



## Analysis of soil loss potential in the area of Jaboatão river hydrographic basin – PE

Deyse Ferreira da Silva<sup>1</sup>, Manuella Vieira Barbosa Neto<sup>2</sup>, Marcelo Ricardo Bezerra de Miranda<sup>3</sup>, José Fernando de Lira e Silva<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Mestranda em Geografia pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGEO) da UFPE. CEP: 50670-901, Recife (PE), Brasil, Tel.: (+55 81) 99978-4067, [silvadeyseferreira@gmail.com](mailto:silvadeyseferreira@gmail.com) (autor correspondente). <sup>2</sup> Mestre e Doutora em Geografia pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Professora no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE), Campus Recife. Líder do grupo de Pesquisas Geoambientais do Nordeste Brasileiro (GGEO), do IFPE. CEP: 50740-545, Recife (PE), Brasil, Tel.: (+55 81) 99893-2075, [manuellaneto@recife.ifpe.edu.br](mailto:manuellaneto@recife.ifpe.edu.br). <sup>3</sup> Professor no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE), Campus Recife. Doutorando em Geografia pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGEO) da UFPE., CEP: 50670-901, Recife (PE), Brasil, Tel.: (+55 81) 99717-7928, [marcelomiranda@recife.ifpe.edu.br](mailto:marcelomiranda@recife.ifpe.edu.br). <sup>4</sup> Licenciado em Geografia pelo IFPE, Campus Recife. CEP: 50740-545, Recife (PE), Brasil, Tel.: (+55 81) 99729-4908, [femandolira768@gmail.com](mailto:femandolira768@gmail.com).

Artigo recebido em 20/11/2022 e aceito em 13/06/2022

### ABSTRACT

The erosion caused by the action of rain is one of the most frequent environmental problems, and it causes several damages, both material and human. The aim of this research was to evaluate the erosion dynamics based on a quantitative analysis of soil loss in the Jaboatão river basin, located on the coast and Center Forest Area of Pernambuco. With focus on this aim and applying Geoprocessing resources, it was used the Universal Soil Loss Equation (USLE), which integrates the following factors: rainfall erosivity (Factor R), soil erodibility (Factor K), topographical factor (Factor LS) and land use and conservation factor (Factor CP). The results indicated that erosion occurs with greater intensity in the middle and upper course of the basin, with values above 10 megagrams per hectare per year, presenting a very problematic erosion condition which totals 45.83% of the basin area. However, the values decrease as it approaches its low course, with potential for little or no soil loss, totaling 54.17% of the basin area. Among the factors of the USLE, it was concluded that the use and management of soil, and conservation practices, as well as the length of the slope and the slope of the land (topographic factor), strongly contribute to the increase in the value of the annual soil loss in the basin. Finally, it was also possible to conclude that the integrated use of USLE in a Geographic Information System (GIS), environment proved to be an efficient technique for the spatial representation of soil losses and the identification of areas susceptible to rainfall erosion in the study area on screen, thus serving for strategic planning of disaster risk reduction, considering the possibility of climate change.

Keywords: Rainfall erosion. USLE. Environmental modelling. Geoprocessing.

## Análise do potencial de perda de solo da bacia hidrográfica do rio Jaboatão – PE

### RESUMO

A erosão provocada pela ação da chuva é um dos problemas ambientais mais frequentes e causa diversos danos, materiais e humanos. O objetivo desta pesquisa foi avaliar a dinâmica da erosão com base numa análise quantitativa da perda de solos na bacia hidrográfica do rio Jaboatão, localizada no litoral e Zona da Mata Centro de Pernambuco. Com este propósito e empregando recursos de Geoprocessamento, utilizou-se a Equação Universal de Perda de Solos (EUPS), que integra os seguintes fatores: erosividade da chuva (Fator R), erodibilidade do solo (Fator K), fator topográfico (Fator LS) e fator de uso e conservação do solo (Fator CP). Os resultados indicaram que a erosão ocorre com maior intensidade no médio e alto curso da bacia, com valores acima de 10 megagramas por hectare ao ano, apresentando uma condição de erosão muito problemática que totaliza 45,83% da área da bacia. No entanto, os valores vão diminuindo à proporção que se aproxima do seu baixo curso, com potencial para a perda de solo de ligeira ou nenhuma, somando 54,17% da área da bacia. Dentre os fatores da EUPS, conclui-se que o uso e manejo do solo e práticas conservacionistas, assim como o comprimento de rampa e a declividade do terreno (fator topográfico), contribuem fortemente para o aumento do valor da perda de solo anual da bacia. Por fim, foi possível concluir, também, que a utilização integrada da EUPS em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG), se mostrou uma técnica eficiente para a representação espacial das perdas de solo e a identificação das áreas suscetíveis à erosão pluvial na área de estudo em tela, servindo, assim, para planejamento estratégico da redução de riscos de desastres, considerando a possibilidade de mudanças climáticas.

Palavras-chave: Erosão pluvial. EUPS. Modelagem ambiental. Geoprocessamento.

## Introdução

Erosão é o processo de remoção de partículas do solo causado pela água e pelo vento (Bertoni e Lombardi Neto, 2014; Guerra *et al.*, 2015; Lal, 2001), e ocorre geralmente quando o solo está sem cobertura vegetal, a qual funciona como uma capa protetora; uma vez o solo desnudo, torna-se mais susceptível ao impacto direto das gotas das chuvas e à ação dos ventos (Carmo *et al.*, 2015; Fiorese *et al.*, 2021).

A erosão pode ser classificada, quanto ao agente causador, como eólica ou hídrica. No primeiro tipo, o principal agente responsável pelo desprendimento e transporte das partículas do solo é o vento e, no segundo tipo, a água (Pereira *et al.*, 2015; Pinto *et al.*, 2020). A erosão pluvial é uma das maiores causas de depauperamento de solo no mundo, principalmente em locais de clima tropical, como o Brasil onde, diferentemente de outras regiões do planeta, os índices pluviométricos são elevados. Além disso, as chuvas tendem a se concentrar em certas estações do ano, o que potencializa ainda mais o processo de erosão (Guerra *et al.*, 2015; Dechen *et al.*, 2015; Sakuno *et al.*, 2020).

De acordo com Lal (1997), algumas estatísticas mostram que a área de terra sujeita à degradação do solo no globo é estimada em cerca de 2 bilhões de hectares por ano e as principais consequências dessa degradação é o declínio da qualidade do solo e a redução da biodiversidade. Como visto, desde 1997, já se aponta o avanço da degradação. Um dado mais recente da Food and Agriculture Organization (FAO) (2015) mostra que 33% dos solos do mundo estão degradados e que a erosão está entre as principais causas, eliminando de 25 a 40 bilhões de toneladas de solo por ano, reduzindo significativamente a produtividade das culturas. As taxas médias globais de erosão estão entre 12 e 15 toneladas por hectare ao ano. Essas taxas são mais altas do que as taxas de formação de solo, portanto, representam uma ameaça global de longo prazo.

De acordo com Bertoni e Lombardi Neto (2014), os primeiros trabalhos para desenvolver equações que avaliassem as perdas de solo de uma área datam de 1940, em CornBelt, nos Estados Unidos, e até hoje vários estudiosos tentam aprimorá-la com a finalidade de abranger outras regiões. Em consequência de diversas modificações, o modelo aperfeiçoado, de aplicação generalizada, passou a denominar-se Equação

Universal de Perdas de Solo (EUPS) (Wischmeier e Smith, 1978).

A EUPS é um modelo muito utilizado para a estimativa de perda de solo por erosão, pois é prática e utiliza variáveis de fácil obtenção. A Equação considera os parâmetros *erosividade da chuva* (Fator R), *erodibilidade do solo* (Fator K), *comprimento de rampa e declividade* (Fator LS), *uso e manejo do solo e práticas conservacionistas* (Fator CP). Com a análise desses parâmetros, é possível obter dados que contribuam para o planejamento do uso e da ocupação do solo, pois são verificadas as áreas que estão apresentando maior perda de solo e qual ou quais fatores estão contribuindo mais para o processo de perda de solo (Lopes *et al.*, 2011; Santos e Guerra, 2021; Miguel *et al.*, 2021).

Diante disso, a aplicação da EUPS pode fornecer suporte às ações governamentais para a formulação e reformulação de políticas públicas e programas nacionais de desenvolvimento, uma vez que é de suma importância o planejamento frente à possibilidade de mudanças climáticas para atender os Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável (ODS), que visam orientar as ações na tríade de sustentabilidade – que envolvem questões econômicas, sociais e ambientais – indicando caminhos a serem trilhados e as medidas a serem adotadas para promover o seu alcance (IPEA, 2018).

A aplicação da EUPS com técnicas de geoprocessamento especializadas, por meio de ambiente SIG, permite estimar a perda de solo em bacias hidrográficas, favorecendo, assim, o planejamento ambiental da área estudada, pois identifica quais os principais fatores que influenciam na erosão. O uso de ferramentas de geoprocessamento pode ser considerado o melhor aliado para identificar, mensurar, interpretar, projetar, classificar e avaliar os fatores mais pertinentes para mapeamento das áreas de riscos de desastres pela erosão (Souza *et al.*, 2019; Bertoni e Lombardi Neto, 2014; Cordeiro, 2018).

