanda, a proposta de, não apenas produzir um conteúdo teórico qualitativo, mas também, aplicar uma metodologia ativa na socialização e reeducação ambiental dos estudantes. Foi proposto a aplicação de um modelo de simulação de erosão, evidenciado nas figuras 11 e 12, bem como um plano de aula adequado a proposta (tabela 5), visando atender as demandas anteriormente levantadas.

Tabela 5 – Plano de aula proposto

Série	Estudantes do ensino médio (1º ano)
Assunto(s)	Conservação dos solos através de experimento de erosão hídrica
Objetivos	Estimular consciência crítica dos estudantes acerca do mau uso dos solos por parte dos seres humanos, bem como de suas consequências.
Conteúdos	• 1.Princípios da erosão dos solos (O que é? Como ocorre?); • 2.Fatores e agentes da erosão (Pedologia, Geomorfologia, Vegetação, Uso da terra); • 3.Intensidade e estágios de erosão (erosão: laminar, linear, sulcos, ravinas e voçorocas).
Duração	1h30min (2 aulas de 45min)
Habilidades (BNCC)	• EF05CI03: Selecionar argumentos que justifiquem a importância da cobertura vegetal para a manutenção do ciclo da água, a conservação dos solos, dos cursos de água e da qualidade do ar atmosférico;

Habilidades (BNCC)	• EF08GE18: Elaborar mapas ou outras formas de representação cartográfica para analisar as redes e as dinâmicas urbanas e rurais, ordenamento territorial, contextos culturais, modo de vida e usos e ocupação de solos da África e América; • EF08GE23; Identificar paisagens da América Latina e associá-las, por meio da cartografia, aos diferentes povos da região, com base em aspectos da geomorfologia, da biogeografia e da climatologia.
Recursos didáticos	• Quadro branco; piloto; • Projetor multimídia; Computador; Power Point; • Materiais para experimento de erosão: 3 garrafas de água (2L); 3 fundos de garrafas pet (2L); 3 garrafas pet; Barbante; Três amostras de solos.
Procedimentos metodológicos	1ª etapa: Montagem do experimento de erosão hídrica anteriormente a aula: Cortar as garrafas de água para que se possa colocar solo dentro deles. Uma garrafa terá solo nu, a outra terá vegetação morta e o outro terá vegetação viva. Furar a tampa de 3 garrafas pet de 2 litros e montar um suporte para que elas fiquem penduradas sobre os galões e possam simular a chuva. Cortar 3 garrafas pet para usar o fundo delas. Amarrar com barbante na boca dos galões; • 2ª etapa. Aula expositiva: contendo os conteúdos 1, 2 e 3 previamente abordados (duração de 45min);

Procedimentos metodológicos	• 3ª etapa: Realização do modelo de erosão hídrica: Quando as 3 garrafas pet, a água penetrará no solo e irá causar o transporte de material para os fundos de garrafas pet, pendurados nas pontas dos galões. A vegetação viva protege mais o solo da erosão e vai transportar pouco material, o com vegetação morta vai proteger um pouco o solo e vai transportar um pouco mais de material, já o solo nu não terá proteção e irá transportar muito material (duração de 45min).
Avaliação	Ficha de observação: Anotar e explicar a diferença de erosão em cada estágio de uso do solo.
Bibliografia	• http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_site.pdf • http://solonaescolageografiausp.blogspot.com/p/erosao-hidrica.html

Fig. 13 – Experimento de erosão hídrica.



Fonte: Solo na Escola Geografia (UFPE)

6 Considerações Finais

Quando aplicado corretamente, os modelos matemáticos para a previsão e quantificação de processos erosivos servir como um mecanismo de grande valor para determinar ações de erosão e transporte de sedimentos em relevo, principalmente através do uso de SIG e softwares que oferecem grande ajuda e praticidade para o desempenho das metodologias disponíveis na literatura. A aplicação dos produtos como a USLE permitiu que os pesquisadores compreendessem os mecanismos de perdas de solo recorrentes na microbacia em cenários realistas, e pudessem fornecer parâmetros que ajudassem na prevenção de danos ambientais futuros.

