

POTENCIAL EROSIVO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JABOATÃO-PE

Izabelly Victoria Alves de Oliveira

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE
Programa de Pós-Graduação em Geografia, Recife, PE, Brasil
izabelly.oliveira@ufpe.br

Deivid Damião Roque de Souza

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE
Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Recife, PE, Brasil
deivid.roque@ufpe.br

Manuella Vieira Barbosa Neto

Curso de Licenciatura em Geografia – CGEO,
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco – IFPE
Recife, PE, Brasil
manuellaneto@recife.ifpe.br

Marcelo Ricardo Bezerra de Miranda

Curso de Licenciatura em Geografia – CGEO,
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco – IFPE
Recife, PE, Brasil
marcelomiranda@recife.ifpe.edu.br

RESUMO

O processo erosivo é um dos mais danosos causadores de degradação ambiental. Um diagnóstico do potencial erosivo de uma região pode auxiliar no entendimento dos mecanismos que atuam nas áreas naturais e antropizadas, tornando possível a orientação das atividades a serem desenvolvidas. Desse modo, o objetivo do presente estudo foi analisar os riscos decorrentes da suscetibilidade natural à erosão da bacia hidrográfica do rio Jaboatão-PE. Para isso, utilizou-se a metodologia de mapeamento e análise da suscetibilidade natural à perda de solo que se baseia nos conceitos de estabilidade e instabilidade ambiental. Realizou-se uma avaliação do balanço existente entre os processos de morfogênese/pedogênese por meio dos atributos da paisagem: pedologia, geologia, declividade, cobertura vegetal e intensidade pluviométrica, com a utilização de ferramentas de geoprocessamento. Por fim, realizaram-se trabalhos de campo para análise dos riscos decorrentes dos processos erosivos presentes na bacia. Foi possível verificar que em 70% da área predomina a classe de erosão medianamente estável/suscetível, e a bacia apresenta uma quantidade significativa de locais com construções em áreas propícias a movimentos gravitacionais de massa, com alto grau natural de suscetibilidade, demonstrando, assim, a necessidade de medidas conservacionistas para a diminuição dos riscos.

Palavras-chave: Álgebra de mapas. Geoprocessamento. Problemas ambientais. Solo.

EROSION POTENTIAL OF THE JABOATÃO RIVER BASIN IN PERNAMBUCO

ABSTRACT

The erosion process is one of the most harmful causes of environmental degradation. A diagnosis of the erosion potential of a region can help in understanding the mechanisms that act in natural and anthropized areas, making it possible to guide the activities to be developed. Thus, the objective of this study was to analyze the risks arising from the natural susceptibility to erosion in the hydrographic basin of the Jaboatão-PE river. For this, the methodology of mapping and analysis of natural susceptibility to soil loss was used, which is based on the concepts of environmental stability and instability. An evaluation of the existing balance between morphogenesis/pedogenesis processes was carried out through landscape attributes: pedology, geology, slope, vegetation cover and rainfall intensity, using geoprocessing tools. Finally, field work was carried out to analyze the risks arising from the erosive processes present in the basin. It was possible to verify that in 70% of the area the moderately stable/susceptible erosion class predominates, and the basin has a significant number of sites with buildings in areas conducive to gravitational mass movements, with a high natural degree of susceptibility, thus demonstrating the need for conservation measures to reduce risks.

Keywords: Map algebra. Geoprocessing. Environmental problems. Ground.

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, tem crescido o número de estudos e pesquisas cujo objeto, dentre outros, são as questões ambientais. Problemas como desmatamento, poluição atmosférica ou hídrica, perda de solo por processos erosivos, contaminação dos solos, entre diversos outros, têm atingido grande parte da Terra ocasionando riscos, como deslizamentos de encostas, assoreamento dos cursos d'água, contaminação de mananciais, além de perdas econômicas e sociais para a população (FIGUEIREDO et al., 2010; ROVANI et al., 2014). Desse modo, a crescente demanda por recursos naturais demonstra a urgência de conservá-los e preservá-los, havendo, então, a necessidade de estudos que mostrem onde esses problemas estão ocorrendo de maneira significativa para que possam ser tomadas as devidas medidas mitigadoras.

Dentre os recursos naturais mais ameaçados pelos problemas advindos da modernidade, o solo tem um destaque especial, tendo em vista que ele se apresenta como recurso natural limitado, fonte de nutrientes para diversas plantas e cultivos, filtra e armazena a água, e tem um papel vital como agente mantenedor de diversos ecossistemas (CRUZ, 2018). Para Bertoni e Lombardi Neto (2014), a erosão do solo constitui, sem dúvida, a principal causa do empobrecimento acelerado das terras.

Os processos erosivos caracterizam-se pelo transporte de sedimentos, e o impacto da chuva e do escoamento superficial determina o desenvolvimento inicial da erosão hídrica. Santos e Westphalen (2014) afirmam que esse processo, a depender da cobertura existente no solo, pode progredir rapidamente, afetando não apenas o local de origem, mas toda a extensão envolvida pelo transporte e deposição dos sedimentos e partículas erodidas, causando assoreamento, enchentes e deslizamentos nas áreas de encosta.

Um dos processos erosivos que mais causa a degradação do solo é a erosão hídrica, processo esse verificado com maior intensidade nas áreas que têm um alto índice pluviométrico (LAL, 2001; LEPSCH, 2010; LABRIÈRE et al., 2015), como é o caso da região litorânea brasileira, em particular, dessa parte do litoral pernambucano onde se encontra a bacia hidrográfica do rio Jaboatão (SILVA, 2013). O processo erosivo nos solos pode ser relacionado a uma série de fatores, como a natureza do material de origem, quantidade e distribuição das chuvas, declividade, relevo das encostas, o tipo de cobertura vegetal, e a ação do homem que, dependendo do modo como usa a terra, pode acelerar os processos erosivos, acarretando riscos, por exemplo, deslizamento de barreira (OLIVEIRA; SALLES; ARAÚJO, 2018).

O risco está relacionado à possibilidade de um evento ocorrer, ou seja, é o resultado obtido pela efetividade do perigo (OLÍMPIO e ZANELLA, 2017). Nesse sentido, o risco (*lato sensu*) refere-se, portanto, à probabilidade de ocorrência de processos no tempo e no espaço, não constantes e não determinados, e à maneira como esses processos afetam, diretamente ou não, a vida humana. Por conseguinte, o perigo se caracteriza como o potencial de dano de um evento físico, ou de atividade antrópica causadora de perdas de vidas humanas, de interrupção de atividade socioeconômica e de degradação ambiental, como afirma Frota Filho (2016).

Dessa forma, entende-se convencionalmente o risco como a relação perigo x suscetibilidade, sendo a suscetibilidade as condições determinadas por fatores ou processos físicos, sociais ou econômicos que aumentam a suscetibilidade de um determinado grupo de pessoas (CARDINALI et al., 2002). Segundo Nishizima (2021), a suscetibilidade do relevo e do ambiente pode ser considerada um índice capaz de mensurar os riscos de desastres, a que os meios físicos e sociais possam estar sujeitos.

Os riscos relacionados aos processos erosivos são um problema presente no mundo todo, no entanto, mais especificamente, no cenário socioespacial dos países subdesenvolvidos e/ou em desenvolvimento, onde a população de baixa renda é segregada no espaço urbano e ocupa terrenos mais suscetíveis a esses tipos de evento, como áreas de morro, tendo em vista que os locais menos suscetíveis a eventos erosivos são ocupados pela população que possui melhores condições financeiras (SILVA e BARBOSA NETO, 2018).

Sendo assim, mostram-se indispensáveis estudos acerca dos processos erosivos no contexto da bacia hidrográfica do rio Jaboatão-PE, onde eventos morfogenéticos têm promovido perdas significativas e por vezes irreparáveis, tanto do ponto de vista econômico quanto humano. Eventos como deslizamento de barreiras são comuns no cotidiano das pessoas que vivem em áreas de encosta, onde, segundo Carvalho e Galvão (2016), esse processo histórico de ocupação marcou a formação do espaço nas cidades brasileiras e gerou impactos adversos, sejam decorrentes da ação

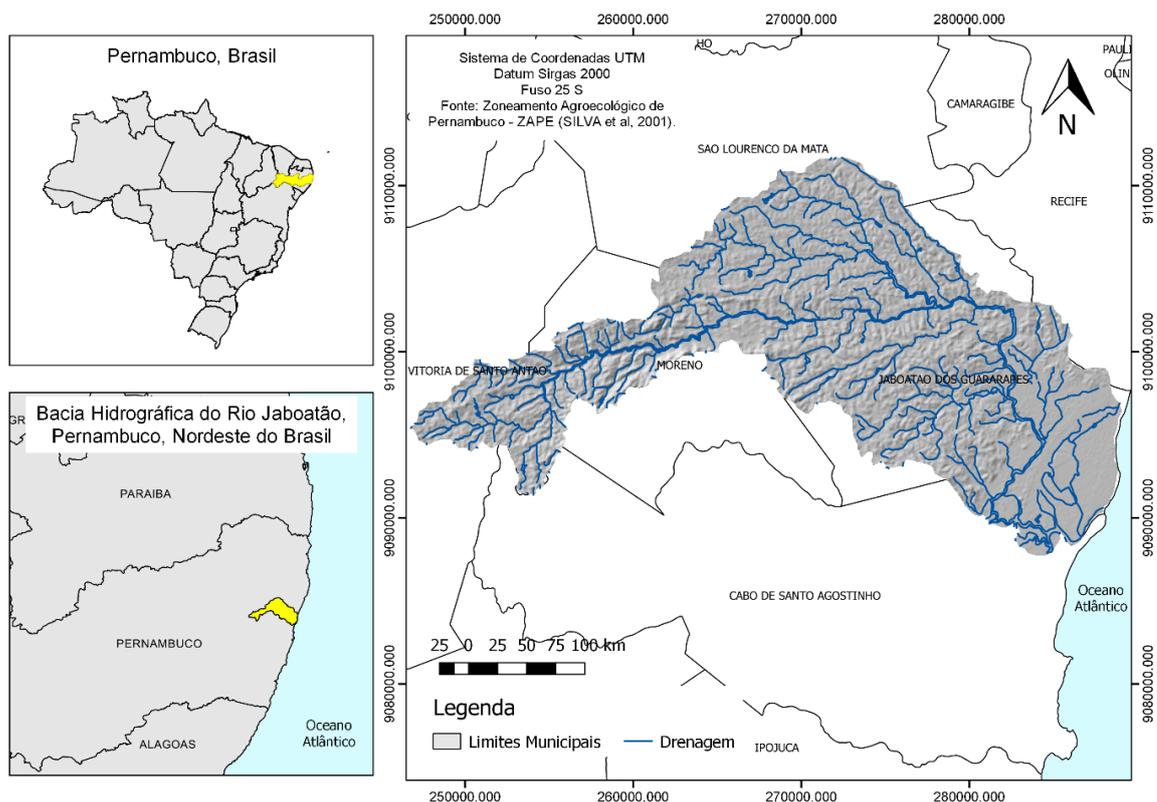
da natureza sobre o espaço construído, sejam decorrentes do seu efeito inverso – do espaço sobre a natureza, na forma de eventos naturais, poluição das fontes de abastecimento de água e carência de áreas verdes, que afetam o conjunto da população.