A bacia hidrográfica do rio Jaboatão, localizada no litoral e Zona da Mata Centro de Pernambuco, apresenta suscetibilidade erosiva elevada, sobretudo nos períodos de maior intensidade pluviométrica, quando são observados, principalmente nos municípios de Jaboatão dos Guararapes e Moreno, eventos relacionados a deslizamentos em áreas de encosta. Esses eventos

podem estar associados à ocupação não planejada da área da bacia que vem provocando a perda de solos continuamente, o que ocasiona prejuízos sociais, econômicos e ambientais (Souza, 2019; Oliveira, 2019; Fiorese, 2021).

Pressupõe-se que na área de estudo existam locais com elevado potencial de perda de solo e que essas áreas estejam sendo utilizadas incorretamente por falta de conhecimentos das potencialidades e limitações do solo. Diante disso, faz-se de grande importância a aplicação de modelos que visem compreender a dinâmica erosiva e a perda de solos. Nesse sentido, a pesquisa teve como objetivo avaliar a dinâmica da erosão hídrica na área da bacia hidrográfica do rio Jaboatão, por meio de uma análise quantitativa da perda de solos, para assim contribuir com ações que visem evitar

prejuízos sociais, econômicos e ambientais associados à perda de solo.

### Material e métodos

#### Caracterização da área de estudo

A bacia hidrográfica do rio Jaboatão (Figura 1) se localiza no litoral e Zona da Mata Centro de Pernambuco, entre as coordenadas 8°00' e 8°14' de latitude sul e 34°50' e 35°15' de longitude oeste. Drena uma área de 422 km<sup>2</sup> que abrange áreas dos seguintes municípios: Cabo de Santo Agostinho (27 km<sup>2</sup>), Jaboatão dos Guararapes (225 km<sup>2</sup>), Moreno (98 km<sup>2</sup>), Recife (4 km<sup>2</sup>), São Lourenço da Mata (46 km<sup>2</sup>) e Vitória de Santo Antão (42 km<sup>2</sup>). Estima-se uma população de 450.000 habitantes que residem, a maior parte, em áreas urbanas (CPRH, 2016).

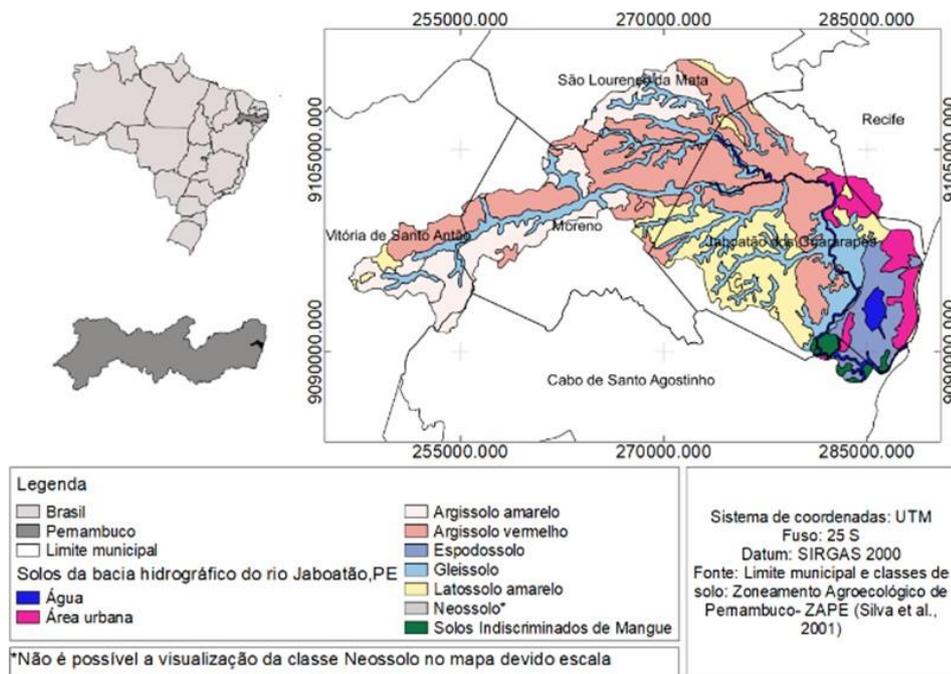


Figura 1. Localização geográfica e classes de solo da Bacia Hidrográfica do Rio Jaboatão, Litoral e Zona da Mata Centro de Pernambuco.

A bacia possui clima tropical quente e úmido, com chuvas concentradas principalmente no outono-inverno, que decorrem da influência dos Distúrbios Ondulatórios de Leste e da Frente Polar Atlântica. Também recebe a ação de sistemas atmosféricos que provocam chuvas no verão-outono, como a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCANs) (Cavalcanti *et al.*, 2009). Possui temperatura média anual em torno de 25°C (Gomes, 2005) e média pluviométrica anual em torno de 1800 mm (Oliveira, 2019). Os solos predominantes na área são: Gleissolo, Espodossolo, Latossolo Amarelo, Argissolo Vermelho, Argissolo Amarelo, Neossolo Litólico, Neossolo Flúvico e Solos Indiscriminados de Mangue (Silva *et al.*, 2001) (Figura 1).

A área de estudo é predominantemente constituída por rochas pré-cambrianas de embasamento cristalino e, secundariamente, por sedimentos terciários (Formação Barreiras) e quaternários (aluviões e sedimentos costeiros). Entre as unidades geomorfológicas, destacam-se: modelo cristalino, tabuleiros costeiros, faixa litorânea e formas marinhas. A finalidade de uso da terra é, predominantemente, o plantio da cana-de-açúcar, com manchas isoladas de culturas de subsistência. A vegetação nativa, Mata Atlântica, encontra-se bastante devastada; em algumas áreas marginais ao rio Jaboatão, encontra-se vegetação do tipo arbórea e manguezais (Gomes, 2005; Silva e Girão, 2020).

### Metodologia

Para análise do potencial de perda de solo da área em estudo optou-se pela utilização da Equação Universal de Perda de Solos (EUPS), de Wischemeier e Smith (1978), com adaptações de Bertoni e Lombardi Neto (2014); Denardin (1990); e Desmet e Govers (1996). O Fator *Erosividade da chuva* (R) foi calculado de acordo com o modelo proposto por Bertoni e Lombardi Neto (2014), presente na equação 1:

$$(EI) = 67,355 * (r^2/P) 0,85 \quad (1)$$

onde: (EI) = média mensal do índice de erosão em MJ.mm/h.ha; r = precipitação média mensal (mm); e P = precipitação média anual (mm).

Para o cálculo desse parâmetro, foram necessários dados da precipitação média mensal e anual que foram obtidos através do acesso ao banco de dados da Agência Pernambucana de Águas e

Clima (APAC), <http://www.apac.pe.gov.br/meteorologia/>. Foram utilizados dados de uma série de 21 anos (1997 a 2017) dos postos pluviométricos existentes na área da bacia. Para o preenchimento de dados pluviométricos em falta no banco da APAC, empregou-se o método da Ponderação Regional (PR) de Bertoni e Tucci (2001), expressa na equação 2:

$$Y = 1/3. (x1/xm1 + x2/xm2 + x3/xm3). Ym \quad (2)$$

onde: Y é a precipitação do posto a ser estimado; x1, x2 e x3 são as precipitações correspondentes ao mês ou ano que se deseja preencher, observadas em três estações vizinhas; xm1, xm2 e xm3 são precipitações médias nas três estações vizinhas; e ym é a precipitação média do ponto a ser estimado.

Após o preenchimento das falhas com o método PR, foi calculada a precipitação média mensal e anual dos meses dos últimos 20 anos das estações escolhidas, uma para cada município. Os resultados de precipitação média mensal e anual (mm) obtidos foram aplicados na equação (1) de (EI) = média mensal do índice de erosão em MJ.mm/h.ha. Todas as equações foram calculadas no programa de ferramentas de visualização e análise de dados, o LibreOffice. Para analisar os resultados de erosividade da chuva, foi utilizada a classificação adotada por Santos (2008 *apud* Back e Poletto, 2017).

Para o cálculo da *erodibilidade* da área de estudo, foram utilizados os dados dos perfis representativos das unidades de mapeamento de solos de Pernambuco, elaborados através do Zoneamento Agroecológico de Pernambuco (ZAP) (Silva *et al.*, 2001). Em razão de a escala de mapeamento ser de 1:100.000, só existem disponibilizados dados de análises laboratoriais dos Latossolos e Argissolos. Para as demais classes de solo que ocorrem na bacia – Gleissolo, Espodossolo, Neossolo Flúvico, Neossolo Quartzarênico – foi extrapolado o valor da menor erodibilidade, em razão da baixa disponibilidade de informações e buscando não superestimar os valores de erodibilidade. O Latossolo e o Argissolo, juntos, abrangem a maior parte da bacia, possuindo, o Argissolo, 48,5% da área, e o Latossolo, 15,2%. Os Solos Indiscriminados de Mangue são recomendados para preservação da flora e da fauna (EMBRAPA, 2009) e, por isso, não entraram na avaliação.

