



Vulnerabilidade ambiental aos processos erosivos lineares da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, Amazônia Oriental

Environmental vulnerability to linear erosive processes in the hydrographic basin of Cachorros river, Eastern Amazônia

Melina Fushimi*¹  , Delony de Queiroz Ribeiro²  , João Osvaldo Rodrigues Nunes³  

¹Curso de Geografia, Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS, Brasil

²Departamento de Geografia, Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, MA, Brasil

³Departamento de Geografia, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Presidente Prudente, SP, Brasil

E-mail: idelony@hotmail.com (DQR); joao.o.nunes@unesp.br (JORN)

*E-mail para correspondência: fushimi.melina@gmail.com

Recebido (Received): 14/12/2021

Aceito (Accepted): 29/08/2022

Resumo: O objetivo do presente artigo foi analisar as inter-relações dos elementos naturais (solo, relevo, cobertura vegetal e clinografia) e sociais (usos da terra) que definem níveis de vulnerabilidade ambiental aos processos erosivos lineares (sulcos, ravinas e voçorocas) da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, Amazônia Oriental. Em ambiente de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), as variáveis solo, relevo, clinografia, uso da terra e cobertura vegetal, assim como os níveis de vulnerabilidade ambiental aos processos erosivos lineares foram espacializados em mapeamentos, no qual as informações foram reambuladas a partir de trabalhos de campo realizados nos períodos chuvosos e de estiagem. Os resultados mostraram três classes (níveis) de vulnerabilidade ambiental, sendo baixa, média e alta. Nos setores de baixa vulnerabilidade ambiental e meio morfodinâmico estável (8,17% da área total) não foram observadas feições erosivas lineares, com a presença de vegetação de manguezal. Nas áreas de média vulnerabilidade ambiental e meio morfodinâmico intergrade (44,67% da área total), diante da vegetação secundária e mista com diversas fisionomias e níveis de coberturas vegetais identificou-se sulcos. Nos ambientes de alta vulnerabilidade ambiental e meio morfodinâmico fortemente instável (47,16% da área total), os sulcos e as ravinas apresentam-se em avançado estágio de degradação em área urbanizada e área industrial. Cabe ressaltar que os usos da terra modificam intensamente as dinâmicas ambientais e, por conseguinte, influenciam diretamente os níveis de vulnerabilidade ambiental aos processos erosivos lineares, tornando a vulnerabilidade diferencial e dinâmica, isto é, que altera-se ao longo do tempo histórico e em termos de padrões espaciais.

Palavras-chave: Erosão; Mapeamento; Paisagem; Trabalho de campo.

Abstract: This assignment aimed to analyze the interrelations of natural (soil, relief, vegetation cover and clinography) and social (land use) elements that define levels of environmental vulnerability to linear erosive processes (rills, ravines and gullies) in the hydrographic basin of Cachorros river, Eastern Amazônia. In Geographic Information System (GIS), the variables soil, relief, clinography, land use and vegetation cover as well as the levels of environmental vulnerability to linear erosive processes, were spatialized in mappings, in which the information was reambulated from fieldworks carried out in rainy and dry periods. The results showed three classes (levels) of environmental vulnerability, being low, medium and high. In the sectors with low environmental vulnerability and stable morphodynamic (8.17% of the total area), no linear erosive features were observed, with the presence of mangrove vegetation. In medium environmental vulnerability and intergrade morphodynamic (44.67% of the total area), in view of secondary and mixed vegetation with different physiognomies and levels of vegetation cover, rills were identified. In high environmental vulnerability and unstable morphodynamic (47.16% of the total area), rills and ravines are in an advanced stage of degradation in urbanized and industrial areas. The land uses intensely modify the environmental dynamics and, therefore, directly influence the levels of environmental vulnerability to linear erosive processes, making the vulnerability differential and dynamic, thus, changes over historical time and in terms of spatial patterns.

Keywords: *Erosion; Mapping; Landscape; Fieldwork.*

1. Introdução

No âmbito da Geografia, os estudos da natureza assumem importância fundamental, uma vez que abrangem as inter-relações com a sociedade (análise integrada por meio da relação sociedade-natureza) na estruturação do espaço (MENDONÇA, 2021). Dessa forma, ainda segundo Mendonça (2021), é na ciência geográfica que a natureza assume seu papel social mais relevante.