Dessa forma, tendo em vista a relevância da temática apresentada, se faz notória a necessidade de trabalhos científicos que mapeiem essas dinâmicas, a fim de contribuir para a compreensão da dinâmica dos aspectos naturais de espaços que apresentem perigo erosivo e possam estar ocupados indevidamente. Nesse sentido, esta pesquisa objetivou realizar uma análise dos riscos decorrentes da suscetibilidade natural à perda de solo motivada por erosão, na bacia hidrográfica do rio Jaboatão-PE.

METODOLOGIA

A bacia hidrográfica do rio Jaboatão (BHRJ), Figura 1, drena uma área de 422 km² e abrange os seguintes municípios: Cabo de Santo Agostinho (27 km²), Jaboatão dos Guararapes (225 km²), Moreno (98 km²), Recife (4 km²), São Lourenço da Mata (46 km²) e Vitória de Santo Antão (42 km²); os cinco primeiros municípios citados são integrantes da Região Metropolitana do Recife (RMR) e Vitória de Santo Antão, da Zona da Mata.

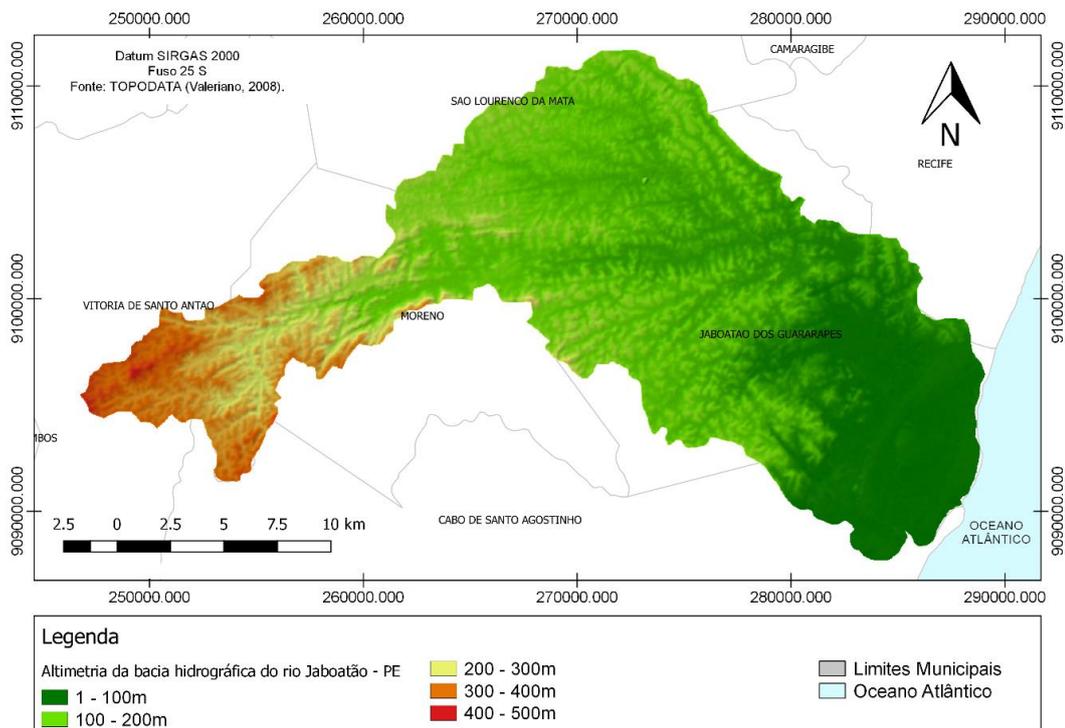
Figura 1 - Localização da bacia hidrográfica do rio Jaboatão-PE, 2019.



Fonte - Elaborado pelos autores, com base nos dados do Zoneamento Agroecológico de Pernambuco (Silva et al., 2001).

Simultaneamente com a bacia hidrográfica do rio Pirapama, a do rio Jaboatão integra o Grupo de Bacias de Pequenos Rios Litorâneos, chamado GL2, no estado de Pernambuco. A bacia possui cotas altimétricas que variam entre 0 a 445 metros que mostram um relevo de baixa altitude, caracterizado em sua maioria por planícies e colinas (Figura 2). Segundo dados do Serviço Geológico do Brasil (CPRH) (2017), estima-se uma população em torno de 450.000 pessoas residentes na área da bacia, a maior parte, em áreas urbanas.

Figura 2 - Bacia hidrográfica do rio Jaboatão-PE: Altimetria, 2019.



Fonte - Elaborado pelos autores, com base nos dados do Programa TOPODATA (Valeriano, 2008).

De acordo com Souza (2019), na área da BHRJ, historicamente, os locais originalmente cobertos pela Mata Atlântica foram ocupados, principalmente, pelo cultivo de cana de açúcar; contudo, ainda segundo o pesquisador, nos últimos anos, houve um crescimento significativo tanto das áreas de pasto quanto das áreas urbanas, devido ao crescimento econômico da Região Metropolitana do Recife – RMR, associado ao conseqüente crescimento populacional. Entre os dados que embasam tais afirmativas, o autor informa que, quanto ao uso da terra, entre os anos de 1986 a 2018, obteve-se um crescimento de 9,5% na área urbana, e 5,5% na área de pastagem, bem como uma diminuição de 12,8% nas áreas de lavoura (Tabela 1).

Tabela 1 - Bacia hidrográfica do rio Jaboatão-PE: percentual de classes de uso da terra para os anos de 1986, 2004 e 2013.

Classe de uso da terra	1986%	2004%	2018%
Área Urbana	16,55	21,30	25,99
Lavoura Temporária	57,52	52,93	44,78
Pastagem	5,5	5,66	10,91
Área Florestal	19,24	18,92	17,13
Corpos Hídricos	1,19	1,19	1,19

Fonte - Souza (2019).

Para a realização da análise da suscetibilidade natural à erosão da BHRJ, aplicou-se a metodologia de mapeamento da suscetibilidade natural à perda de solo, de Crepani et al. (2001), com as adaptações que se fizeram necessárias, adaptações essas fundamentadas no conceito de Ecodinâmica de Tricart (1977). Esse conceito compreende a dinâmica dos ambientes como o balanço entre os processos formadores de solo (pedogênese) e os processos erosivos (morfogênese). Para

esses últimos, há critérios que atribuem valores de suscetibilidade para as unidades territoriais básicas, nos temas Pedologia, Geologia, Geomorfologia, Vegetação e Clima.

Para a confecção do mapa de pedologia e geologia, utilizaram-se, respectivamente, as bases de dados dos solos do Zoneamento Agroecológico de Pernambuco (ZAPE), de Silva et al. (2001), na escala de 1:100.000, e a base de dados geológicos do Serviço Geológico do Brasil (CPRM), de Gomes e Santos (2001), na escala 1:500.000, a única disponível para a área de estudo; ambos os mapas foram confeccionados no *software* livre e gratuito *Qgis*, na versão 2.18. Para a realização do diagnóstico da declividade da área de estudo, utilizaram-se os dados do Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil (Programa Topodata) (VALERIANO, 2008) e, com o *software* *Qgis*, elaborou-se o mapa de declividade em porcentagem, classificado de acordo com os intervalos indicados por Santos et al. (2005).

Para a análise da intensidade pluviométrica da área, utilizaram-se os dados de precipitação dos últimos 30 anos (1988-2018) de 29 postos, distribuídos entre os municípios que compõem a bacia. Esses dados são fornecidos pela Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC, 2019). Com a média dos dados, realizou-se a razão entre a Precipitação Média Anual (PMA) e a Duração do Período Chuvoso (DPC), o que tornou possível obter os valores de Intensidade Pluviométrica (IP) para cada município. A esses valores, atribuíram-se os graus de estabilidade/suscetibilidade à erosão, estabelecidos por Crepani et al. (2001).