O fator Erodibilidade do solo (K) foi obtido pelo modelo proposto por Denardin (1990) (Equação 3):

$$K = (7,48 \cdot 10^{-6} \cdot M) + (4,48059 \cdot 10^{-3} \cdot VP) - (6,3117 \cdot 10^{-2} \cdot DMP) + (1,039567 \cdot 10^{-2} \cdot VR) \quad (3)$$

onde: M (%) = (areia muito fina + silte) × [(areia fina + silte) + areia grossa]; VP é o valor da permeabilidade (determinado pelos valores: 1, rápida; 2, moderada a rápida; 3, moderada; 4, lenta a moderada; 5, lenta; 6, muito lenta); DPM é o diâmetro médio ponderado das partículas de solo menores que 2 mm; e VR = [areia grossa \* (Teor de matéria orgânica/100)].

Para o cálculo de M(%), utilizou-se a equação proposta por Dernadim (1990 *apud* Demarchi *et al.*, 2014; Arraes *et al.*, 2010; Salis *et al.*, 2019). Para VP, utilizaram-se os parâmetros definidos por Wischmeier *et al.*, (1971). Para descobrir a classe textural de cada tipo de solo, foi empregado o triângulo textural do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos e, com base no resultado, foi diagnosticada a classe de permeabilidade, de acordo com a classificação de Wischmeier *et al.*, (1971). Para o cálculo do DMP, foi utilizada a equação proposta por Arraes *et al.*, (2010) *apud* Salis *et al.*, (2019); Demarchi *et al.*, (2014). Para cálculo de VR, foi adotada a equação proposta por Denardim (1990) *apud* Salis *et al.*, (2019). Para analisar os resultados de erodibilidade do solo, foi empregada a classificação adotada por Bertoni e Lombardi Neto (1999, *apud* Arraes *et al.*, 2010).

O fator LS foi obtido através de uma modelagem das altimetrias e declividades da área de estudo, por meio da utilização dos dados Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) do programa Topodata (Valeriano, 2008), obtidos através do acesso ao site: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/>, que foram processados com a utilização do *software* Qgis. Para obter o fator L, foi utilizada a metodologia de Desmet e Govers (1996) que desenvolveram um algoritmo que considera o fluxo acumulado como estimativa do comprimento de rampa, denominada área de contribuição, que indica o grau de confluência do escoamento. Para gerar a direção de fluxo e a área de contribuição, utilizou-se um conjunto de ferramentas para construção de análises hidrológicas no *software* TauDEM (Terrain Analysis Using Digital Elevation Model).

O fator S foi obtido pelo tratamento do Modelo Digital de Elevação (MDE) de altimetria e a partir deste foram gerados os dados de declividade no *software* Qgis, com emprego da classificação de declividade adotada por Ramalho Filho (1994). Finalmente, o fator topográfico (LS) foi obtido com a ferramenta LS – Factor do Sistema

para Análises Geocientíficas Automatizadas (SAGA), no Qgis, onde foram processados os arquivos referentes à declividade e à área de contribuição, distribuindo o fluxo proporcionalmente entre as células vizinhas (Desmet e Govers, 1996). Para analisar os resultados do fator topográfico (LS), foi utilizada a classificação adotada por Fornelos e Neves (2007).

O fator uso e manejo do solo (C) e o fator práticas conservacionistas (P) foram determinados utilizando-se as recomendações de Bertoni e Lombardi Neto (2014) e as adaptações propostas por Stein *et al.*, (1987) e Silva (2004). Para isso, foram utilizados os dados produzidos pelo zoneamento do uso do solo da área de estudo por Souza (2019). Utilizaram-se os valores integrados de CP propostos por Stein *et al.*, (1987), pois, de acordo com os autores, as duas variáveis só devem ser tratadas separadamente quando o objetivo for definir formas adequadas para a prática agrícola; entretanto, o foco do trabalho em tela é analisar a estimativa de perda de solo.

Com base nas diferentes classes de uso do solo, o fator CP foi determinado para cada classe, adaptando-se os valores propostos por Stein *et al.*, (1987) e para mineração um valor de C sugerido por Silva (2004), uma vez que as classes de ocupação antrópica da bacia não são influenciadas à primeira vista pelas práticas conservacionistas. De acordo com Botelho (2015), a classe *corpos d'água* recebe valor nulo de fator CP, uma vez que áreas com água não podem perder solo; isto é, foi aplicado o mesmo princípio que o das áreas de mangue.

Nas áreas urbanas asfaltadas, não se consideram a aplicação e o efeito de práticas conservacionistas, obtendo-se um valor nulo (Silva, 2004). Entretanto, optou-se por criar uma *shape* de polígonos em ambiente SIG, para classificar solo exposto dentro da área urbana. O Centro de Tratamento de Resíduos (CTR) recebeu valor 1, por entrar nessa classificação de área urbana com solo exposto. Com base no arquivo vetorial elaborado e na sua reclassificação, foi produzido o mapa do fator CP da bacia hidrográfica do rio Jaboação-PE.

Para a estimativa das perdas anuais médias de solo, foi utilizado o modelo matemático proposto por Wischmeier e Smith (1978), conforme a equação 7:

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \quad (7)$$

onde A = perda de solo média anual (Mg.ha-1.ano1); R = fator de erosividade da chuva (MJ.mm.ha1 .h-1.ano-1); K = fator de erodibilidade do solo (Mg.ha-1.MJ-1.mm-1); LS = fator topográfico (adimensional), em função do fator de declividade da vertente (%) e o comprimento da rampa (m); C = fator de uso e manejo do solo (adimensional); e P = práticas de suporte ou de conservação do solo em áreas agrícolas (adimensional).

Foi aplicado o cálculo da perda de solo para as unidades de mapeamento de solos da área

estudada com base no cruzamento dos fatores da EUPS, utilizando-se a calculadora raster do Qgis 2.18 e, após este procedimento, foi elaborada a carta de perda de solo da bacia hidrográfica do rio Jaboaão.

Visando avaliar o enquadramento dos resultados obtidos de perda de solo quanto à intensidade da erosão (Tabela 1), adotou-se a classificação proposta por Galdino *et al.*, (2003):

Tabela 1. Classes de suscetibilidade do solo à erosão pluvial

<b>PERDA DE SOLO (Mg.ha.<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>)</b>	<b>GRAU DE EROSÃO</b>
< 10	Nenhuma ou ligeira
10-50	Moderada
50-200	Alta
> 200	Muito alta

**Resultados e discussão**

Com a análise do parâmetro *erosividade da chuva* na bacia hidrográfica do rio Jaboaão- PE, verificou-se que os valores anuais variam de 7.7447 MJ.mm/ha.h.ano a 14.167 MJ.mm/ha.h.ano (Figura 2). Em 77,5% da área total da bacia, observou-se um índice numérico de Erosividade classificado como alto. Sendo assim, em áreas desprotegidas, a chuva terá maior potencial de promover erosão no solo, diminuindo para alto, em São Lourenço da Mata e Vitória de Santo Antão, este último com menor índice de Erosividade, somando 22,5% de área (Tabela2). Os índices de precipitação mensal e anual dos municípios que a bacia abrange justificam a média de Erosividade de 10.733 MJ.mm/há.h.ano, o que implica o fator R ficar entre muito alto e alto. De acordo com Labriere *et al.* (2015), a condição climática não pode ser favorável em locais onde não existe a cobertura vegetal do solo, deixando-o susceptível a erosão pluvial.

A bacia possui clima tropical quente e úmido, com chuvas concentradas principalmente no outono-inverno. Nessas condições, em locais que não possuam cobertura vegetal, é de suma importância o planejamento de práticas de manejo

e de conservação do solo e da água, visando minimizar os efeitos causados pela erosão pluvial.

Diante disso, a porção leste (Figura 2), no baixo curso da bacia, em que a taxa de Erosividade é elevada e justificada pela abundância hídrica da região próxima ao litoral nordestino, merece mais atenção. Como exemplo, tem-se o município de Recife, localizado nessa porção da bacia, que possui média de pluviosidade mensal de 181mm (tabela 2), enquanto Vitória de Santo Antão, que fica no alto curso da bacia, possui apenas 85 mm.

Nesse caso, à medida que nos aproximamos do baixo curso da bacia, maior será o impacto da erosão da chuva e maior a necessidade de práticas para conservação do solo (Silva Neto *et al.*, 2020).