Neste atual momento histórico, a natureza pode ser interpretada enquanto produção social, sendo considerada resultado dos aspectos naturais, do desdobramento da técnica agrícola ou industrial e da estrutura econômica ou social (LIMA, 2015). Para além disso, a natureza ressignifica-se na concepção do conceito de ambiente enquanto natureza transfigurada ou segunda natureza, a qual possui relações complexas com a sociedade diante do processo de socialização da natureza (SUERTEGARAY; DE PAULA, 2019; SUERTEGARAY, 2021). Sob o olhar geográfico, entendido como uma ciência de relações, as formas e os processos que ocorrem no ambiente identificam-se como híbridos (SUERTEGARAY, 2002; MENDONÇA, 2021).

Dentre os diversos fenômenos híbridos que acontecem naturalmente no decorrer do tempo geológico, mas desencadeados e/ou intensificados pelas atividades sociais no tempo histórico tem-se a erosão acelerada, antrópica ou antropogenética (RENSCHLER; HARBOR, 2002; WEILL; PIRES NETO, 2007; OLIVEIRA, 2015; BERTONI; LOMBARDI NETO, 2017). De acordo com Biswas e Biswas (1978) e Pimentel (2000), a erosão acelerada dos solos é um dos problemas sociais e econômicos mais sérios, pois envolve o comprometimento da produção de alimentos, ao passo que verifica-se o aumento gradativo da população mundial.

Acerca das consequências ambientais, *on-site* tem-se o escoamento superficial, com a perda de solos férteis pela remoção de horizontes superficiais que concentram matéria orgânica e nutrientes; e *off-site* verifica-se a degradação e a contaminação do ambiente e do ecossistema aquático em decorrência do uso de fertilizantes, herbicidas e pesticidas que são transportados juntamente com os sedimentos para áreas a jusante, tal como o assoreamento dos cursos d'água superficiais (BISWAS; BISWAS, 1978; GOUDIE, 1995; PIMENTEL, 2000; RENSCHLER; HARBOR, 2002; MORGAN, 2005; NANDI; LUFFMAN, 2012; BRADY; WEIL, 2013; GUERRA et al., 2017).

No Brasil, face aos problemas ambientais decorrentes das práticas econômicas predatórias, ao desperdício dos recursos naturais e à degradação generalizada, Ross (1994) evidencia a importância de um planejamento territorial ambiental que leve em consideração não somente o desenvolvimento econômico e tecnológico, como também as potencialidades dos recursos e as fragilidades dos ambientes naturais em função das distintas inserções da sociedade na natureza.

Em consonância com Fushimi (2012), Pedro Miyazaki (2014) e Fushimi e Nunes (2018), a fragilidade ambiental procura avaliar o estado de equilíbrio dinâmico dos processos naturais (como solo, relevo, rocha, cursos d'água e vegetação) e está atrelada à vulnerabilidade ambiental, a qual se diferencia da fragilidade pela incorporação da ação da sociedade (grupos sociais), por intermédio dos usos da terra, que intervêm em detrimento dos seus interesses econômicos sob o modo de produção capitalista.

Pedro Miyazaki (2014, p. 99) defende que “[...] o conceito de vulnerabilidade deve abranger, de forma conjunta, a análise das condições do ambiente, envolvendo a sociedade e a natureza e suas inter-relações”. Sob esse entendimento, Pedro Miyazaki e Fushimi (2017) asseveram que a vulnerabilidade pode agravar-se em decorrência dos fatores socioeconômicos das populações ameaçadas associados às condições naturais do ambiente, cujos fluxos ou processos são profundamente alterados. Assim, é importante ponderar as lógicas e os interesses dos agentes de produção do espaço.

Cutter (1996) aponta que diversos pesquisadores incorporam a vulnerabilidade em suas pesquisas, contudo, não esclarecem o seu significado, provocando confusões e contradições a respeito da apreciação da vulnerabilidade e conceitos correlatos, por exemplo, risco (*risk*) e perigo (*hazard*). No mais, apesar do seu uso na Geografia desde o início da década de 1980, a vulnerabilidade possui diferentes interpretações, dependendo da orientação da pesquisa e da perspectiva (CUTTER, 1996; 2011; CUTTER; BORUFF; SHIRLEY, 2003; BIRKMANN, 2006).