Na análise da vegetação da área estudada, aplicou-se o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) e, para isso, utilizou-se uma imagem do satélite Landsat-8, do dia 26 de maio de 2018 (USGS, 2019), processada no *software* *Qgis* 2.18. Segundo Souza (2019), esse índice se configura como um indicador da proporção e das condições da vegetação. Os valores de NDVI podem variar de -1 a 1, e quanto mais próximo de 1 mais densa é a vegetação; os valores abaixo de 0 (zero) indicam superfície sem vegetação e/ou água ou nuvens. Com a aplicação do índice de vegetação citado acima, foi possível classificar as áreas que têm uma cobertura vegetal densa, esparsa ou rala. Com base nessas informações, quantificaram-se, no *software* *Qgis* 2.18, as áreas de cada classe. Neste trabalho, considerou-se vegetação densa aquela cuja copa das árvores está muito próxima e praticamente não existe solo exposto; vegetação esparsa, aquela em que há um pequeno espaço de solo exposto entre a copa das árvores; vegetação rala é aquela em que há grandes espaços de solo exposto entre as plantas que conferem pouca proteção ao solo (BANDEIRA e CRUZ, 2021).

Após o mapeamento, realizou-se o processamento dos mapas produzidos no *software* *Qgis*, e atribuíram-se pesos de suscetibilidade à erosão, por meio das tabelas propostas por Crepani et al. (2001), com pesos que variam de 1,0 a 3,0: 1 para atributos considerados estáveis, nos quais predomina a pedogênese; 2 para os intermediários; e 3 para os instáveis, em que predomina a morfogênese. Mostrou-se necessário realizar uma adaptação nos termos trazidos pelos autores, substituindo o termo “vulnerabilidade” por “suscetibilidade”, tendo em vista que a vulnerabilidade está posta quando há um conjunto de fatores naturais e sociais específicos que fomentam a suscetibilidade ao risco. O mapa de perigo à erosão, obteve-se por meio da álgebra de mapas das grades de suscetibilidade à erosão dos temas solos, declividade, geologia, vegetação e clima, em que essa álgebra consiste na média simples dos cinco mapas citados, conforme apresenta a equação abaixo:

$$V = G + D + S + Vg + C /$$

Onde: V = suscetibilidade; G = suscetibilidade para o tema Geologia; D = suscetibilidade para o tema Declividade; S = suscetibilidade para o tema Solo; Vg = suscetibilidade para o tema Vegetação; e C = suscetibilidade para o tema Clima.

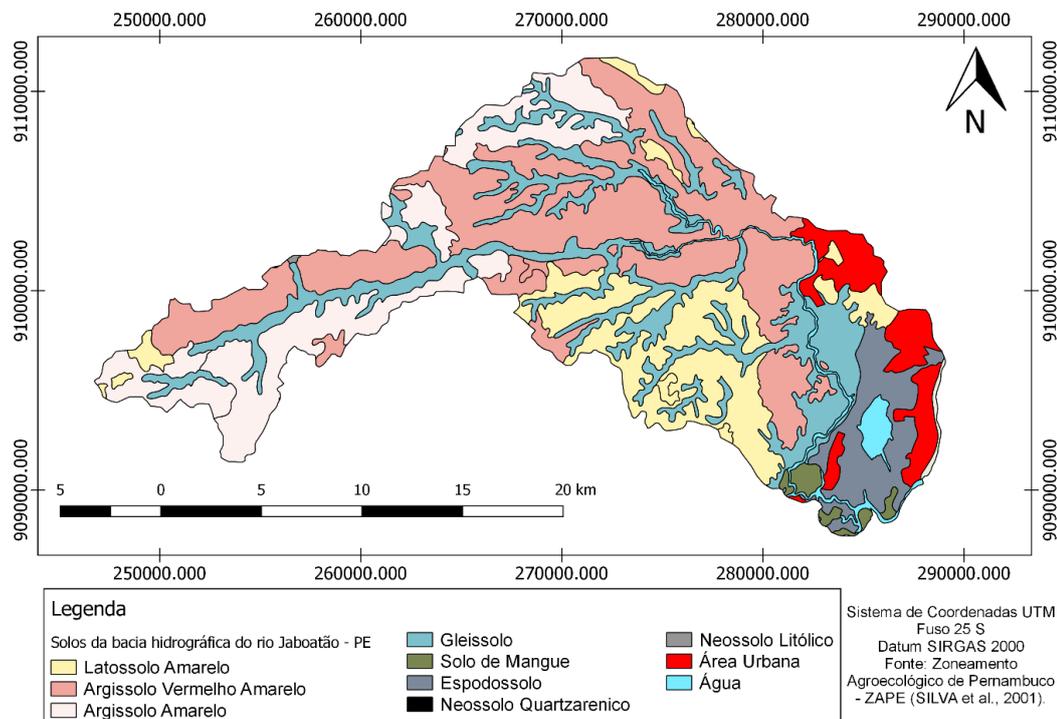
Para reconhecimento da área de estudo, e análise e interpretação dos riscos erosivos presentes, realizaram-se quatro trabalhos de campo em torno da área pertencente à bacia, onde ao todo, demarcaram-se 221 pontos, distribuídos pelos seis municípios que compõem a bacia. Para a análise dos riscos, selecionaram-se alguns pontos com variados valores de suscetibilidade erosiva, tendo como embasamento para a interpretação desses riscos, os trabalhos de Cardinali et al. (2002) e Mendonça (2010). A partir do cruzamento dos potenciais erosivos do mapa de perigo à erosão com os dados dos pontos analisados, foi possível certificar a metodologia utilizada para a elaboração do mapa de perigo e identificar os riscos decorrentes dos processos erosivos que estão ocorrendo na bacia hidrográfica do rio Jaboatão-PE.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise do perigo erosivo da bacia hidrográfica do rio Jaboatão-PE

Quanto à suscetibilidade do atributo Pedologia, observou-se a predominância dos Argissolos, seguidos pelos Gleissolos e Latossolos, respectivamente, como se pode observar na Figura 3.

Figura 3 - Bacia hidrográfica do rio Jaboatão-PE: Pedologia, 2019.



Fonte - Elaborado pelos autores, com base nos dados do ZAPE (SILVA et al., 2001).

De acordo com a metodologia utilizada (CREPANI et al. 2001), a principal característica considerada para estabelecer as classes de suscetibilidade dos solos é o grau de desenvolvimento ou maturidade do solo. Didoné (2013) afirma que a maior ou menor suscetibilidade de um solo sofrer a ação dos processos erosivos vai depender de diversos fatores, dentre os quais, os mais importantes são: características físicas como estrutura, textura, permeabilidade e densidade do solo, sendo, a textura, uma das mais importantes, em razão da estreita relação com o grau de coesão do solo, estabilidade dos agregados, assim como com a permeabilidade.

Desse modo, ao se observarem as classes, os valores de suscetibilidade e o percentual de área do quesito *pedologia*, identificou-se a predominância de solos do tipo Argissolo (48,5% da área coberta), Gleissolo (20,6%), e Latossolo Amarelo (15,2%), que têm grau de suscetibilidade de, respectivamente, 2,0; 3,0 e 1,0. Outro aspecto também observado foi a presença de outros solos, como: Espodossolo (6,1%), com grau de suscetibilidade 2,0; Solos Indiscriminados de Mangue (1,1%); e Neossolos (0,4%), com grau de suscetibilidade 3,0.

Os Argissolos são naturalmente suscetíveis à ação dos processos erosivos e se mostram com potencial erosivo mais significativo quando ocorrem em relevos mais acidentados. Esse tipo de solo tende a ser mais suscetível aos processos erosivos pela diferença textural entre os horizontes A e B, o que implica diferenças de infiltração entre os horizontes superficiais e subsuperficiais (FRANÇA, 2018). Segundo Aragão et al. (2011), os Argissolos são solos desenvolvidos, profundos, e se mostram como medianamente suscetíveis aos processos erosivos. Os Argissolos podem apresentar a limitação do relevo acidentado, que aumenta a suscetibilidade à erosão. Pela presença do horizonte Bt (B textural), pode apresentar deficiência na drenagem, que contribui para o aumento do escoamento superficial (AMORIM, 2018; ARAÚJO FILHO et al., 2000).

Quanto aos Latossolos, em particular, os Latossolos Amarelos (LA), são solos bem uniformes em termos de cor, textura e estrutura, com profundidade que varia de profundo a muito profundo; são solos bem drenados e possuem predominância de textura argilosa e muito argilosa. Sua predominância se dá em relevos planos e suaves ondulados, mas, nas áreas do cristalino, são encontrados em relevos desde ondulado a montanhoso e, em geral, apresentam baixa fertilidade natural (HASHIMOTO, 2018). Nesse sentido, as características desse solo lhe conferem, de modo geral, uma menor suscetibilidade a processos erosivos.

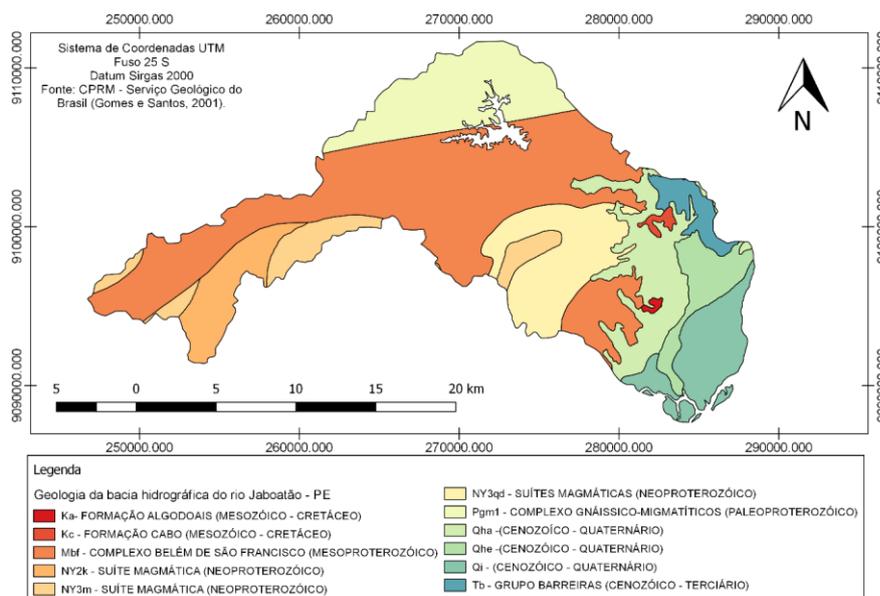
Os Gleissolos, por sua vez, apresentam uma maior suscetibilidade erosiva, pois são solos minerais, hidromórficos, de constituição que varia de argilosa a arenosa. São solos que variam de mal a muito mal drenados e possuem características resultantes da influência do excesso de umidade permanente ou temporário, devido à presença do lençol freático próximo à superfície, durante um determinado período do ano. Em suas características físicas, químicas e morfológicas, são solos diversificados devido às circunstâncias em que são formados, de aporte de sedimentos e sob condição hidromórfica (SANTOS et al., 2005).