Os níveis de erosão na microbacia em estudo, mesmo com o dominante uso antrópico, permaneceu em níveis baixos a moderados, sendo possível apenas encontrar focos de erosão alta ou extremamente alta em pontuais intercessões dos fatores erosivos, bem como pedologia suscetível, vegetação espaçada ou ausente, uso do solo antrópico e declividades acentuadas.

USLE, quando aplicada com uma escala cronológica de maior volume, pode produzir resultados de confiabilidade espacial muito qualitativo. O modelo apresentou os resultados esperados, demonstrando elevado nível de erosão em localidades já encontradas anteriormente na literatura, principalmente pedologias de textura arenosa como os Neossolos Regolíticos, feições do relevo associadas a dissecação de detritos como as de Pedimento detríticos, uso do solo antrópico, e a proximidade com a rede de drenagem para produzir energia cinética suficiente para fragmentação e transporte das partículas do solo.

No tocante ao plano de aula, a USLE propôs um arcabouço teórico de extrema qualidade, onde pode se adequar perfeitamente as demandas de uma aula didática, informativa, e que possa trazer benefícios acerca da conscientização sobre erosão dos solos no país. O experimento de erosão se mostrou adequado, uma vez que o estudante compreende de maneira didática os processos de intensidade de erosão hídrica em vertentes, relacionada as formas de uso e cobertura da terra.

Já limitações do modelo USLE se encontram primeiro, na disponibilidade e produção dos dados matemáticos a serem utilizados na pesquisa, onde muitas vezes a ausência destes dados dificulta ou retarda o processo de aplicação do modelo e de produção da pesquisa, exigindo muita técnica e paciência por parte dos pesquisadores que escolherem trabalhar com este modelo em regiões pouco exploradas. O modelo também não é aconselhado para regiões com alta recorrência de declividades elevadas, acima dos 20%, o que não foi o caso desta pesquisa. Para regiões com estas características, recomendo a Equação Universal de Perda de Solos Revisada (RUSLE), ou outras metodologias que venham a melhor se adequar a tais situações.

As principais dificuldades enfrentadas no andamento desta pesquisa foram, em primeiro lugar, a busca de dados de chuva com qualidade para a área de pesquisa, de mesmo modo que esta limitação também pode se ampliar para a coleta de informações e de pesquisas em municípios, sobretudo do interior do país, onde a disponibilidade de tais recursos como, estações pluviométricas, e pesquisas empíricas se demonstram escassas e com necessidade de melhores validações.

Outra grande dificuldade deste trabalho foi a validação da álgebra de mapas produzidos oriundo da metodologia USLE. Uma vez que ao momento de produção desta pesquisa, estamos vivendo uma anomalia social oriundo da pandemia, e a visita e trabalhos de campo se encontrou neste momento inviável. Portanto, reitero a necessidade de validações presenciais dos dados ofertados por esta pesquisa. Todavia, a validação dos mapas por metodologias alternativas, bem como a intercalação com mapeamentos temáticos, bem como visualização dos focos de erosão por meio do Google Earth demonstrou, primariamente, resultados com qualidade e que se assemelham aos visualizados previamente por meio das geotecnologias.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Fernando F. M. D.; BRITO NEVES, Benjamin B. The origin and evolution of the South American Platform. **Earth-Science Reviews**, v. 50, n. 1-2, p. 55-111, 2000.

ANDRADE, Antonio R. S. D. *et al.* Geoestatística aplicada à variabilidade espacial e padrões nas séries temporais da precipitação no Agreste pernambucano. **Journal of environmental analysis and Progress**, v. 3, n. 1, p. 126-145, 2018.

APAC. Associação Pernambucana de Águas e Clima. **old.apac**, 2021. Disponível em: <<http://old.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramento-pluvio.php>>. Acesso em: 16 jun. 2022.

ARAGÃO, Ricardo de *et al.* Análise de sensibilidade dos parâmetros do modelo swta e simulação dos processos hidrossedimentológicos em uma bacia no agreste nordestino. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 37, p. 1091-1102, 2013.

ARAÚJO, Carlos E G. D.; WEINBERG, Roberto F.; CORDAANI, Umberto G. Extruding the Borborema Province (NE-Brazil): a two-stage Neoproterozoic collision process. **Terra Nova**, v. 26, n. 2, p. 157-168, 2014.