Com base em Cutter (1996) e Almeida (2010), a ideia de vulnerabilidade refere-se ao “potencial de perda” (*potential for loss*) e, ao concordar com as referências supracitadas que seu significado é amplo,

especifica-se para este trabalho a concepção de vulnerabilidade como potencial de perda de solo pela erosão que manifesta-se e materializa-se no ambiente sob a forma de sulcos, ravinas e voçorocas. Perante o fato de que os usos da terra são cada vez mais intensos, como a expansão da fronteira agrícola da soja e das atividades mineradoras em diversas áreas do território brasileiro, incluindo a Amazônia, grande parte dessas feições erosivas lineares são acentuadas e/ou desencadeadas pelas práticas sociais, configurando-se em erosão acelerada. Nessas circunstâncias, optou-se pelo termo “vulnerabilidade ambiental”, ao entender o conceito de ambiente a partir da concepção de Suertegaray (2018, p. 22), ou seja, “ambiente enquanto espaço de relações entre elementos de ordem natural, social, econômica e política onde o homem, portanto está presente na interação” e, dessa forma, o ambiental na perspectiva da relação sociedade-natureza.

Sobretudo a partir da década de 1970, na Amazônia Oriental, em especial a Amazônia Maranhense que compõe a Amazônia Legal, em razão do alto valor dos seus recursos naturais e crescente interesse econômico de agentes nacionais e internacionais, este ambiente vem sofrendo modificações significativas com a supressão vegetal ou desmatamento, processos erosivos remontantes, queimadas (muitas intencionais) e assoreamento de cursos d’água com diversas profundidades e larguras e, como consequência, redução da biodiversidade e perda dos atributos de sua geodiversidade (BECKER, 1974; CATUNDA; DIAS, 2019).

Nesse contexto da Amazônia, particularmente a Amazônia Oriental, na bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, município de São Luís, Maranhão, estabeleceu-se o Distrito Industrial voltado às atividades de mineração, sendo beneficiado pela situação geográfica em relação ao mercado externo (Estados Unidos da América, Japão e países da Europa), pelas condições naturais da baía de São Marcos e do Complexo Portuário de São Luís, composto pelo porto do Itaqui, pelo terminal privado da Alumar (Consórcio de Alumínio do Maranhão) e pelo terminal privado de Ponta da Madeira, pela infraestrutura rodoferroviária que articula a cidade de São Luís às macrorregiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste, pela localização próxima à área urbanizada e pela política de incentivos orientada pelo capital industrial e pelos interesses nacionais e internacionais (FERREIRA, 2000). Esta política de incentivos estende-se até os dias atuais, inclusive, na proposta de zoneamento de São Luís (INCID, 2015), em que as zonas industriais (Zona Industrial de Logística - ZIL; Zona Industrial de Porto e Retroporto - ZIPR; e Zona Industrial de Grande Porte - ZIGP) avançam sobre as zonas rurais e zonas residenciais.

Por conseguinte, tal cenário de uso da terra, associado à expansão da urbanização nas diversas formas de relevo, níveis de declividade e tipos de solos, retirando a vegetação de capoeira (florestas secundárias com estratos arbustivos e arbóreos) e de manguezais, tem proporcionado o aparecimento e/ou incremento de diversos processos de degradação na bacia hidrográfica do rio dos Cachorros. Castro e Santos (2012), Santos (2015) e Silva e Farias Filho (2017) mencionam alterações na qualidade dos solos, alterações na qualidade dos mananciais superficiais e subterrâneos, transporte de sedimentos e assoreamento dos corpos hídricos, geração de efluentes químicos no rio dos Cachorros, desmatamento e aumento da erosão.

Nesse sentido, o objetivo do presente artigo foi analisar as inter-relações dos elementos naturais (solo, relevo, cobertura vegetal e clinografia) e sociais (usos da terra) que definem níveis de vulnerabilidade ambiental aos processos erosivos lineares (sulcos, ravinas e voçorocas) da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, Amazônia Oriental.

2. Caracterização da área de estudo

A bacia hidrográfica do rio dos Cachorros encontra-se no município de São Luís, estado do Maranhão, e na porção Oriental da Amazônia Legal (**Figura 1**). Possui área aproximada de 65 km² e constitui-se por diferentes zonas, Zona de Proteção Ambiental 2 (ZPA 2), Zona Industrial 2 (ZI 2 - Porto Grande), Zona Industrial 3 (ZI 3 - Alumar), Zona Residencial 10 (ZR 10) e Zona Rural (ZRU - rio dos Cachorros), estabelecidas pela Lei vigente nº 3.253/1992 (SÃO LUÍS, 1992).