Na escala de análise utilizada no mapeamento da BHRJ, pode-se observar a presença de dois tipos de Neossolos: os Quartzarênicos e os Litólicos. Os Neossolos são solos caracterizados por apresentarem um pequeno desenvolvimento pedogenético, por isso, de modo geral, apresentam uma maior suscetibilidade erosiva. Os Neossolos Quartzarênicos são solos geralmente profundos que apresentam textura predominantemente arenosa. Já os Neossolos Litólicos são solos minerais, não hidromórficos, que possuem sequenciamento de horizontes muito simplificado, distribuído em pequenas profundidades (SANTOS et al., 2005).

O estudo, assim, verificou que, quanto ao atributo *pedologia*, a bacia hidrográfica do rio Jaboatão se encontra em um nível intermediário de suscetibilidade, ocorrendo, portanto, um equilíbrio entre pedogênese/morfogênese, com predomínio da morfogênese nos pontos da bacia, onde se tem a presença de solos como os Gleissolos ou Neossolos (cerca de 21% da área total da bacia), que têm valor de suscetibilidade 3,0.

Na análise do atributo *geologia*, observou-se que, no contexto da bacia, há predominância das classes Mbf – Complexo Belém de São Francisco, com cerca de 39,2% da área total da bacia, que tem grau de suscetibilidade 1,7 e Pgm1 – Complexo Gnáissico-Migmatíticos indiscriminados com 12,5% da área total e grau de suscetibilidade 1,1. Segundo Crepani et al. (2001), a contribuição da Geologia para a análise e definição da categoria morfodinâmica da unidade de paisagem natural compreende as informações relativas à história da evolução geológica do ambiente onde a unidade se encontra e as informações relativas ao grau de coesão das rochas que a compõem (Figura 4).

Figura 4 - Bacia hidrográfica do rio Jaboatão-PE: Geologia, 2019.

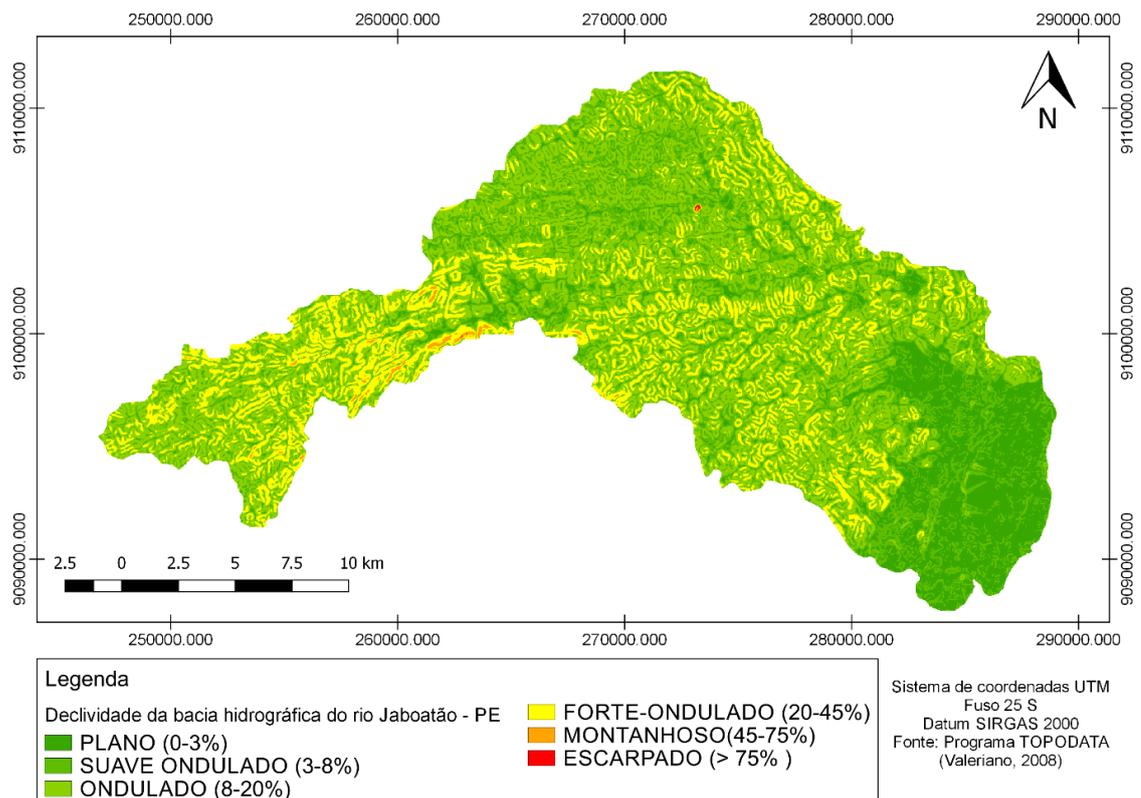


Fonte - Elaborado pelos autores, com base nos dados de Gomes e Santos (2001).

Tendo em vista que as rochas pouco coesas podem ser favoráveis à ocorrência dos processos erosivos, modificadores das formas de relevo (morfogênese), e, nas rochas muito coesas, devem prevalecer os processos de intemperismo e pedogênese (CREPANI et al., 2001), observa-se que, nas classes Qha (Cenozoico – Quaternário), Qhe (Cenozoico – Quaternário), e Qi (Cenozoico – Quaternário), tem-se valor de suscetibilidade 3,0, o que mostra que tais rochas se apresentam menos coesas, enquanto as rochas do tipo Pgm1 – Complexo Gnáissico-Migmatíticos Indiscriminados (Paleoproterozoico), apresentam grau de suscetibilidade 1,0, isto é, um grau estável de suscetibilidade que faz que, nos pontos onde elas são encontradas, prevaleça o processo de pedogênese (CREPANI et al., 2001).

Acerca da **declividade** da bacia hidrográfica do rio Jaboatão (Figura 5), identificou-se que 39,55% da área apresenta as classes de relevo Plano e Suave Ondulado, com valores de suscetibilidade 1,0 e 1,5, respectivamente; 43,31% da área apresenta o predomínio do valor de suscetibilidade a erosão Média (2,0); e 17,13% pertencente às classes Forte Ondulado, Montanhoso e Escarpado, tem declives acima de 20% e valores de suscetibilidade entre 2,5 e 3.

Figura 5 - Bacia hidrográfica do rio Jaboatão-PE: Declividade, 2019.



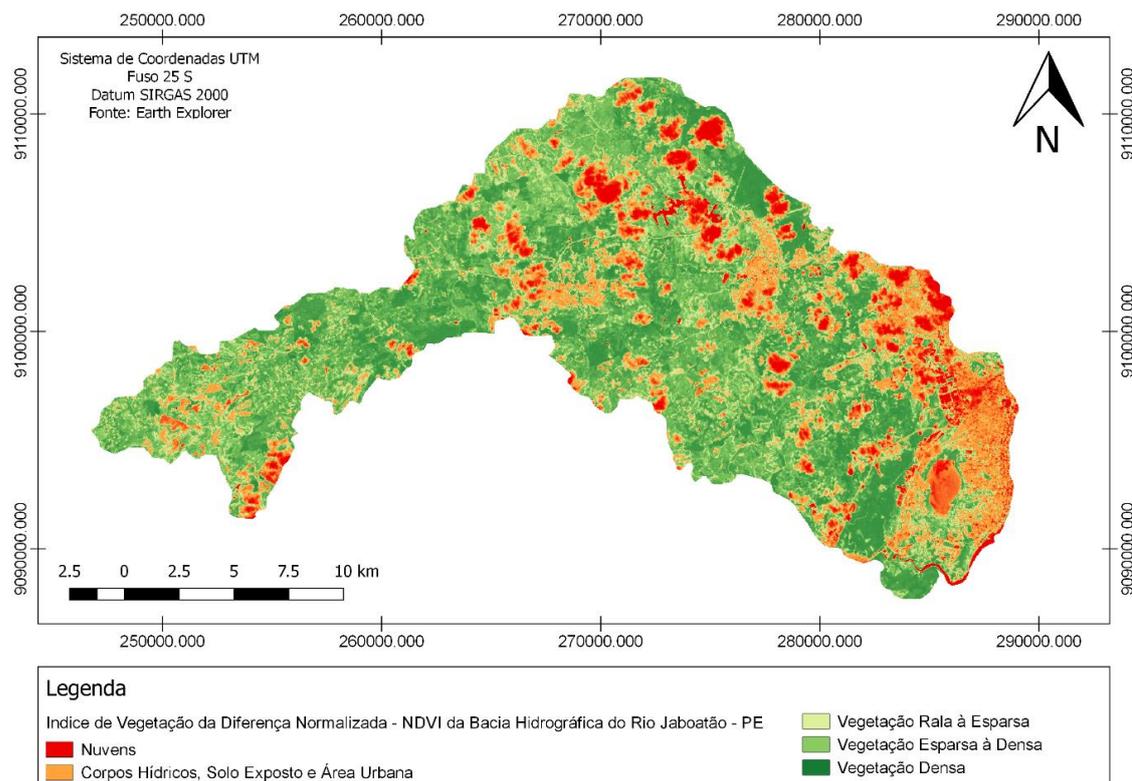
Fonte - Os autores, 2019.