ARAÚJO, Isabel C. D. S. **Perda de Solo e Aporte de Nutrientes e Metais em Reservatório do Semiárido Brasileiro**. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, p. 155. 2017.

ARTHURY, Luiz H. M.; TERRAZZAN, Eduardo A. A natureza da ciência na escola por meio de um material didático sobre a Gravitação. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 40, n. 3, 2018.

ASF. **Alaska Satellite Facility (ASF) - NASA**. Disponível em: <<https://asf.alaska.edu>>. Acesso em: 29 set. 2021.

AZAMBUJA, Renata N. **Análise geomorfológica em áreas de expansão urbana no Município de Garanhuns-PE**. Universidade Federal de Pernambuco (Dissertação de Mestrado). Recife, p. 154. 2007.

AZAMBUJA, Renata N. **Dinâmica superficial em uma bacia de drenagem semiárida: um estudo de caso da bacia do riacho Salgado-PE**. Universidade Federal de Pernambuco. Recife. 2012.

AZAMBUJA, Renata N.; CORRÊA, Antonio C. D. B. Geomorfologia e áreas de expansão urbana do município de garanhuns-pe: uma abordagem espaço-temporal

dos eventos morfodinâmicos para o planejamento territorial. **Revista Geo UERJ**, Rio de Janeiro, v. 27, p. 202-233, 2015.

BDIA. Banco de Dados de Informações Ambientais. **BDIA**. Disponível em: <<https://bdiaweb.ibge.gov.br>>. Acesso em: 20 Junho 2022.

BERTOL, I; ALMEIDA, J A. Tolerância de perda de solo por erosão para os principais solos do estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 24, p. 657-668, 2000.

BERTONI, José; LOMBARDI NETO, Francisco. **Conservação do Solo**. 10. ed. BIGARELLA, João J.; MOUSINHO, Maria R.; SILVA, Jorge X. D. Pediplanos, Pedimentos e seus Depósitos Correlativos no Brasil. **Espaço Aberto** , v. 6, n. 2, p. 165-196, 2016.

CAMPOS, Milton C. C. *et al.* Variação espacial da perda de solos por erosão em diferentes superfícies geomórficas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 9, p. 2485-2492, 2008.

CÂNDIDO, Bernardo M. *et al.* Erosão hídrica pós-plantio em florestas de eucalipto na bacia do rio Paraná, no leste do Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 38, p. 1565-1575, 2014.

CASTRO, Luciana G.; COGO, Neroli P.; VOLK, Leandro B. D. S. Alterações na rugosidade superficial do solo pelo preparo e pela chuva e sua relação com a erosão hídrica. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 30, p. 331-352, 2006.

CATEN, Alexandre T.; MINELLA, Jean P. G.; MADRUGA, Pedro R. D. A. Desintensificação do uso da terra em relação com a erosão do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 9, p. 1006-1014, Junho 2012.

CAVALCANTE, Alian C. P. *et al.* Conservação dos recursos ambientais água e solo: promovendo a sensibilização ambiental na escola João Paulo II, Bananeiras-PB. **Revista do Centro do Ciências Naturais e Exatas - UFSM**, Santa Maria, v. 13, p. 2851-2856, Dezembro 2013.

CHRISTOFOLETTI, Antonio. **Geomorfologia**. 2. ed.

CHRISTOPHERSON, Robert W.; BIRKELAND, Ginger H. **Geossistemas: uma introdução à geografia física**. 9. ed.

CORRÊA, Antônio C. D. B. *et al.* MEGAGEOMORFOLOGIA E MORFOESTRUTURA DO PLANALTO DA BORBOREMA. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, v. 31, n. 1/2, p. 35-52, 2010.

COSTA, Yasmmin T.; RODRIGUES, Sílvia C. Relação entre cobertura vegetal e erosão em parcelas representativas de Cerrado. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 9, n. 2, p. 61-75, 2015.

CRUZ, Rodrigo Fabiano da. **Estudo isotópico aplicado a caracterização geotectônica do domínio Pernambuco-Alagoas oeste, província Borborema**, Região Nordeste do Brasil. 2014.