O negligenciamento do potencial de erosividade da bacia provocará diversos problemas ambientais, pois, além das partículas de sedimentos em suspensão, o escoamento superficial transporta nutrientes, matéria orgânica, sementes e defensivos agrícolas que acarretam o empobrecimento gradativo dos solos agrícolas e podem gerar voçorocas, assoreamento, poluição dos mananciais e deslizamentos em áreas urbanas (Wang *et al.*, 2016; Gomes *et al.*, 2021).

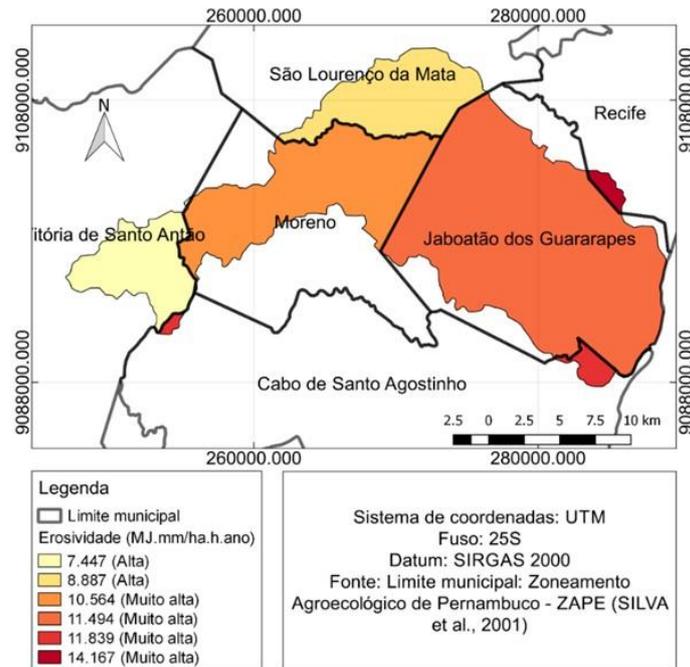


Figura 2. Erosividade da bacia hidrográfica do Rio Jaboatão, localizada no litoral e Zona da Mata Centro de Pernambuco.

Tabela 2. Valores de pluviosidade média mensal e anual e erosividade dos municípios da bacia hidrográfica do Rio Jaboatão-PE, localizada no litoral e Zona da Mata Centro de Pernambuco.

MUNICÍPIOS	MÉDIA MENSAL (mm)	MÉDIA ANUAL (mm)	EROSIVIDADE (MJ.mm/ha.h.ano)	ÁREA (%)	CLASSE DE EROSIVIDADE
Vitória de Santo Antão	85,12	978,8873	7.447	10	Alta
São Lourenço da Mata	104,80	1205,282	8.887,489	12,5	Alta
Moreno	128,71	1480,269	10.564,6	22,5	Muito alta
Jaboatão dos Guararapes	141,91	1631,996	11.494,6992	52,5	Muito alta
Cabo de Santo Agostinho	146,95	1690,025	11.839,69	1,7	Muito alta
Recife	181,25	2084,393	14.167,147	0,8	Muito alta

Com a análise do parâmetro *erodibilidade do solo* na bacia hidrográfica do rio Jaboatão- PE, verificou-se que os valores variam de 0,030 Mg ha h ha<sup>-1</sup> MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> a 0,039 Mg ha h ha<sup>-1</sup> MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>, aproximadamente, para Latossolo e Argissolo, respectivamente. Aferiu-se que 42,3% da área da bacia hidrográfica do rio Jaboatão apresenta o fator K de 0,03084495 Mg ha h ha<sup>-1</sup> MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> e, de acordo com Bertoni e Lombardi Neto (2014), classifica-se como um valor moderado de erodibilidade. Já os outros 48,5% da bacia

possuem erodibilidade alta, com valor de 0,039276151 Mg ha h ha<sup>-1</sup> MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> (Figura 3).

O horizonte A do Latossolo teve valor de erodibilidade de 0,038132257 Mg ha h ha<sup>-1</sup> MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>, classe alta, enquanto o B, classe moderada, com 0,023557643 Mg ha h ha<sup>-1</sup> MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> (Tabela 3). Sendo assim, apesar dos Latossolos da Zona da Mata apresentarem características físicas essenciais para serem menos susceptíveis à erosão (IBGE, 2015), é de suma importância que esse impacto seja minimizado.

Os Argissolos são solos naturalmente suscetíveis à ação dos processos erosivos, pois têm como característica marcante um aumento de argila do horizonte superficial A para o subsuperficial B, que é do tipo textural (Bt) (Guerra *et al.*, 2011), o que, entre outras questões, justifica que seu horizonte A tenha ficado com  $0,04642305 \text{ Mg ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$  (Tabela 3), classificado como erodibilidade muito alta.

Tabela 3. Valores de erodibilidade para os horizontes A e B e para as classes de solo com maior área na bacia hidrográfica do Rio Jaboatão-PE.

SOLO	ÁREA (%)	HOR.	FATOR K POR HOR.	CLASSE DE ERODIBILIDADE DO HORIZONTE	FATOR K DO SOLO	CLASSE DE ERODIBILIDADE DO SOLO
Latosolo	42,3	A	0,038	Alta	0,030	Moderada
		B	0,023	Moderada		
Argissolo	48,5	A	0,046	Muito alta	0,039	Alta
		B	0,032	Alta		

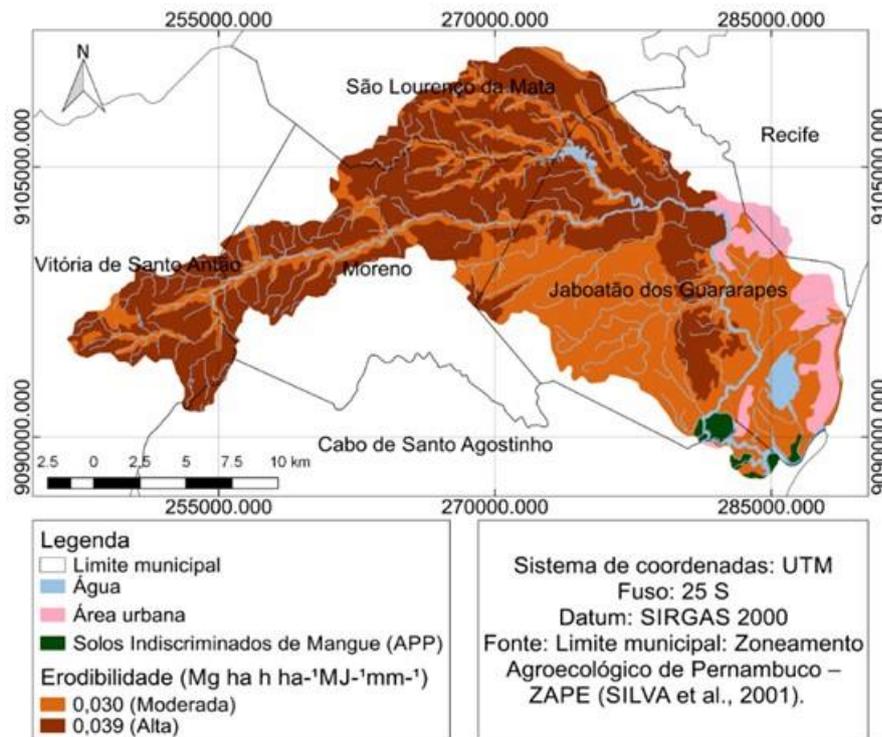


Figura 3. Erodibilidade da bacia hidrográfica do Rio Jaboatão, localizada no litoral e Zona da Mata Centro de Pernambuco.

Grande parte dos Argissolos apresenta um evidente incremento no teor de argila do horizonte superficial para o horizonte B, com ou sem decréscimo, para baixo no perfil. São de profundidade variável, desde fortes a imperfeitamente drenados. Devido a essa característica, possuem forte suscetibilidade de erosão da sua parte superior mais arenosa (Aragão, 2011), o que justifica seu horizonte B possuir

classe de erodibilidade  $0,032129252 \text{ Mg ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$  (Tabela 3), classificada como alta, sendo consideravelmente menos suscetível à erosão que o horizonte A.

Aferiu-se que 28,25% da área da bacia está com o potencial erosivo entre moderado a forte, no que se relaciona à influência do fator topográfico (LS) (Tabela 4).

Tabela 4. Classes do fator LS na bacia hidrográfica do Rio Jaboatão, localizada no litoral e Zona da Mata Centro de Pernambuco.