A declividade tem relação direta com a velocidade de transformação da energia potencial em energia cinética, ou seja, quanto maior a declividade mais rapidamente a energia potencial das águas transforma-se em energia cinética e maior será a capacidade da água em transportar sedimentos; assim, quanto maior for a declividade maior será a suscetibilidade dessa área sofrer com a ação dos processos erosivos (CUNHA e GUERRA, 2011; TORRI e POESEN, 2014). Dessa forma, nota-se que grandes áreas estão em classe de declividade propícia à erosão. Na faixa de relevo ondulado (8-20%), a erosão hídrica pode ser controlada com práticas simples, como a manutenção da cobertura

vegetal, por exemplo; porém, normalmente, são necessárias práticas complexas de conservação do solo, como afirmam Bertoni e Lombardi Neto (2014).

Quanto ao critério cobertura vegetal, foi possível observar que 37,2% da área da BHRJ se apresenta em área com vegetação de rala a esparsa e área urbana, apresentando, assim, grau de suscetibilidade 3,0, seguido por vegetação esparsa a densa (29,91%) com grau de suscetibilidade 2,0 e vegetação densa (22,40%) com grau de suscetibilidade 1,0 (Figura 6).

Figura 6 - Bacia hidrográfica do rio Jaboatão-PE: Cobertura vegetal a partir do índice de vegetação da diferença normalizada – NDVI, 2019.

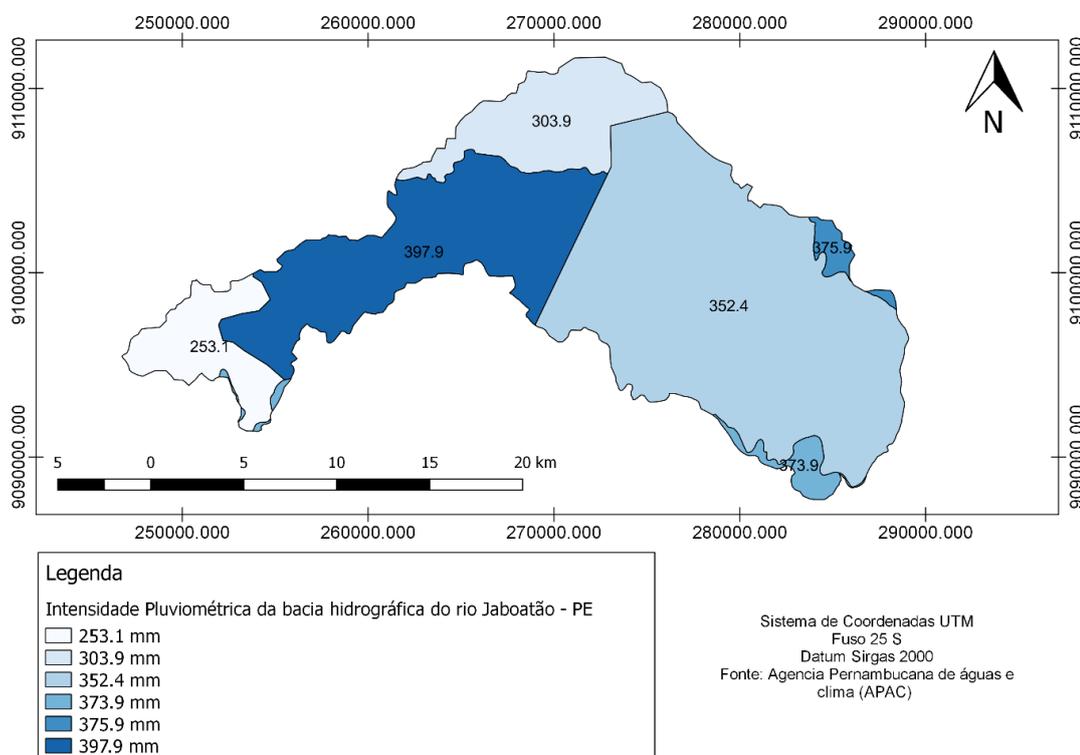


Fonte - Os autores, 2019.

Tendo em vista que a cobertura vegetal é a defesa natural de um terreno contra a erosão, Salomão et al. (2014) afirmam que a perda de cobertura vegetal é um dos principais agentes catalizadores do desequilíbrio ambiental, que se manifesta em forma de enchentes, assoreamento e erosão, entre outros eventos ambientais. Dessa forma, nota-se que, no contexto da BHRJ, tem-se uma significativa área, 67,11%, com cobertura vegetal presente nos graus de suscetibilidade entre 2,0 e 3,0. Segundo Costa e Rodrigues (2015), a relação estabelecida entre cobertura vegetal e erosão do solo ocorre da seguinte forma: ao se reduzir a vegetação, se aumenta a possibilidade de perda de solo, tendo em vista que, por meio da estruturação que gera no solo e pela proteção que estabelece na superfície, a cobertura vegetal garante menor suscetibilidade à erosão das partículas de solo.

Sobre a intensidade pluviométrica da bacia, é importante ressaltar que ela se encontra em uma área de clima tropical úmido e apresenta elevada intensidade pluviométrica, com chuvas concentradas entre os meses de abril a agosto, ou seja, em um período de cinco meses, com médias que variam de 253.1 mm/mês, no município de Vitória de Santo Antão, a 397.9 mm/mês, no município de Moreno (Figura 7).

Figura 7 - Bacia hidrográfica do rio Jaboatão-PE: Intensidade pluviométrica da bacia hidrográfica do rio Jaboatão, 2019.



Fonte - Elaborado pelos autores.

Nota: Intensidade pluviométrica calculada com dados correspondentes aos anos de 1988 a 2018, fornecidos pela APAC.

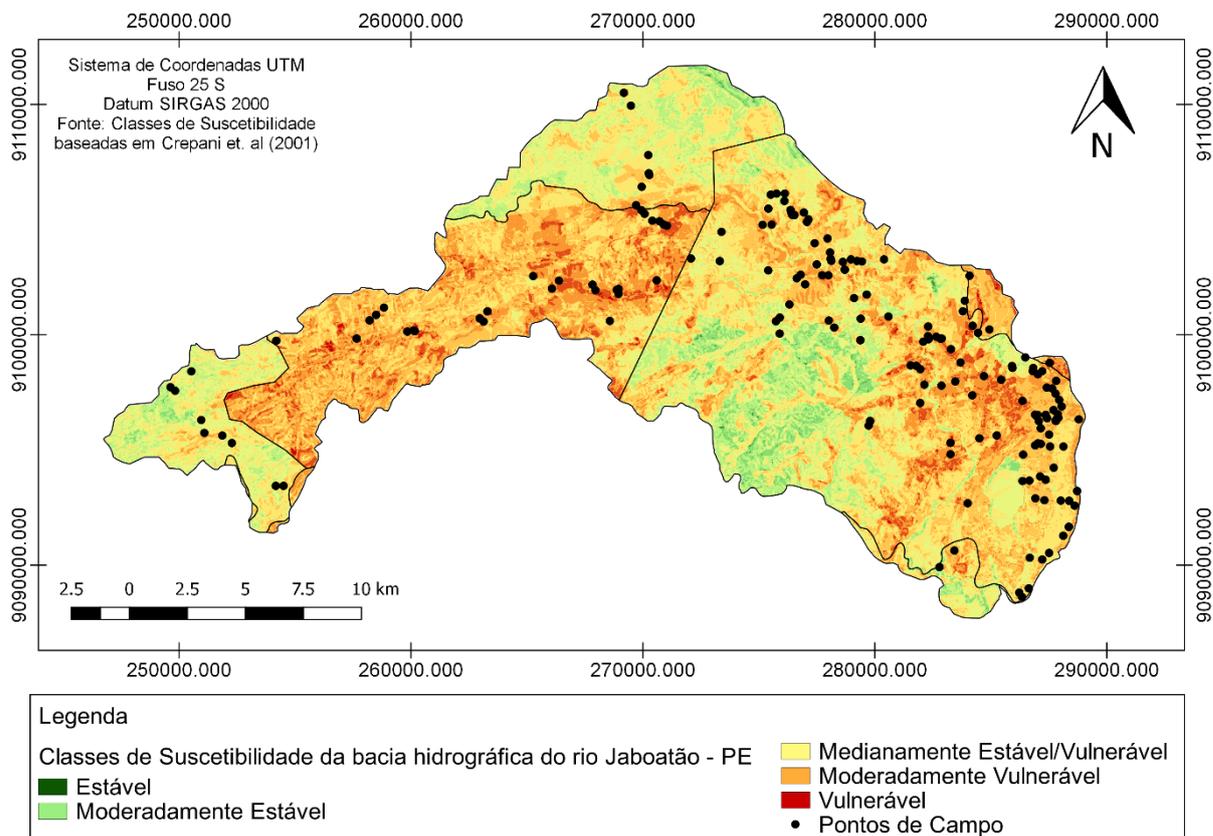
Dessa forma, com base no atributo descrito acima, verificou-se que, no contexto da bacia hidrográfica do rio Jaboatão-PE, os municípios de Cabo de Santo Agostinho e Jaboatão dos Guararapes (54,9% da área da bacia) apresentam, respectivamente, intensidades pluviométricas de 373,9 e 352,4 mm/mês, e valor de suscetibilidade de 2,3. Nos municípios de Moreno e Recife (26% da área da bacia), obteve-se uma intensidade pluviométrica de 397,9 e 375,9 mm/mês, respectivamente, e valor de suscetibilidade de 2,4. No município de São Lourenço da Mata, que corresponde a 11,6 % da área da bacia, obteve-se uma intensidade pluviométrica de 303,9 mm/mês e valor de suscetibilidade de 2,1. Por fim, no município de Vitória de Santo Antão (7,5% da área da bacia), obteve-se a menor intensidade pluviométrica dos seis municípios, 253,1 mm/mês e valor de suscetibilidade 1,0.