DÁTTOLI, Luan C. **Geologia da sequência metavulcanossedimentar INHAPI: implicações**. Universidade Federal de Pernambuco, Tese de Doutorado, Pós-Graduação em Geociências. Recife, p. 160. 2021.

DINIZ, Alisson D.; OLIVEIRA, Cristiane V. D.; AUGUSTIN, Cristina H. R. R. Relação entre relevo, classes de solos e erosão no Espinhaço Meridional. **V Simpósio Nacional de Geomorfologia, I Encontro Sul-Americano de Geomorfologia**, 2-7 Agosto 2004. 1-13.

DOMINGUES, Cristiane V.; FRANÇOSO, Maria T. Aplicação de geoprocessamento no processo de modernização da gestão ambiental. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 60, n. 1, Abril 2008.

DUBE, Hastings B. *et al.* A global analysis of the morphology of linear erosion features. **Catena**, v. 190, p. 104542, 2020.

EMBRAPA. **Empresa Brasileira de Agropecuária**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br>>. Acesso em: 29 set. 2021.

ESPAÇO Aberto. **Programa de Pós-Graduação em Geografia, universidade do Rio de Janeiro**, Rio de Janeiro, v. 11, n. 2, 2011.

FERREIRA, Cristina A. Concepções da iniciação científica no Ensino Médio: Uma proposta de pesquisa. **Revista Trabalho, Educação e Saúde**, v. 1, n. 1, p. 115-130, 2003.

FETT, Júnior N.; OLIVEIRA, M. A. T. Depósito de encosta (Pedimento Detrítico) no curso médio do rio Pardo, município de Candelária, RS. **VI Simpósio Nacional de Geomorfologia**, Goiânia, 6-10 Setembro 2006. 1-12.

GADONE, D; STANCHI, S. **Research on Soil Erosion**.

GERMANO, Gabriel D. L.; CLEVISSON, Junior P.; BRAGA, Ramon D. O. B. Análise preliminar do impacto da BNCC no Ensino Médio, no contexto do ensino de

Geografia. **[L&P]-Licenciaturas & Pesquisa UNIANDRADE**, v. 1, n. 1, p. 16-28, 2021.

GIL, Margarita M. L. **Análise de cenários de produção de sedimentos na relação oferta-demanda hídrica da barragem Bocaina-PI**. Universidade Federal de Pernambuco. 2017, p. 251. 2017.

GIRÃO, Osvaldo; CORRÊA, Antonio C. D. B.; GUERRA, Antonio J. T. Influência da climatologia rítmica sobre áreas de risco: o caso da região metropolitana do Recife para os anos de 2000 e 2001. **Revista de Geografia**, Recife, v. 23, n. 1, p. 3-40, 2006.

GOSAIN, A K. *et al.* Return-flow assessment for irrigation command in the. **Wiley InterScience**, v. 19, p. 673-682, 2005.

GOUDIE, A S. **Encyclopedia of Geomorphology**. A-1. ed.

GUERRA, Antonio J. T.; CUNHA, Sandra B. D. **Geomorfologia uma atualização de bases e conceitos**. 15. ed.

GUERRA, Antônio J. T.; CUNHA, Sandra B. D. **Geomorfologia do Brasil**. 10. ed.

GUERRA, Antônio J. T.; JORGE, Maria D. C. O. **Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas**.

GUERRA, Antonio Teixeira; DA SILVA, Antonio Soares; BOTELHO, Rosangela Garrido Machado. **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Bertrand Brasil, 2009.

GUERRA, Antônio T. **Dicionário Geológico-Geomorfológico**. 2. ed.

GUIMARÃES, Iara V. Ensinar e aprender Geografia na Base Nacional Comum Curricular (BNCC). **Ensino em Revista**, Uberlândia, v. 25, p. 1036-1055, 2018.

GUO, Shanshan; ZHU, Zhengru; LYU, Leting. Effects of Climate Change and Human Activities on Soil Erosion in the Xihe River Basin, China. In: AKSOY, Hafzullah; MAHÉ, Gil; MEDDI, Mohamed **Modeling and Practice of Erosion and Sediment Transport under Change**. SWITZERLAND: MDPI, 2019.

HAAN, Charles Thomas; BARFIELD, Billy J.; HAYES, Julie Candler. **Design hydrology and sedimentology for small catchments**. Elsevier, 1994.