O curso d’água principal é o rio dos Cachorros que deságua no Estreito dos Coqueiros e recebe forte penetração de águas marinhas da baía de São Marcos, configurando-se em um ambiente estuarino (CASTRO; PEREIRA, 2012; SANTOS, 2015).

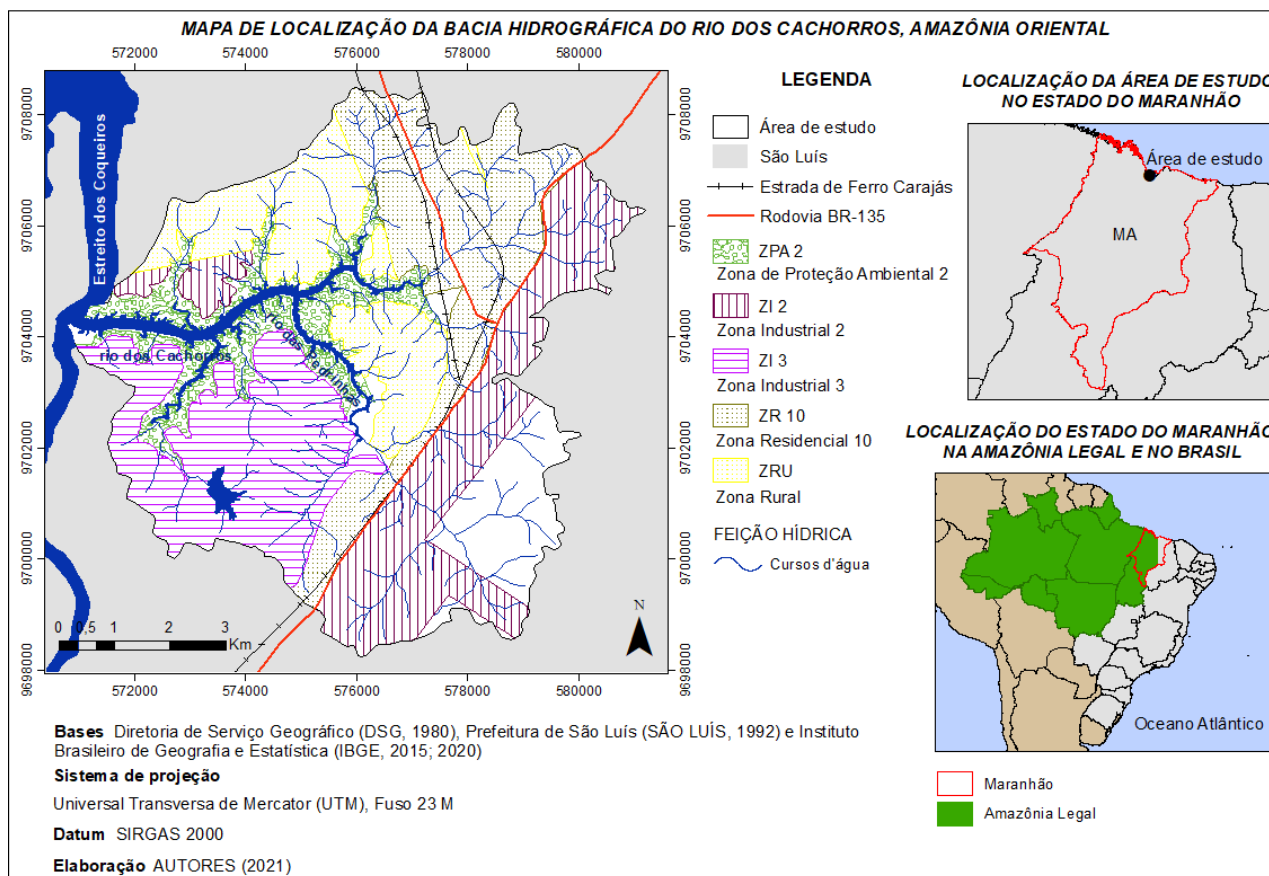


Figura 1: Mapa de localização da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, Amazônia Oriental.