CLASSIFICAÇÃO CLASSES		ÁREA	
		(Km <sup>2</sup> )	(%)
Muito baixo	0-1	185.935	48.50
Baixo	1,1-2	90.111	23.25
Moderado	2,1-5	104.338	26.92
Moderadamente forte	5,1-10	5.129	1.32
Forte	10,1-50	0.053	0.01

Nos locais onde o fator LS apresentou valores significativos para o aumento da suscetibilidade erosiva (Figura 4), o grau de declive e o comprimento de rampa da encosta influenciam na velocidade de escoamento superficial, favorecendo a erosão, em termos de tamanho e quantidade de material transportado (Carmo *et al.*, 2015). De acordo com Viel (2015), quanto maior a declividade maior será a velocidade do escoamento, conseqüentemente, maior será a ação de remoção e transporte de partículas. Essas áreas

estão próximas à montante da bacia, principalmente nos municípios de Vitória de Santo Antão e Moreno. Entretanto, de acordo com Fornelos e Neves (2007) (Tabela 4), 71,74% da bacia possui valor de LS que varia de muito baixo a baixo, o que indica que, nesses locais, o fator LS exerce pouca influência no processo erosivo, dado que pode ser associado a baixos valores de declividade nessas áreas (Figura 4), uma vez que a perda de solo se mostra mais sensível em relação à declividade que em relação ao comprimento de rampa (Santos *et al.*, 2019).

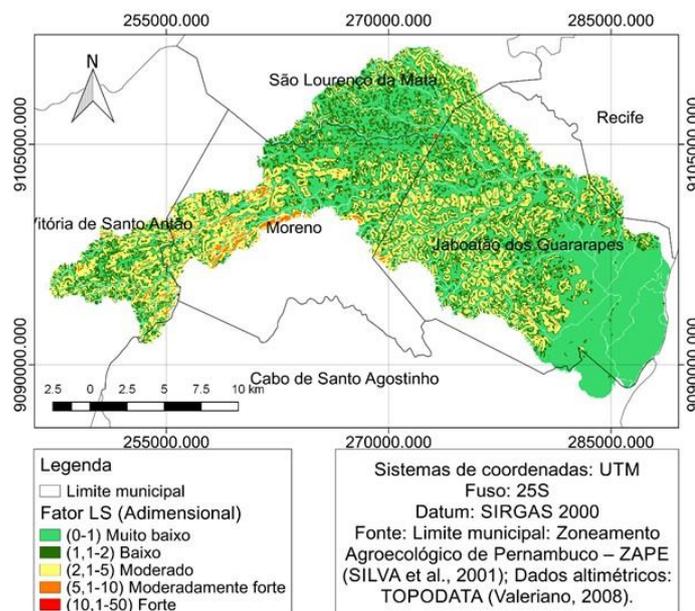


Figura 4. Fator LS da bacia hidrográfica do rio Jaboatão, localizada no litoral e Zona da Mata Centro de Pernambuco

Na tabela 5, verifica-se que a classe de uso do solo predominante na bacia do rio Jaboatão-PE é a de lavoura temporária, que cobre 44% da área e

possui valor CP de 0,20. As classes *mineração*, *solo exposto* e *aterro sanitário* recebem o valor 1 de CP, o maior da área estudada. Essas três classes somam 1,56% da bacia que está com o solo

totalmente desprotegido e onde as perdas de solo são muito expressivas. As pastagens apresentam-se geralmente de médio a baixo porte, o que confere baixa proteção do solo e risco de erosão, por isso recebem valor CP de 0,01. As classes de *área urbana*, *água* e *mangue* cobrem 26,44% da área da bacia; a urbana, a maior delas, com 24%, concentrada no baixo e médio curso da bacia

(Tabela 5 e Figura 5). A classe *mata*, por servir de proteção ao solo, tem valor de CP pequeno, de apenas 0,00004. A cobertura vegetal é a defesa natural de um solo contra a erosão (Carmo *et al.*, 2015; Lal, 2001; Anache *et al.*, 2015). Isso explica a redução do valor CP na área de mata, com 17% distribuídos nas cidades de Jaboatão dos Guararapes, São Lourenço da Mata, Moreno e Vitória de Santo Antão (Figura 5).

Tabela 5. Classes de uso do solo na bacia hidrográfica do Rio Jaboatão-PE e valores correspondentes de CP e sua porcentagem na bacia.

Uso do solo	Valores CP (adimensionais)	Área (%)
Área urbana	0,00	24
Água	0,00	1,1
Mangue	0,00	1,34
Mata	0,00004	17
Pasto	0,01	11
Lavoura temporária	0,20	44
Mineração*	1	0,21
Área urbana: solo exposto	1	1,1
Aterro sanitário	1	0,25

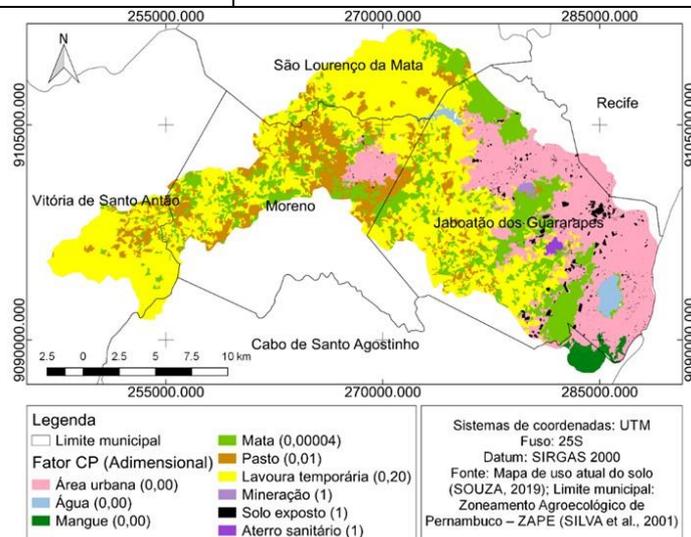


Figura 5. Fator CP na bacia hidrográfica do rio Jaboatão, localizada no litoral e Zona da Mata Centro de Pernambuco.

### Perda de solo anual

Verifica-se que 45,83% da bacia hidrográfica do rio Jaboatão possuem classes de perda de solo de moderada a muito alta (Tabela 6).

De acordo com Salleh e Mousazadeh (2011), esse dado está acima do valor admissível de erosão, que é <10 megagrama por hectare ao ano (Mg.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>); acima disso, a erosão é considerada muito problemática.

Tabela 6. Classes de perda anual do solo na bacia hidrográfica do Rio Jaboatão, localizada no litoral e Zona da Mata Centro de Pernambuco.

CLASSIFICAÇÃO	CLASSES (Mg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )	ÁREA	
		(km <sup>2</sup> )	(%)
Ligeira ou nenhuma	<10	209.763	54.17
Moderada	10-50	44.010	11.37
Alta	50-200	104.146	26.89
Muito alta	>200	29.317	7.57

No médio e alto curso, os valores de perda de solo aumentam consideravelmente, sendo 11,37% da área com potencial moderado de perda, ocorrendo um aumento para 26,89% de perda de solo alta e apenas 7,57% com classificação muito alta. No entanto, parte da bacia possui potencial, segundo a classificação de Galdino *et al.*, (2003), para a perda de solo de ligeira ou nenhuma, ocupando 54,17% da área (Tabela 6), localizando-se, principalmente, no baixo curso da bacia. A figura 6 exibe a distribuição espacial dos valores de perda de solo anual, estimados para a área de estudo.

Foi possível identificar que os locais em que a perda de solo é <10 Mg.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> (ligeira ou nenhuma) situam-se sobre o Latossolo, fator topográfico de muito baixo a baixo, e locais de área urbana. Também existem locais providos de cobertura vegetal ao longo do ano, como pastagem e áreas de mata, que oferecem proteção ao solo, pois funcionam como um amenizador do impacto das gotas de chuvas (Labrière *et al.*, 2015; Francisco, Santos e Brito, 2022). A cobertura vegetal nessas áreas, aliadas às características do relevo e à erodibilidade moderada, favorece a dispersão e diminuição da velocidade do escoamento superficial, ocasionando as baixas perdas de solo por erosão laminar (Lal, 2001).

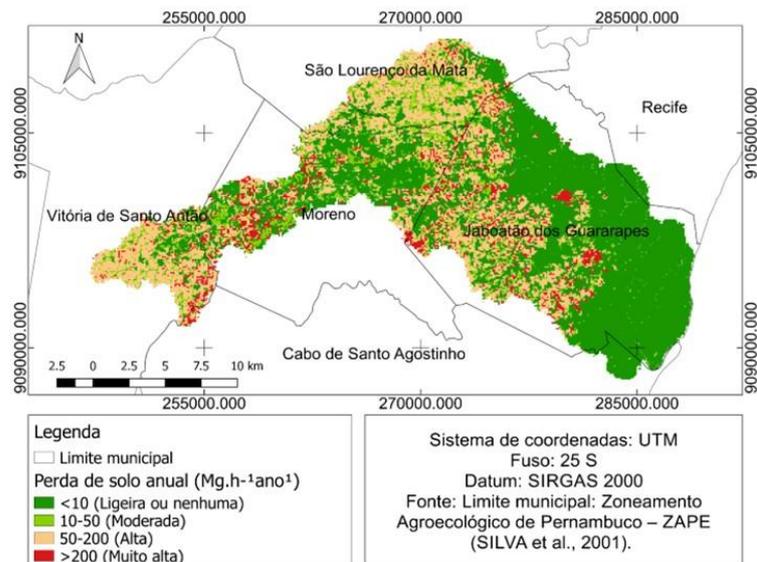


Figura 6. Perda de solo anual da bacia hidrográfica do rio Jaboatão, localizada no litoral e Zona da Mata Centro de Pernambuco.