HEUTE, A R. A Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, Agosto 1988. 295-309.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, 2014. Disponível em: <<https://mundogeo.com/2014/08/28/ibge-divulga-as-estimativas-populacionais-dos-municipios-em-2014/>>. Acesso em: 29 Novembro 2020.

JABBAR, Mushtak Talib. **Application of GIS to estimate soil erosion using RUSLE. Geo-Spatial Information Science**, v. 6, p. 34-37, 2003.

JATOBÁ, Lucivânio. Elementos de climatologia e geomorfologia do Trópico Semiárido Brasileiro. **Texto de apoio ao curso intensivo “Elementos de Climatologia e Geomorfologia do Trópico Semiárido Brasileiro”**. Recife: **X Encontro Nacional de Geógrafos**, 1996.

JATOBÁ, Lucivânio; LINS, Rachel C.; SILVA, Alineaurea F. **Tópicos Especial de Geografia Física**. 2. ed.

LAL, Rattan. **Encyclopedia of Soil Science**. 3. ed.

LAL, Ratten. **Soil Erosion Research Methods**. 2. ed.

LEMONS, Poliana C.; FERREIRA, Elizabeth. Análise da relação das áreas de forte risco a erosão com os fragmentos de vegetação nativa arbórea na área de influência da UHE-FUNIL. **Anais XI - Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Belo Horizonte, 5-10 Abril 2003. 1323-1329.

LEPSCH, Igo F. **19 Lições de Pedologia**. 2. ed.

LIRA, Daniel R.; CAVALCANTI, Lucas C. D. S.; CORRÊA, Antonio C. D. B. Tipologia de Geoformas para cartografia de detalhe no semiárido brasileiro. **XI SINAGEO**, Maringá, 2016.

LISTO, Danielle G. D. S. **Evolução Paleoambiental dos Depósitos de Tanques em Fazenda Nova, Município de Brejo da Madre de Deus - Pernambuco**. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, p. 154. 2007.

LISTO, Danielle G. D. S. **Reconstrução da dinâmica geomorfológica do semiárido brasileiro no Quaternário superior a partir de uma abordagem Multiproxy**. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, p. 276. 2013.

MAPBIOMAS. **MapBiomass**, 2020. Disponível em: <<https://mapbiomas.org>>. Acesso em: 29 set. 2021.

MARTINS, Éder D. S. *et al.* **Evolução Geomorfológica do Distrito Federal**. **EMBRAPA**, Planaltina, Julho 2004.

MEDEIROS, Raimundo M. D. *et al.* Climate classification in Köppen model for the state of Pernambuco - Brazil. **Revista de Geografia (Recife)**, Recife, v. 35, n. 3, p. 219 - 234, 2018.

MENDES, Waldemar. Relação entre os graus de limitações do uso do solo por suscetibilidade à erosão e às unidades de mapeamento de solo. **Revista brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v. 44, n. 3, p. 445-476, Julho/Setembro 1982.

MIGUEL, Pablo *et al.* The USLE model for estimating soil erosion in complex topography areas. **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Curitiba, PR, Abril-Maio 2011. 9227 - 9230.

MONTEBELO, Leticia A. *et al.* Relação entre uso e cobertura do solo e risco de erosão nas áreas de conservação permanente na bacia do Ribeirão dos Marins, Piracicaba-SP. **Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Goiânia, 16-21 Abril 2005. 3829-2836.

MORGAN, R P. C. **Soil erosion and conservation**. 3. ed.

NÓBREGA, Ranyére S.; SANTIAGO, Gabriela A. C. F. Tendência de temperatura na superfície do mar nos oceanos atlântico e pacífico e variabilidade de precipitação em Pernambuco. **Mercator**, Fortaleza, v. 13, n. 1, 2014.

OLIVEIRA, Flávio P. D. *et al.* Fatores relacionados à suscetibilidade da erosão entressulcos sob condições de uso e manejo do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 4, p. 337-346, Janeiro 2012.

OLIVEIRA, Júlio S. D. **Avaliação de modelos de elevação na estimativa de perda de solo em ambiente SIG**. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiros". Piracicaba, p. 103. 2012.