As condições climáticas interferem no processo erosivo, além de ser um dos principais componentes do ciclo ambiental, pois é responsável pelo fornecimento de água que abastece os lençóis freáticos, cursos d'água, rios, seus afluentes e, por fim, o oceano. Durante e após a precipitação, a água não infiltrada escoar pela vertente, e o seu volume dependerá do total de precipitação, da intensidade da chuva e de sua energia cinética, associadas a características físicas do solo (saturação, profundidade, porosidade e textura do solo), assim como a características do relevo (declividade da encosta e rugosidade do terreno). (COSTA e RODRIGUES, 2015; LABRIÈRE et al., 2015; POESEN, 2018).

Nesse sentido, a importância do estudo da intensidade pluviométrica nos processos erosivos é facilmente verificada quando se observa que uma elevada pluviosidade anual, mas distribuída ao longo do período, tem menos impacto quanto ao quesito erosão do que uma menor precipitação anual que cai torrencialmente em um período determinado do ano, como afirmam Aragão et al. (2011). Desse modo, no contexto da bacia hidrográfica do rio Jaboatão-PE, quando analisados os valores de intensidade pluviométrica e as respectivas suscetibilidades que variam de 1,4 a 2,4, conclui-se que a área estudada se encontra em um nível significativo de erosão quando considerado apenas esse quesito.

Com a aplicação da álgebra de mapas proposta na metodologia deste trabalho e tendo como base os atributos e os respectivos dados de suscetibilidade de cada atributo analisado, citados anteriormente, obteve-se o mapa do perigo erosivo da bacia hidrográfica do rio Jaboatão-PE (Figura 8).

Figura 8 - Bacia hidrográfica do rio Jaboatão-PE: Suscetibilidade aos processos erosivos, 2019.



Fonte - Elaborado pelos autores com base nos valores de suscetibilidade propostos por Crepani et al. (2001).

O estudo revelou que cerca de 70,08% da área estudada tem características, no que concerne à suscetibilidade erosiva, de medianamente estável/suscetível; já 18,16% da bacia insere-se na classificação de moderadamente suscetível, e cerca de 0,17% da área encontra-se na categoria morfodinâmica suscetível. Foi possível verificar, também, que cerca de 11,47% da área de estudo encontra-se na categoria moderadamente estável e apenas 0,12% da área apresenta feições estáveis (Tabela 2).

Tabela 2 - Bacia hidrográfica do rio Jaboatão-PE: Classes de suscetibilidade à erosão, 2019.

Classe de susceptibilidade erosiva*	Valor indicador da suscetibilidade erosiva	Área %
Estável	1,0	0,12
Moderadamente Estável	1,4	11,47
Medianamente Estável/Suscetível	1,9	70,08
Moderadamente Suscetível	2,3	18,16

Fonte - Dados da pesquisa.

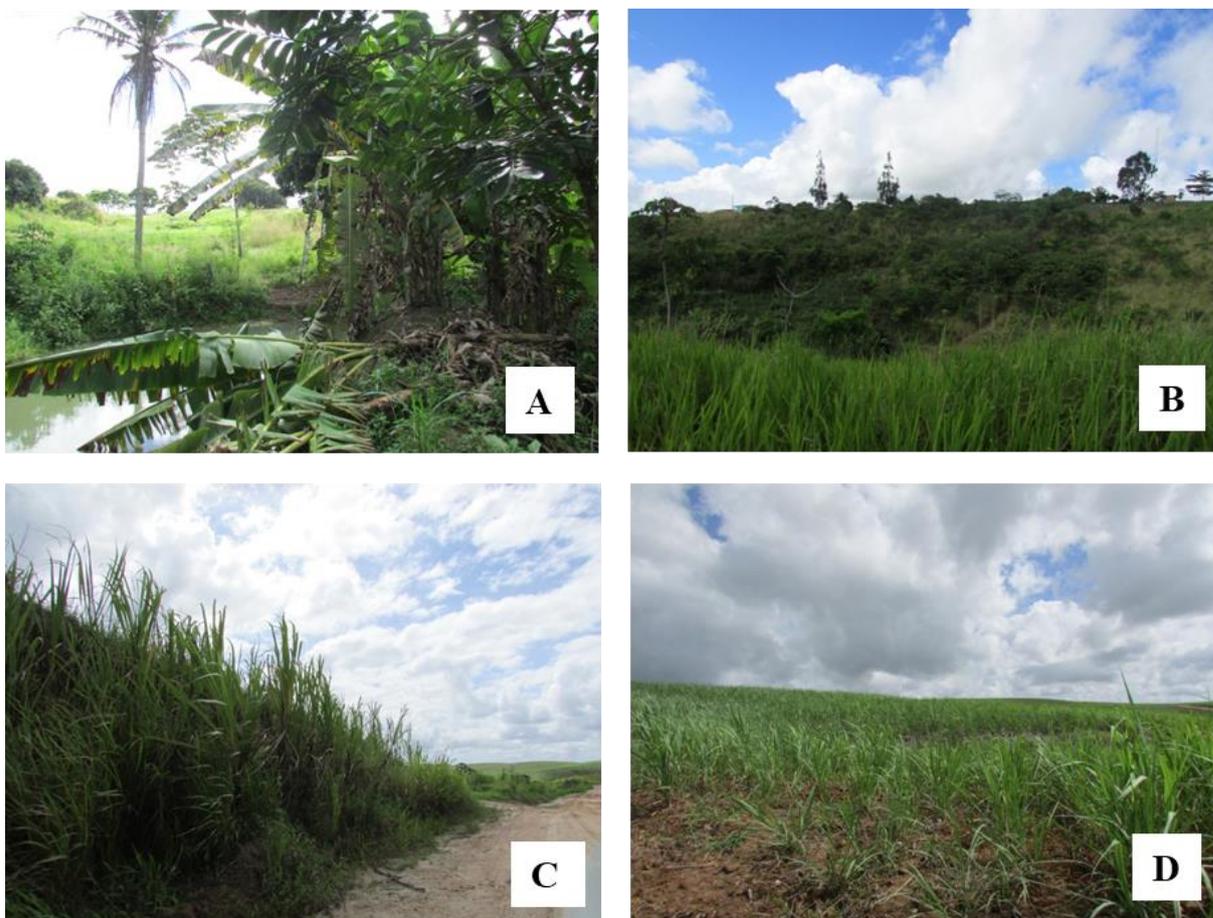
*Classes de suscetibilidade baseadas em Crepani et al. (2001) com adaptações.

Analisadas a Figura 8 e a Tabela 1, foi possível observar que, no contexto da bacia, sua maior parte se encontra com valores de suscetibilidade significativos (1,4 – 2,3), o que faz que ela se encontre nas classes consideradas por Crepani et al. (2001) como Moderadamente Estável à Moderadamente Vulnerável.

Riscos verificados na bacia hidrográfica do rio Jaboatão-PE

Por meio das análises realizadas a partir do alto curso da BHRJ, em sua nascente em Vitória de Santo Antão-PE (Figura 9A), observou-se que, apesar de existirem plantações em áreas com diferentes declividades (Figura 9C e 9D), não se notou a presença de processos erosivos significativos nos pontos analisados. O mapa de perigo nesse local se apresentou com o grau estável, e foi possível verificar um baixo risco a eventos erosivos, prevalecendo, dessa forma, processos pedogenéticos. Tal afirmativa se embasa no fato de a vegetação nativa estar bastante preservada no local (Figura 9B), como também ainda não há adensamento humano significativo, tendo em vista que, no município de Vitória de Santo Antão, o contexto da bacia não engloba o centro urbano do município ou proximidades dele.

Figura 9 - Bacia Hidrográfica do rio Jaboatão-PE: A, B: Proximidades da nascente do rio Jaboatão, município de Vitória de Santo Antão. C, D: Plantações de cana-de-açúcar no município de Vitória de Santo Antão, no contexto da bacia do rio Jaboatão, 2019.