As perdas de solo compreendidas entre 10-50 Mg.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> (Moderada) associam-se a lugares com baixa declividade, onde o escoamento superficial é lento, não favorecendo a erosão hídrica, uma vez que quanto maior a declividade maior será a velocidade do escoamento, conseqüentemente, maior será a ação de remoção e transporte de partículas (Viel, 2015; Carvalho *et al.*, 2019). Também se associa a lugares atribuídos a lavouras temporárias que, devido à sazonalidade da cultura, se encontra vulnerável à erosão, com solo desnudo ou com cobertura incipiente. De acordo com Dechen *et al.* (2015), a taxa de cobertura do solo tem influência nas perdas, porque o aumento da taxa de cobertura do solo controla tanto as perdas de terra como as de umidade do solo.

Os locais onde ocorrem perdas de solo entre 50-200 Mg.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> (Alta) situam-se em áreas destinadas ao uso agrícola, de lavouras temporárias, regiões que se encontram desprovidas de cobertura vegetal em certos períodos do ano, devido à sazonalidade agrícola, deixando o solo exposto à erosão. Dependendo da velocidade e intensidade da água da chuva, em culturas de pequeno porte, como pastagens ou lavouras ainda incipientes, a falta de cobertura vegetal pode causar desagregação das partículas do solo (Ribeiro *et al.*, 2016). Nesse caso, sabendo do grande potencial à erosão nessas áreas, pode-se traçar um planejamento de uso do solo e determinação de práticas mais adequadas para o terreno (Bertoni e Lombardi Neto, 2014; GUERRA *et al.*, 2015).

O fator topográfico também influencia nessa alta perda de solo. Nota-se que essas áreas possuem valor LS de moderado a moderadamente forte, em que o grau de declive e o comprimento de rampa da encosta influenciam na velocidade de escoamento superficial (Carmo *et al.*, 2015; Ferreira *et al.*, 2021). De acordo com Bertoni e Lombardi Neto (2014), nas regiões com topografia acidentada, a melhor prática é a cobertura do solo com floresta, que favorece a redução das enxurradas que se formam na cabeceira do relevo, atenuando os problemas de controle da erosão nos terrenos situados mais abaixo.

As perdas de solo classificadas em < 200 Mg.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> (Muito alta) encontram-se em regiões desprovidas de cobertura vegetal, em que o uso da terra é destinado à mineração e aterro sanitário. Essas também são áreas de fator LS moderadamente forte a muito forte, em que o grau de declive e o comprimento de rampa da encosta são maiores, possibilitando um maior escoamento superficial, sendo recomendada a utilização desses

terrenos para reflorestamento (Bertoni e Lombardi Neto, 2014; Guerra *et al.*, 2015; Baloque e Capoane, 2021).

Analisando e correlacionando os resultados da perda de solo anual (figura 6) com os fatores da EUPS gerados, é possível observar uma forte influência dos fatores LS e/ou CP para o aumento da perda de solo, assim como nos estudos de Pereira *et al.*, (2015); Graça *et al.*, (2015); Carvalho *et al.*, (2019); Bueno *et al.*, (2011), que apresentam condições climáticas parecidas com as da área de estudo em tela. Considerando que o uso da terra foi um fator com grande influência para o aumento do potencial de perda de solo no mapeamento da área estudada, foram escolhidos alguns locais que apresentaram, nas suas imediações, potencial de perda para a realização de uma análise comparativa e mais pontual entre os resultados do mapeamento do potencial de perda de solo com o uso da terra (Fig.7 e 8).

Os pontos da figura 7 se encontram em locais que apresentaram, no mapeamento de perda de solo anual, classe de solo moderada (10-50 Mg.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>) e muito alta (> 200 Mg.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>). A figura 7a está localizada à montante da bacia em Vitória de Santo Antão. Nela é possível observar plantação de cana-de-açúcar, assim como encosta e estrada expostas à erosão. A figura 7b é no município de Moreno, onde se pode observar encosta exposta. Nas figuras 7c e 7d, no município de Jaboatão dos Guararapes, observam-se áreas de declive e solo exposto, recorte de barreira com construções irregulares, ruas sem pavimentação e pouca ou nenhuma cobertura vegetal.

Nesse contexto, seria de suma importância o planejamento adequado do uso desse solo, utilizando-se técnicas de controle preventivo da erosão. A estruturação do escoamento superficial e a proteção da área pela suavização da inclinação, redução no comprimento da vertente e aumento da rugosidade superficial são os princípios fundamentais de controle de processos erosivos por agente hídrico nessas áreas (Verdum *et al.*, 2016; Toniolo *et al.*, 2021).

Os pontos da figura 8 se encontram em locais que também apresentaram, no mapeamento de perda de solo anual, classe de solo moderada (10-50 Mg.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>) e muito alta (> 200 Mg.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>). Na figura 8a e 8c, pode-se observar área de declive com solo exposto, corte de barreiras em áreas de encosta para construção de moradias irregulares, solo exposto e ruas sem pavimentação. Já nas figuras 8b e 8d, verifica-se grande extensão de área com solo desprotegido pelo uso, respectivamente, uma pedreira e uma Central de Tratamento de

Resíduos (CTR), localizadas em Jaboatão dos Guararapes.



Figura 7. Pontos de campo utilizados na análise comparativa entre o potencial de perda de solo e o uso da terra praticado na bacia hidrográfica do rio Jaboatão, localizada no Litoral e Zona da Mata Centro de Pernambuco; 7a – Ponto localizado em Vitória de Santo Antão de coordenadas UTM 0249830 9097568; 7b – Moreno, coordenadas UTM 0260147 e 9100196; 7c – Jaboatão dos Guararapes, coordenadas UTM 276119 e 9106126; 7d – Jaboatão dos Guararapes, coordenadas UTM 279103 e 9101592

Nesse contexto, é importante que se implementem práticas de conservação para que o processo erosivo seja minimizado e se previnam futuros desastres, como deslizamentos de terra. Para isso, Toniazzo *et al.* (2018) cita algumas medidas estruturais que mitigam tais efeitos, como obras de engenharia, obras de contenção, implementação de sistemas de drenagem e reurbanização de áreas. O CTR e a Pedreira são áreas de difícil implementação de práticas conservacionistas, pois a finalidade de uso do solo é de degradação. Todavia, é preciso adotar medidas para um melhor uso, gestão e articulação dos recursos, que evitem ou atenuem os impactos ambientais (Verdum *et al.*, 2016; Amaro *et al.*, 2021).

Diante disso, seria de suma importância o planejamento adequado do uso da terra, utilizando-se técnicas de controle preventivo da erosão e mitigação de efeitos adversos. Medidas de Redução de Risco de Desastres (RRD), de acordo com Forino *et al.* (2014), podem contribuir diretamente para Adaptação de Mudanças Climáticas (AMC) – Climate Change Adaptation (CCA), pois seu objetivo é reduzir riscos por meio de análises sistemáticas de fatores que causam desastres, a fim de melhor preparação para esses eventos adversos, tais como fenômenos de origem socioeconômica, política e/ou ambiental, incluindo a erosão do solo (Leon e Pittock, 2016; Silva *et al.*, 2021).

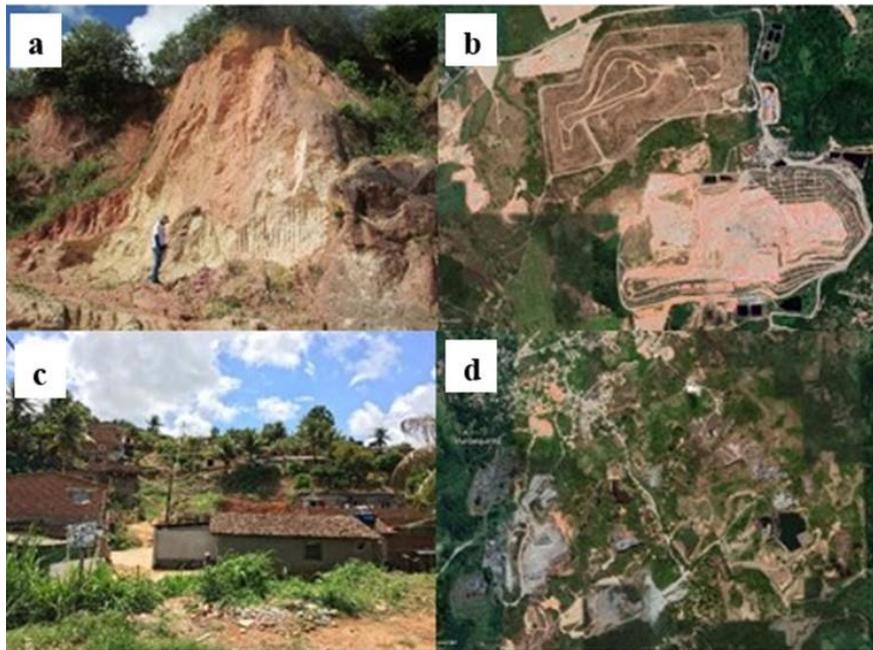


Figura 8. Pontos de campo utilizados na análise comparativa entre o potencial de perda de solo e o uso da terra praticado na bacia hidrográfica do rio Jaboatão, localizada no Litoral e Zona da Mata Centro de Pernambuco; 8a – Jaboatão dos Guararapes, coordenadas UTM 278015 e 9100616 ; 8b – Central de Tratamento de Resíduos (CTR), em Candeias, município de Jaboatão dos Guararapes, coordenadas UTM 281783 e 9096489; 8c – Jaboatão dos Guararapes, coordenadas UTM 027637 e 9101149; 8d – Pedreira Polimix em Muribequinha, município de Joaboatão dos Guararapes, de coordendas UTM 280159 e 9100655.