OLIVEIRA, Junimar J. A. D. Solos e processos erosivos na geografia escolar brasileira. **Revista Desafios**, v. 7, n. 1, 2020.

PEREIRA, Maria L. T. *et al.* Variabilidade climática no Agreste de Pernambuco e os desastres decorrentes dos extremos climáticos. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 2, n. 4, p. 394-402, 2017.

PIMENTEL, David. **World Soil Erosion and Conservation**.

PIRES, Fernanda R. M. Arcabouço Geológico. In: CUNHA, Sandra B. D.; GUERRA, Antonio J. T. **Geomorfologia do Brasil**. 10. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2021.

PORTO, P; CALLEGARI, G. A Probabilistic Approach to Interpret Long-Term Observations of Sediment Yield in Experimental Catchments in Southern Italy. In: CHALOV, Sergey, *et al.* **Climate Change Impacts on Hydrological Processes and Sediment Dynamics: Measurement, Modelling and Management**. Moscow: Springer, 2018. p. 128.

QUEIROZ, Gloria Regina Pessoa Campello; BARBOSA-LIMA, Maria da Conceição Almeida. Conhecimento científico, seu ensino e aprendizagem: atualidade do construtivismo. **Ciência & Educação**, v. 13, n. 03, p. 273-291, 2007. RIBEIRO, Gabrielle D. A.; SILVA, João N. D. C.; SILVA, Janaína B. D. Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (IVAS): estado da arte e suas potencialidades. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 2074, n. 6, p. 2054, 2016.

RIBEIRO, Luziane S.; ALVES, Maria D. G. Quantificação de Perda de Solo por Erosão no município de Campos dos Goytacazes/RJ. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, Brasil, p. 3039 - 3046, Abril 2007.

ROCHA, Bianca D. S. **BNCC e geografia no Ensino Médio: Influência do Neoliberalismo nas reformas curriculares no Brasil**. Monografia apresentada ao Instituto de Geografia. Uberlândia, p. 72. 2020.

SANCHEZ, Rodrigo B. *et al.* Variabilidade espacial de atributos do solo e de fatores de erosão em diferentes pedoformas. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 4, p. 1095-1103, 2009.

SANTOS, Antonio C. D.; SALCEDO, Ignacio H.; CANDEIAS, Ana L. B. Relação entre o relevo e as classes texturais do solo na microbacia hidrográfica e Vaca Brava, PB. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 54, Dezembro 2002.

SANTOS, Celso A. G. *et al.* Influência do tipo da cobertura vegetal sobre a erosão no semi-árido paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 1, p. 92-96, 2000.

SANTOS, K S. *et al.* Análise espacial de dados de precipitação pluvial no agreste pernambucano. **II INOVAGRI INTERNATIONAL MEETING**, Fortaleza, 2014.

SASSERON, Lúcia H. **Alfabetização Científica no Ensino Fundamental: Estrutura e Indicadores deste processo em sala de aula**. Tese (Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Educação. Área de Concentração : Ensino de Ciências e Matemática) - Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 265. 2008.

SHUTTLE Radar Topography Mission - SRTM. **EMBRAPA**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/srtm>>. Acesso em: 27 set. 2021.

SIBCS. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. **SiBCS-EMBRAPA**, Brasília,DF, n. 5ª, p. 356, 2018. ISSN ISBN 978-85-7035-800-4.

SILVA, Luiz F. T. C. D.; BEZERRA, José F. R.; GUERRA, Antônio 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.

SILVA, Raul G. D.; LISTO, Danielle G. D. S. Comparação entre o IVDN e o IVAS sobre domínio de caatinga e uso do solo antrópico em microbacia na região agreste de Pernambuco, Capoeiras-PE. In: LISTO, Fabrizio D. L. R., *et al.* **A Cartografia na Era Digital**. Recife: MapGeo - Mapeamentos e Soluções Geográficas, Empresa Jr., 2022. p. 485.

SILVA, Raul G. D.; LISTO, Danielle G. D. S. Análise Temporal da Erosividade das Chuvas para Microrregião do Vale do Ipojuca, Localizada na Mesoregião do Agreste Pernambucano, Período Histórico Entre 2000 e 2020. In: LISTO, Fabrizio D. L. R., *et al.* **A Cartografia na Era Digital**. Recife: MapGeo - Mapeamentos e Soluções Geográficas, 2022. p. 485.