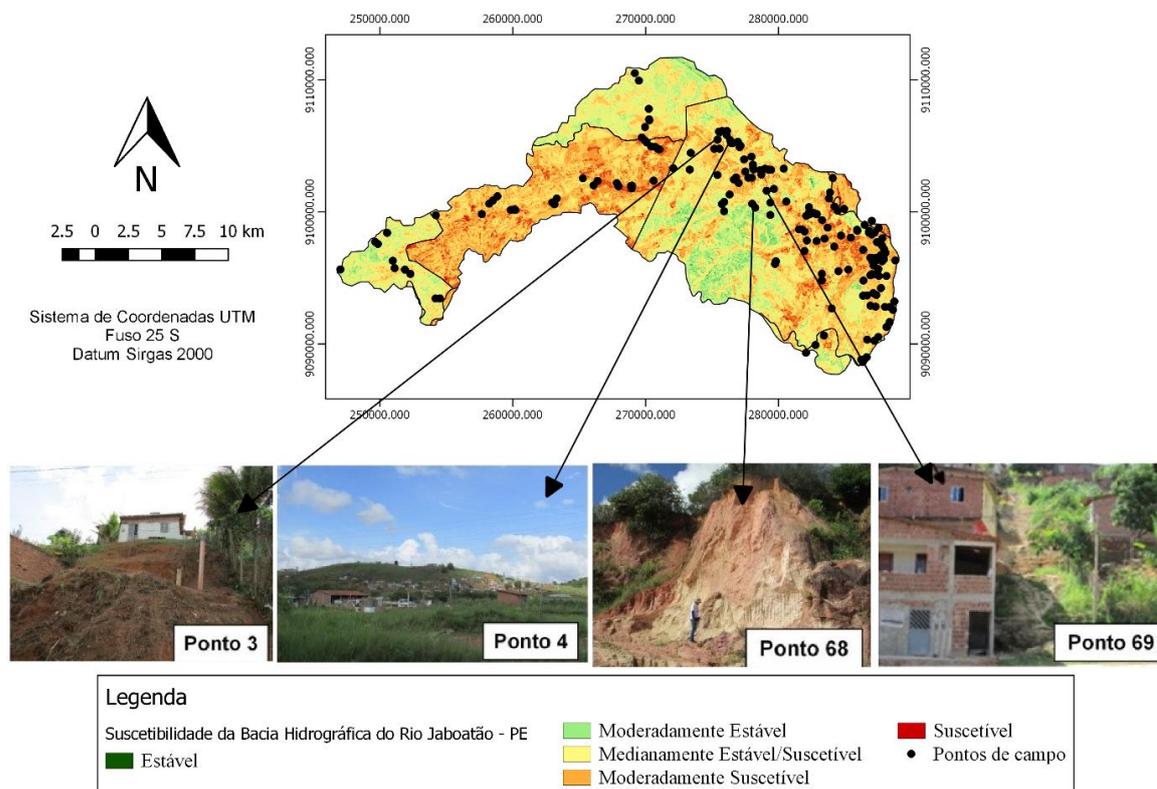


Fonte - Os autores, 2019.

Nota: **Figura 9 A:** Ponto 192: Longitude – 0247009 / Latitude – 9095641 / Altitude: 372m; **Figura 9 B:** Ponto 191: Longitude – 0247060 / Latitude – 9095793 / Altitude: 384m; **Figura 9 C:** Ponto: 195: Longitude – 0249830 / Latitude – 9097568 / Altitude: 339m; **Figura 9 D:** Ponto 194: Longitude – 0249632 / Latitude – 9097720 / Altitude: 359m.

Já na região do médio curso do rio, principalmente no município de Jaboatão dos Guararapes, observaram-se diversos pontos que apresentaram de média à alta suscetibilidade aos processos erosivos naturais (Figura 10), os quais estão sujeitos a incrementos locais, como o desmatamento e corte de barreira para construção de moradias, além de depósito de lixo em locais inadequados.

Figura 10 - Bacia Hidrográfica do rio Jaboatão-PE: Visualização do uso da terra nos pontos selecionados, 2019.



Fonte - Os autores, 2019.

Nota: **Ponto 3:** Longitude – 0276360 / Latitude – 9105416 / Altitude: 84m; **Ponto 4:** Longitude – 0276119 / Latitude – 9106126 / Altitude: 81m; **Ponto 68:** Longitude – 0279103 / Latitude – 9101592 / Altitude: 52m; **Ponto 69:** Longitude – 0278248 / Latitude – 9100310 / Altitude: 65m.

Dessa forma, analisando-se os riscos presentes no médio curso da bacia, foi possível observar que nos pontos 3 e 4 (Figura 9), localizados no município de Jaboatão dos Guararapes, tem-se a presença de uma suscetibilidade medianamente estável/suscetível (com valor 1,9). No local, observou-se a presença de construções irregulares em áreas de encosta, solos expostos e ausência de cobertura vegetal significativa, contexto esse em que o grau de riscos erosivos se mostra bem significativo. Presentes nessa mesma classe de suscetibilidade estão os pontos 68, 69, também localizados no município de Jaboatão dos Guararapes, onde se observou um condomínio em construção, ocupações em áreas de encosta e cortes irregulares de barreira com solo exposto. As características ambientais dessa área, no que se refere aos atributos *declividade*, *tipo de solo* e *cobertura vegetal* indicavam que ela possui susceptibilidade a processos erosivos; os aspectos observados nos locais, como anteriormente descrito, permitiram confirmar o que tinha sido estimado com o mapeamento (Figura 9).

Ainda no médio curso, no município de São Lourenço da Mata, mais especificamente no ponto 29 (Figuras 11A e 11B), observou-se um grau de suscetibilidade presente na classe Medianamente Estável/Suscetível, local onde existem construções irregulares, em áreas de barreira com baixíssima cobertura vegetal, demonstrando, assim, que, além da suscetibilidade natural à erosão do local já ter valor significativo (1,9), a forte intervenção antrópica agrava esse valor e acarreta um alto nível de risco erosivo para as famílias ali residentes e a população que circula pela área.

No **ponto 60** (Figuras 11C e 11D), que se encaixa na classe moderadamente estável, encontrou-se uma área de morro com uma cobertura vegetal significativa, o que contribui para justificar a classe em que o ponto se encaixa, porém durante o campo, foi possível observar a presença de algumas construções irregulares na base da encosta que a escala do mapeamento não permite identificar. Mesmo com a vegetação significativa encontrada no lugar, o forte adensamento populacional e cortes irregulares na barreira demonstram os riscos iminentes.

Uma situação parecida percebeu-se no município de Moreno-PE, mais especificamente no local correspondente ao ponto 35 (Figura 11E), que pertence à classe moderadamente suscetível. No local, encontraram-se áreas de morro com encosta densamente povoada, mostrando que o local apresenta riscos à população ali residente.

No ponto 81, existe o Centro de Tratamento de Resíduos (CTR) Candeias (Figura 11 F), local que, segundo o mapeamento, apresenta um nível de suscetibilidade 2,8, encaixando-se na classe suscetível. Nesse ponto, foi possível observar a presença de uma grande área de solo exposto e área de encosta descoberta.

Figura 11 - Bacia Hidrográfica do rio Jaboatão-PE: A, B: Barreira exposta com construções irregulares no município de São Lourenço da Mata-PE, 2019; C, D: Área de barreira com construções irregulares no município de Jaboatão dos Guararapes-PE, 2019; E: Área de morro com encosta densamente povoada no município de Moreno-PE, 2019; F: Centro de Tratamento de Resíduos (CTR) Candeias, no município de Jaboatão dos Guararapes-PE, 2019.



Fonte - Os autores, 2019.

Nota: **Figura 10 A, B:** Ponto 29: Longitude – 0268439 / Latitude – 9111011 / Altitude: 139m; **Figura 10 C, D:** Ponto 60: Longitude – 0278620 / Latitude – 9103162 / Altitude: 86m; **Figura 10 E:** Ponto 35: Longitude – 0268870 / Latitude – 9101947 / Altitude: 108m; **Figura 10 F:** Ponto 81: Longitude – 0281953 / Latitude – 9097036 / Altitude: 11m.

No decorrer da análise das características da área de estudo, foi possível observar que ela apresenta um grande potencial a eventos morfogenéticos, sendo isso verificado com o mapeamento realizado por meio de técnicas de geoprocessamento e confirmado com as observações realizadas em campo. Identificou-se, na observação *in loco*, que áreas apontadas no mapeamento como suscetíveis ou parcialmente suscetíveis apresentam problemas relacionados a uma ocupação do espaço que não está de acordo com a real capacidade de utilização.

Dessa forma, pode-se observar, nas imagens e análises dos mapas elaborados, que, principalmente no médio e baixo curso do rio Jaboatão, essas características são apresentadas como um problema, tendo em vista que, de modo geral, a conjuntura socioeconômica das populações residentes em áreas de risco não apresenta as condições necessárias para a correta ocupação dessas áreas e sua recuperação, diante da ocorrência de desastres (CARDOSO; GUERRA; SILVA, 2020; DESCHAMPS, 2009). Nesse sentido, é importante destacar que a dinâmica de ocupação dessa região não ocorreu e nem ocorre de modo planejado. Além disso, a forte concentração demográfica marcada pela introdução de objetos (fixos), dentre outras ações antrópicas, gera uma sobrecarga que provoca mudanças significativas nessas paisagens e alteram profundamente sua fisionomia e dinâmica, tornando estes ambientes suscetíveis (PESSOA NETO et al., 2019; SILVA e BARBOSA NETO, 2018).

Silva e Barbosa Neto (2018) afirmam que, apesar dos eventos erosivos serem considerados naturais, uma vez que fazem parte da dinâmica natural da superfície terrestre, percebe-se que a segregação espacial do espaço urbano, bem como a falta de conhecimentos técnicos e fatores socioeconômicos tendem a piorar a situação dos moradores residentes nessas áreas, os quais estão totalmente expostos aos riscos oriundos desses eventos morfodinâmicos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na análise realizada na bacia hidrográfica do rio Jaboatão-PE, foi possível observar que fatores como a alta intensidade pluviométrica que gira em torno dos 300 mm/mês, nos meses mais chuvosos do ano, a redução da cobertura vegetal, declividades que variam predominantemente de moderadamente ondulado a ondulado e a presença marcante de solos do tipo Argissolos, favorecem uma moderada suscetibilidade à ação dos processos erosivos na área.

Verificou-se, principalmente nos municípios de Moreno e Jaboatão dos Guararapes (médio curso), áreas com os maiores riscos erosivos, decorrentes das significativas declividades, alta intensidade pluviométrica e forte presença de construções irregulares, principalmente em áreas de encosta, o que vem acarretando sérios riscos de eventos erosivos. Em contrapartida, observaram-se em menor parte da bacia, no contexto dos municípios de Vitória de Santo Antão, São Lourenço da Mata e Cabo de Santo Agostinho, áreas com baixa atividade antrópica, onde a maioria se encontra com uma cobertura vegetal significativa e apresentando suscetibilidade natural aos processos erosivos relativamente estáveis.