Pensando na possibilidade de mudanças climáticas e de eventos climáticos extremos ocorrerem, um planejamento estratégico para as áreas mais susceptíveis pode ser feito. De acordo com o Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED) (2015), desastres meteorológicos são responsáveis por 40% dos desastres em todo o globo, principalmente em países de baixa renda. Nesse sentido, metodologias como a EUPS podem contribuir para o planejamento e as tomadas de decisão para alocação de recursos e investimentos.

### Considerações finais

Observa-se que a capacidade de erosão da chuva (Fator R) na bacia do rio Jaboatão está entre alta e muito alta e o potencial erosivo aumenta à medida que essa chuva se aproxima do baixo curso do rio. Já no parâmetro erodibilidade, constata-se que 48,5% da bacia possui alta suscetibilidade à erosão e 42,3% moderada suscetibilidade, sendo, os Argissolos, os mais susceptíveis.

No fator topográfico (LS), 28,25% da área da bacia está com o potencial erosivo entre moderado a forte, enquanto 71,74% da bacia possui valor de LS que varia de muito baixo a baixo. Já no fator CP, a maior parte da área da bacia possui uso de lavoura temporária, com 44% de sua extensão apresentando risco erosivo, pois, devido à

sazonalidade das culturas, pode encontrar-se susceptível à erosão com solo desnudo ou com cobertura incipiente.

Diante do objetivo geral, observa-se que a bacia hidrográfica do rio Jaboatão-PE possui 45,83% da área com valores de perda de solo acima do admissível de  $10 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ , com classes de moderada a muito alta, apresentando uma condição de erosão muito problemática. No entanto, 54,17% da bacia está dentro do valor, com potencial para a perda de solo de ligeira ou nenhuma. O uso e manejo do solo e práticas conservacionistas (CP), assim como o comprimento de rampa e a declividade do terreno (LS), são, dos fatores da EUPS, os que possuem mais influência no aumento do valor da perda de solo anual.

Com a análise do uso da terra aplicado ao mapa de perda de solo anual da bacia, com base nos dados de campo, foi possível observar que existem áreas com forte presença de processos erosivos e mau uso do solo, com remoção da vegetação natural, encostas, estradas e margens do rio expostas à erosão e construções irregulares em áreas de declive. Assim, a Equação Universal de Perdas de solo (EUPS) e seus fatores é uma ferramenta de boa aplicabilidade e estimativa, fornecendo os parâmetros necessários para o planejamento do uso e ocupação do solo. Foi essencial a utilização de Sistemas de Informações

Geográficas (SIG) para a aplicação dos modelos da EUPS, pois favoreceram e possibilitaram a manipulação, cruzamentos e espacialização dos dados

### Agradecimentos

À Diretoria de Pesquisa, Pós-graduação e Inovação (DPPI) do IFPE campus Recife pelas bolsas de iniciação científica dos dois primeiros autores. À Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-graduação e Inovação (PROPESQ) do IFPE pelo financiamento e bolsa pesquisador.

### Referências

- Amaro, V. E. et al. (2021). Avaliação da suscetibilidade do solo à erosão nas falésias do litoral do estado do Rio Grande do Norte. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 22, 3-25.
- Anache, J. A. A. et al. (2015). Assessment of methods for predicting soil erodibility in soil loss modeling. *Geociências*, São Paulo, 34, 32-40.
- Arraes, L. C.; Bueno, C. R. P.; Pissarra, T. C. T. (2010). Estimativa da erodibilidade do solo para fins conservacionistas na microbacia córrego do Tijuco, SP. *Bioscience Journal*, Uberlândia, 26, 849-857.
- Aragão, R. et al. (2011). Mapeamento do potencial de erosão laminar na Bacia do Rio Japarutuba, SE, via SIG. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, 15, Recuperado em: <https://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v15n7/v15n07a12.pdf>.
- Back, Á. J.; Poletto, C. (2017). Avaliação temporal do potencial erosivo das chuvas de Florianópolis-SC. *Revista Brasileira de Climatologia*, Curitiba, v. 21, 264-283. Recuperado em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/49018>.
- Baloque, G. F.; Capoane, V. Suscetibilidade a erosão do solo na bacia hidrográfica do córrego Bandeira, campo Grande – MS. *Revista Cerrados*, 19, 183-217.
- Bertoni, J.; Lombardi Neto, F. (2014). Equação de perdas de solo. In *Conservação do solo*. São Paulo: Ícone, p. 248-267, 2014.
- Bertoni, J. C.; Tucci, C. E. M. Precipitação. (2001). In C. E. M. TUCCI, *Hidrologia: Ciência e aplicação*. (2a ed., pp. 1-994). Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS: ABRH.
- Botelho, T. H. A. (2015). Disponibilidade e aplicabilidade de dados espaciais na caracterização e quantificação de perdas de solo por erosão na bacia hidrográfica do Rio Samambaia, Goiás (Dissertação de mestrado – Agronomia). Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO, Brasil.
- Bueno, C. R. P.; Arraes, C. L.; Miqueloni, D. P. (2011). Aplicação do sistema de informação geográfica para determinação do fator topográfico em bacias hidrográficas. *Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias*, Guarapuava- PR, 4, 30-47.
- Carmo, A. M. et al. (2015, dezembro). Análise de Risco Ambiental à Erosão Gerada a partir de produtos de sensores remotos: MDE Topodata e Landsat 8. *Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR-INPE*. João Pessoa, PB, Brasil, 17.
- CPRH, Agência Estadual de Meio Ambiente. (2016). Grupo de pequenos rios litorâneos – GL2. In *Relatório de monitoramento da qualidade da água de bacias hidrográficas do estado de Pernambuco*. Diretoria de gestão territorial e recursos hídricos, governo de Pernambuco.
- Carvalho, H. J. M. et al. (2019). Estimativa de perda de solo por erosão laminar em Lucena-PB. *Revista de Geociências do Nordeste*, 5, 57-68.
- Cordeiro, M. W. S. (2018). Índice de risco a erosão e mapeamento das áreas de risco por erosão de solo em Natal-RN (Dissertação de mestrado – Uso Sustentável de Recursos Naturais). Instituto Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, Brasil. ]
- Dechen, S. C. F. et al. (2015). Perdas e custos associados à erosão hídrica em função de taxas de cobertura do solo. *Bragantia*, Campinas, 74, 224-233.
- Demarchi, J. C.; Zimback, C. R. L. (2014). Mapeamento, erodibilidade e tolerância de perda de solo na sub-bacia do ribeirão das perobas. *Revista Energia na agricultura*, Botucatu, 29, 102-114.
- Denardim, J. E. (1990). Erodibilidade de solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos (Tese de doutorado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, Brasil.
- Desmet, P. J. J.; Govers, G. A. (1996). GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex lands cape units. *Journal of Soil and Water Conservation*, 51, 427-433.
- EMBRAPA. (2009). Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Sistema

- Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI.
- FAO; ITPS. (2015). Status of the World's Soil Resources (SWSR). Main Report, Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils, Rome, Italy (650).
- Ferreira, A. M. et al. (2021). Estimativa da erosão hídrica do solo pelo modelo Water Erosion Prediction Project na Sub-bacia do Córrego do Gigante, sul de Minas Gerais. Eng. Sant. Ambient. 26, 471-483.
- Fiorese, C. H. U. et al. (2021). Levantamento da perda de solo atual por erosão hídrica do município de cachoeiro de Itapemirim (ES). Cadernos Camilliani – USC. 16, 1525-1546.
- Fiorese, C. H. U. (2021). Potencial natural à erosão dos solos da sub-bacia hidrográfica do córrego da Vista Alegre, no município de Muniz Freire (ES). Revista Tocantinese de Geografia. 10, 221-230.
- Forino, G. et al. (2014). Disaster risk reduction and climate change adaptation policy in Australia. Procedia Economics and Finance, 18, 473-482.
- Fornelos, L. F.; Neves, S. M. A. S. (2007). Uso de modelos digitais de elevação (MDE) gerados a partir de imagens de radar interferométrico (SRTM) na estimativa de perdas de solo. Revista Brasileira de Cartografia, 59.
- Francisco, P. R. M.; Santos, D.; Brito, T. P. (2022). Potencial natural de erosão e limite de tolerância de perdas de solo em bacia hidrográfica na região do Brejo Paraibano. Revista Geama. 8, 33-42.
- Galdino, S. et al. (2003). Perdas de solo na bacia do alto Taquari. 21. ed. Corumbá: Embrapa Pantanal, p. 9-40.
- Gomes, S. C. (2005). Diagnóstico ambiental do meio físico da bacia hidrográfica do rio Jaboatão-PE. (Dissertação de mestrado – Geografia). Pós-graduação em Geociências, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, Brasil. Recuperado de: [https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/6554/1/arquivo6827\\_1.pdf](https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/6554/1/arquivo6827_1.pdf).
- Gomes, D. C. et al. (2021). Impactos climáticos na erosão hídrica do solo para a Amazônia Ocidental. Revista Brasileira de Climatologia. 28, 242-265.
- Graça, C. H. et al. (2015). Análise multitemporal da perda de solo estimada para a bacia hidrográfica do rio Mourão, Paraná – Brasil. Braz. J. Biol., 75, 1-11.
- Guerra, A. J. T.; Silva, A. S.; Botelho, R. G. M. (2015). Erosão e conservação dos solos: Conceitos, temas e aplicações. 10. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 229-265.
- Guerra, A. J. T.; Mendonça, J. K. S. (2011). Erosão dos solos e a questão ambiental. In A. C. Vitte & A. J. T. Guerra, (Orgs.), Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil (5a ed., pp. 225-251). Rio de Janeiro: Bertrand Brasil.
- IBGE, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. (2015). Manual Técnico de Pedologia. 3a ed. Rio de Janeiro: IBGE.
- IPEA, Ministério do Planejamento, Desenvolvimento e Gestão. (2018). ODS – Metas Nacionais dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. In Agenda 2030. SILVA, E. R. A. (Org.). IPEA. Recuperado de: [http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/8855/1/Agenda\\_2030\\_ods\\_metas\\_nac\\_dos\\_obj\\_de\\_desenv\\_susten\\_propos\\_de\\_adequa.pdf](http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/8855/1/Agenda_2030_ods_metas_nac_dos_obj_de_desenv_susten_propos_de_adequa.pdf).
- Lal, R. (2001). Soil degradation by erosion. Land Degrad. Develop., 12, 519-539.
- Lal, R. (1997). Degradation and resilience of soils. Phil. Trans. R. Soc. B, 352: 997-1010.
- Labrière, N. et al. (2015). Soil erosion in the humid tropics: A systematic quantitative review. v. 203 Agriculture, Ecosystems and Environment. v. 203, 127-139.
- Leon, E. G.; Pittcock, J. (2016). Integrating climate change adaptation and climate-related disaster risk-reduction policy in developing countries: A case study in the Philippines. Climate and Development. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.1080/17565529.2016.1174659>.
- Lopes, F. B. et al. (2011). Uso de Geoprocessamento na estimativa da perda de solo em microbacia hidrográfica do semiárido brasileiro. Revista Agro@mbiente. 5, 88-96.
- Miguel, P. (2021). Mapeamento da erodibilidade e erosão potencial do solo em uma bacia hidrográfica de encosta. Eng. Sant. Ambient. 26, 1-9
- Oliveira, I. V. A. (2019). Análise de riscos erosivos na bacia hidrográfica do Rio Jaboatão-PE. (Trabalho de conclusão de curso). Instituto Federal de Pernambuco, Recife, PE, Brasil.
- Pereira, T, S, R. et al. (2015). Determinação e espacialização da perda de solo da bacia hidrográfica do Córrego Cascavel, Goiás. Rev. G-eogr. Acadêmica. 9, 76-96.
- Pinto, G. S. et al. (2020). Estimativa das perdas de solo por erosão hídrica utilizando o Método de erosão Potencial. Revista do departamento de geografia. 39, 62-71.

- Ramalho Filho, A. (1994). Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras. In A. Ramalho Filho & K. J. Beek (Orgs.), (3a ed., pp. 1-65). Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPQ.
- Ribeiro, A. S.; et al. (2016). Vulnerabilidade ambiental à erosão hídrica em uma sub-bacia hidrográfica pelo processo analítico hierárquico. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 9, 16-31.
- Sakuno, N. R. R. et al. (2020). Adaptação e aplicação do método de erosão potencial para solos tropicais. *Re. Ciênc. Agron.* 51, 1-10.
- Santos, R. C.; Guerra, A. J. T. (2021). Avaliação da erosão dos solos na bacia hidrográfica do rio pequeno, Paraty -RJ. *Geosaberes: Revista de Estudos Geoeducacionais*, 12, 24-41.
- Santos, R. B.; Almeida, A. Q.; Santos, W. A. (2019). Estimativas de Perdas de Solo para Diferentes Cenários de Cobertura Vegetal na Bacia Hidrográfica do Rio Piauitinga-SE. *Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ*. 42, 672-681.
- Salleh, O. M.; Mousazadeh, F. (2011). Gully erosion in semiarid regions. *Procedia Social and Behavioral Sciences* n. 19, 651-661
- Salis, H. H. C. et al. (2019). Estimativa da perda anual de solos na bacia hidrográfica do Córrego Marinheiro, Sete Lagoas- MG, por meio da RUSLE. *Boletim de Geografia*, 37, 101-111.
- Silva, V. C. (2004). Estimativa da erosão atual da bacia do rio Paracatu (MG/GO/DF). *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 3, 147-159.
- Silva, F. B. R. et al. (2001). Zoneamento Agroecológico de Pernambuco – ZAPE. Recife: Embrapa Solos – Unidade de Execução de Pesquisa e Desenvolvimento – UEP Recife; Governo do Estado de Pernambuco (Secretaria de Produção Rural e Reforma Agrária). (Embrapa Solos. Documentos; n. 35). ZAPE Digital, CD-ROM.
- Silva, C. S.; Girão, O. (2020). Análise morfométrica e caracterização geomorfológica da bacia hidrográfica do rio Jaboatão (BHRJ) – Pernambuco. *Geosul, Florianópolis*. 35, 441-460.
- Silva, J. R. M. et al. (2021). Estimativa da vulnerabilidade dos solos à erosão hídrica na abacia hidrográfica do Rio das Mortes (MG). *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*. 14, 1-14.
- Silva Neto, V. L. et al. (2020). Distribuição espacial da erosividade das chuvas na bacia do rio Manuel Alves da Natividade, Tocantins. *Sociedade & Natureza, Uberlândia*, 32, 161-175. ISSN 1982-4513.
- Souza, D. D. R. (2019). Análise espaço-temporal do uso da terra da bacia hidrográfica do Rio Jaboatão- PE. 2019. (Trabalho de conclusão de curso). Instituto Federal de Pernambuco, Recife, PE, Brasil.
- Souza, F. L. P.; et al. (2019). Geoprocessamento na avaliação de perdas de solo. *Revista Irriga, Botucatu*, 24, 624-644.
- Stein, D. P.; et al. (1987). Potencial de erosão laminar, natural e antrópica na bacia do Peixe Parapanema. *Anais do Simpósio Nacional de Controle de Erosão, Marília, SP, Brasil*. 4.
- Toniolo, B. P. (2021). Análise espacial de perda de solo por erosão na bacia hidrográfica do Rio Jundiá-Mirim – SP. *Revista Brasileira de Desenvolvimento Territorial Sustentável*. 7, 210-236.
- Toniazzo, F. et al. (2018). Escorregamento de solos na região oeste do estado de Santa Catarina: Consequências sócio-ambientais. *Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental*, 7, 1, 397-417.
- Valeriano, M. M. (2008). Dados topográficos. In: T. G. Florenzano (Org.), *Geomorfologia: Conceitos e tecnologias atuais*. (pp. 159-184). São Paulo: Oficina de textos.
- Verdum, R. (2016). Reorganização do escoamento superficial e controle de ravinas e voçorocas. In Roberto Verdum, Carmem Lucas Vieira & Jean Carlo Gessi Canappele (Orgs.), *Métodos e técnicas para o controle da erosão e conservação do solo* (1a ed., pp. 7-25). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil.
- Viel, J. A. (2015). Análise da erosão superficial do solo na região da denominação de origem vale dos vinhedos (RS) por meio da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) e do geoprocessamento. (Trabalho de conclusão de curso). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil.
- Wang, B.; Zheng, F. Guan, Y. (2016). Improved USLE-K factor prediction: A case study on water erosion areas in China. *International Soil and Water Conservation Research*, 4, 168-176.
- Wischmeier, W. H.; Smith, D. D. (1978). Predicting rainfall erosion losses: The guide to conservation planning. Washington: USDA.
- Wischmeier, W. H.; Johnson, C. B.; Cross, B. V. (1971). A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. *Journal of Soil and Water Conservation*, 26, 189-193.