SILVA, Richarde M. D. **Análise da perda de solos na bacia do rio Tapacurá mediante previsão climática e modelos de erosão**. Universidade Federal de Pernambuco. Recife-PE, p. 133. 2010.

SILVA, Sidney M. D. **Integração de Dados Geológicos e Geomorfológicos na Identificação de Reativações Neotectônicas ao Longo de um Trecho do Rio Una, Barreiros-PE**. Universidade Federal de Pernambuco, Trabalho de Conclusão de Curso, Departamento de Ciências Geográficas. Recife, p. 58. 2016.

SOUZA, Sinara *et al.* Análise geomorfológica do município de Quipapá - zona da mata de Pernambuco. **Revista Equador**, v. 8, n. 2, p. 435-448, 2019.

SOUZA, Jonas O. P. D.; CORRÊA, Antonio C. D. B. Sistema fluvial e planejamento local no semiárido. **Mercator - Revista de Geografia da UFC**, Fortaleza, v. 11, n. 24, p. 149-168, 2012.

SOUZA, Maria R. D.; PEREIRA, Lisanil D. C. P. O desafio do ensino da geografia no Ensino Médio e a nova BNCC. **Revista de Comunicação Científica**, v. 6, n. 1, p. 112-126, Dezembro 2020.

SOUZA, Sara F. D. *et al.* Mapeamento geomorfológico da bacia do Brígida no sertão pernambucano, através de aplicações geotecnológicas. In: **VIII Simpósio Nacional de Geomorfologia - III Encontro Latino Americano de Geomorfologia**. Recife: UFPE, 2010.

SUGUIO, Kenitiro. **Geologia sedimentar**. Editora Blucher, 2003.

TEIXEIRA, Wilson *et al.* **Decifrando a Terra**. 2. ed.

TIFFEN, Mary; MORTIMORE, Michael; GICHUKI, Francis. **More People, Less Erosion - Environmental Recovery in Kenya**.

TRINDADE, Silar P.; RODRIGUES, Rafael D. Á. Uso do solo na microbacia do Ribeirão Samambaia e sua relação com a suscetibilidade à erosão laminar. **Revista Geografia Acadêmica**, v. 10, n. 1, p. 163-181, 2016.

UNITED NATION. Food And Agriculture Organization. **FAO**. Disponível em: <<https://www.fao.org/brasil/pt/>>.

VILAÇA, Márcio L. C. Pesquisa e ensino: considerações e reflexões. **Revista do Curso de Letras da ANIABEU**, Nilópolis, v. 1, n. 2, p. 59-74, Maio-Agosto 2010.

VIOLA, Marcelo R. *et al.* Modelagem hidrológica na bacia hidrográfica do Rio Aiuruoca, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, Março 2009.

VOLK, Leandro B. D. S.; COGO, Neroli P. Interrelação biomassa vegetal subterrânea-estabilidade de agregados-erosão hídrica em solo submetido a diferentes formas de manejo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 32, p. 1713-1722, 2008.

WISCHMEIER, W H.; SMITH, D D. **Predicting rainfall erosion losses - A guide to conservation planning**. United States Department of Agriculture, Agriculture Handbook. Washington D. C. 1978. (537).

XAVIER, Joaquim P. D. S. *et al.* Avaliação da eficiência da integração do SIG e Equação Universal da Perda de Solos (USLE) na previsão da erosão no município de Itacuruba, semiárido Pernambucano. **I Simpósio Regional de geoprocessamento - SIRGEO**, Teresina, 05 - 07 Dezembro 2018.

ZACHAR, Dušan. **Soil erosion developments ins soil science**.. Elsevier, 2011.

ZAPE. **Zoneamento Agroecológico de Pernambuco (ZAPE) - EMBRAPA**, 2001. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/>>

/produto-servico/4697/zoneamento-agroecologico-do-estado-de-pernambuco-zape>.
Acesso em: 29 set. 2021.

ZHANG, Weiwei *et al.* Estimation of the USLE Cover and Management Factor C Using Satellite Remote Sensing: A Review. **International Conference on Geoinformatics**, Shanghai, p. 1-5, Junho 2011.