Dessa forma, apesar do grau de suscetibilidade na bacia ter-se mostrado mediano, na análise, se observaram riscos que se mostraram significativos em pontos específicos, principalmente, quando se consideram áreas que possuem construções irregulares em áreas de encosta, e em situação de retirada da cobertura vegetal. Nesse sentido, é de extrema relevância a implementação de medidas mitigadoras direcionadas para a preservação e o planejamento de uso do espaço. Nesse sentido, tornam-se indispensáveis a realização de estudos mais aprofundados na área, pois, com a metodologia aplicada, verificou-se que um estágio mediano de suscetibilidade erosiva inspira cuidados significativos e necessidade de planejamento visando a uma ocupação segura do espaço pelos habitantes locais e ao equilíbrio socioambiental.

AGRADECIMENTOS

À Diretoria de Pesquisa, Pós-graduação e Inovação (DPPI) do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE) – campus Recife pelas bolsas de iniciação científica dos dois primeiros autores. À Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-graduação e Inovação (PROPEQS) do IFPE pela bolsa pesquisador.

REFERÊNCIAS

- AMORIM, J. E. L. Características geoambientais da bacia hidrográfica do igarapé Água Boa do Bom Intento, Boa Vista, Roraima. **Geosaberes: Revista de Estudos Geoeducacionais**, Fortaleza, v. 9, n. 17, p. 12, 2018. <https://doi.org/10.26895/geosaberes.v9i17.592>
- APAC – Agência Pernambucana de Águas e Clima. **Dados de precipitação 1988-2018**. Disponível em: <<https://www.apac.pe.gov.br/>> Acesso em: 10 de agosto de 2019.
- ARAGÃO, R. et al. Mapeamento do potencial de erosão laminar na bacia do rio Japarutuba, SE, via SIG. **Agriambi: Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 7, p. 731-740, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662011000700012>
- ARAÚJO FILHO, J. C. et al. **Levantamento de reconhecimento de baixa e média intensidade dos solos do estado de Pernambuco**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2000. (Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa, 11).
- BANDEIRA, T. V.; CRUZ, M. L. B. Estudo da cobertura vegetal do município de Guaiuba/CE com base na utilização dos índices de vegetação SAVI e NDVI. **Geosul**, v. 36, n. 78, p. 410-433, 2021. <https://doi.org/10.5007/2177-5230.2021.e73138>
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 9. ed. São Paulo: Ícone, 2014.
- CARDINALI, M. et al. A geomorphological approach to the estimation of landslide hazards and risks in Umbria, Central Italy. **Natural Hazards and Earth System Science**, v. 1, n. 2, p. 57-72., jun. 2002. <https://doi.org/10.5194/nhess-2-57-2002>
- CARDOSO, C.; GUERRA, A. J. T.; SILVA, M. S. Apresentação. In: CARDOSO, C.; GUERRA, A. J. T.; SILVA, M. S. (Org.). **Geografia e os riscos socioambientais**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2020. p. 207.
- CARVALHO, C. S.; GALVÃO, T. Prevenção de riscos de deslizamentos em encostas em áreas urbanas. In: MORAIS, M. P., et al. **Caracterização e tipologia de assentamentos precários: estudos de caso brasileiros – Brasília: Ipea**, cap.7, p. 169-185, 2016.
- COSTA, Y. T.; RODRIGUES, S. C. Relação entre cobertura vegetal e erosão em parcelas representativas de cerrado. **Revista Geográfica Acadêmica**, Boa Vista, v. 9, n. 2, p. 61-75, 2015. <https://doi.org/10.18227/1678-7226rga.v9i2.3160>
- CPRH. Agência Estadual de Meio Ambiente. Diretoria de Controle de Fontes Poluidoras. **Relatório de monitoramento da qualidade da água de bacias hidrográficas do estado de Pernambuco em 2016**. Recife, 2017.
- CREPANI, E. et al. **Uso de sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: INPE, 2001.
- CRUZ, R. H. R. **Impactos socioambientais de produção de palma de dendê na Amazônia paraense: uso de agrotóxicos e poluição ambiental nas sub-bacias hidrográficas, Tailândia (PA)**. 2018. 106 f. Dissertação (Mestrado em Gestão dos Recursos Naturais e Desenvolvimento Local da Amazônia) – Núcleo de Meio Ambiente, Belém, PA, 2018.
- CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. (Org.). **Geomorfologia do Brasil**. 7. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.
- DESCHAMPS, M. V. **Vulnerabilidade socioambiental nas regiões metropolitanas brasileiras**. Brasília: Observatório das Metrópoles, 2009.
- DIDONÉ, E. J. **Erosão bruta e produção de sedimentos em bacia hidrográfica sob plantio direto no planalto do Rio Grande do Sul**. 2013. 228 f. Dissertação de Mestrado, UFRS – Santa Maria, 2013.
- FIGUEIREDO, M. C. B. et al. **Análise da suscetibilidade ambiental**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2010. (Embrapa Agroindústria Tropical. Documentos, 127). Documentos (INFOTECA-E).

- FRANÇA, L. C. J. **Fragilidade ambiental potencial da bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha**, Minas Gerais, Brasil. 2018. 114p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2018.
- FROTA FILHO, A. B. **Análise da vulnerabilidade erosiva da bacia hidrográfica Colônia Antônio Aleixo, Manaus-AM**. 2016. 95 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2016.
- GOMES, H. A.; SANTOS, E. J. (Org.). **Geologia e recursos minerais do estado de Pernambuco**. Recife: CPRM, 2001.
- HASHIMOTO, C. V. **Lixiviação de potássio em latossolo amarelo na Amazônia Central brasileira**. 2018. 153 f. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.
- LABRIÈRE, N. et al. Soil erosion in the humid tropics: a systematic quantitative review. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 203, p. 127-139, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.01.027>
- LAL, R. Soil degradation by erosion. **Land Degradation and Development**, v.12, p. 519-539, 2001.
- LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.
<https://doi.org/10.1002/ldr.472>
- MENDONÇA, F. Riscos e vulnerabilidades socioambientais urbanos a contingência climática. **Revista de Geografia da UFC**, v. 9, n. 1, p. 153-163, 2010.
- NISHIZIMA, M. L. **Vulnerabilidade ambiental a processos erosivos lineares no setor centro-sul do município de Mirante do Paranapanema-SP**. 2021. 141 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Presidente Prudente, 2021.
- OLÍMPIO, J. L. S.; ZANELLA, M. E. Avaliação intermunicipal dos riscos de desastres naturais associados à dinâmica climática no estado do Ceará. **GEOUSP Espaço e Tempo (Online)**, v. 21, n. 1, p. 156-176, 2017. <https://doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geousp.2017.110719>
- OLIVEIRA, F. F.; SALLES, R. E. S.; ARAÚJO, R. C. Dinâmica, agentes causadores e fatores condicionantes de processos erosivos: aspectos teóricos. **Revista Brasileira de Iniciação Científica**, v. 5, n. 3, p. 60-83, 2018.
- PESSOA NETO, A. G. et al. Geoprocessamento aplicado ao uso e ocupação do solo da zona de conservação de corpos d'água no município do Jaboatão dos Guararapes-PE. **MIX Sustentável**, v. 5, n. 2, p. 99-107, 2019. <https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2019.v5.n2.99-107>
- POESEN, J. Soil erosion in the Anthropocene: Research needs. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 43, n. 1, p. 64-84, 2018. <https://doi.org/10.1002/esp.4250>
- ROVANI F. F. M. et al. Zoneamento ecológico-econômico de Barão de Cotegipe, RS: potencialidade para o ordenamento do território. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 66, n. 1, p. 137-151, 2014.
<https://doi.org/10.14393/rbcv66n1-43902>
- SALOMÃO, F. X. T. et al. Controle e prevenção dos processos erosivos. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, S. S.; BOTELHO, R. G. M. (Org.). **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. 9. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2014. p. 229-265.
- SANTOS, L. J. C.; WESTPHALEN, L. A. Erosão dos solos no Noroeste do Paraná. In: GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. C. O. (Org.). **Degradação dos solos no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2014.
- SANTOS, R. D. et al. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5. ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Embrapa Solos, 2005.
- SILVA, F. B. R. et al. **Zoneamento agroecológico de Pernambuco – Zape**. Recife: Embrapa Solos, Governo do Estado de Pernambuco, Secretaria de Produção Rural e Reforma Agrária, 2001. (Embrapa Solos. Documentos n.º 35). ZAPE Digital. 1 CD-ROM.

SILVA, J. F. G.; BARBOSA NETO, M. V. Identificação de riscos erosivos na bacia hidrográfica do rio Beberibe-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Rio de Janeiro, v. 11, n. 2, 2018.

<https://doi.org/10.26848/rbgf.v11.5.p1709-1720>

SILVA, J. S. da. **Desenvolvimento territorial e gestão de bacia hidrográfica**: o caso da bacia do rio Jaboatão, Pernambuco. 2013. 150 f. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2013.

SOUZA, D. D. R. **Análise espaço-temporal do uso da terra da bacia hidrográfica do rio Jaboatão-PE**. Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Pernambuco, Recife, 2019. 52 p.

TORRI, D.; POESEN, J. A review of topographic threshold conditions for gully head development in different environments. **Earth-Science Reviews**, v. 130, p. 73-85, 2014.

<https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2013.12.006>

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE-SUPREN, 1977.

USGS – United States Geological Survey (USGS). **Landsat Project Description**. Disponível em: <http://landsat.gov/about.project_descriptions.php> Acesso em: 28 de Março de 2019.

VALERIANO, M. M. **Topodata**: guia para utilização de dados geomorfológicos locais. São José dos Campos: INPE, 2008.

Recebido em: 22/07/2021

Aceito para publicação em: 27/04/2022