Do ponto de vista geológico e classificação proposta por Santos *et al.* (2019), a bacia hidrográfica do rio dos Cachorros é formada pelas unidades litoestratigráficas Grupo Itapecuru (K12it), Grupo Barreiras (ENb) e Depósitos de Mangues (Q2pm). O Grupo Itapecuru é constituído por arenitos, argilitos, siltitos e conglomerados, oriundos de deposição de diversos ambientes (LIMA; LEITE, 1978; GONÇALVES; CARVALHO, 1996; ANAISSE JÚNIOR, 1999) e é recoberto pelo Grupo Barreiras, sendo este formado por sedimentos inconsolidados “[...] amarelados e avermelhados, arenosos finos a argilosos, maciços e por vezes mosqueados, com presença de lateritas concentradas ou dispersas” (SANTOS *et al.*, 2019, p. 54). Os Depósitos de Mangue “[...] constituem extensas planícies lamosas de até 27 km de largura e ficam situados entre os limites de maré alta e baixa, assim sendo inundados regularmente pela maré semi-diurna” (KLEIN *et al.*, 2012, p. 86-87).

Conforme o mapa de unidades de relevo da Ilha do Maranhão elaborado por Silva (2012), na área de estudo prevalecem as planícies de maré e as planícies fluviais enquanto formas agradacionais e os tabuleiros com topos planos e as colinas esparsas são as formas denudacionais presentes. As planícies fluviais localizam-se nos fundos de vale, declives entre 0 a 6%, próximas aos canais fluviais e acompanham o padrão de distribuição radial centrífuga que configura a drenagem da Ilha do Maranhão. Os tabuleiros possuem topos planos e convexos, cujas declividades variam de 0 a 6%. A partir deste compartimento de relevo advêm as colinas esparsas, com topos relativamente aplainados e vertentes côncavo-convexas de inclinações entre 2 a 30% (PEREIRA, 2006; SILVA, 2012).

Os solos predominantes contêm características de Latossolos, Argissolos, Neossolos Quartzarênicos, Gleissolos Háplicos e Solos Indiscriminados de Mangue ou Gleissolos Tiomórficos (MARANHÃO, 1998; SILVA, 2012; EMBRAPA, 2018).

O município de São Luís situa-se na região de transição climática do semiárido nordestino ao tropical úmido amazônico, exprimindo uma sazonalidade de chuva característica, com um período chuvoso de janeiro a junho influenciado pela Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e um período de estiagem de julho a dezembro, sendo denominado de clima tropical chuvoso (STRAHLER, 1960).

O uso e a cobertura da terra compõem-se por vegetação secundária, vegetação de manguezal, área urbanizada e área industrial, cujas alterações ocorreram de forma gradual e intensa nas três últimas décadas (CASTRO; SANTOS, 2012). Nos dias atuais, a bacia está sendo ocupada por diversas empresas e indústrias

e, por conseguinte, as áreas verdes estão sendo progressivamente pressionadas pelos interesses destes agentes de produção do espaço.

3. Materiais e método

Para analisar as inter-relações dos elementos naturais (solo, relevo, cobertura vegetal e clinografia) e sociais (usos da terra) que definem níveis de vulnerabilidade ambiental aos processos erosivos lineares (sulcos, ravinas e voçorocas) da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, Amazônia Oriental, foram realizados documentos cartográficos e trabalhos de campo a partir de uma perspectiva qualitativa.

As variáveis solo, relevo, clinografia, uso da terra e cobertura vegetal, assim como a vulnerabilidade ambiental aos processos erosivos lineares espacializaram-se em mapas na escala 1:50.000 em ambiente de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) no *software* ArcGIS 10.5[®], licença EFL999703439. Os aspectos litológicos não foram incluídos, pois a base de dados cartográfica possui escala de 1:100.000.

O esboço das principais classes de solos realizou-se mediante a correlação do Macrozoneamento do Golfão Maranhense na escala 1:100.000 (MARANHÃO, 1998), do mapa de unidades de relevo da Ilha do Maranhão na escala 1:60.000 (SILVA, 2012), da caracterização de solos por Ferreira e Fushimi (2019) e Fushimi *et al.* (2020) e de trabalhos de campo. Em decorrência das alterações dos atributos pedológicos pelos usos da terra, adaptaram-se as classes de solos propostas por Trentin (2011) para a área estudada (**Tabela 1**).

Tabela 1: Adaptação das classes de solos propostas por Trentin (2011) para a área de estudo.

Classes de solos propostas por Trentin (2011)	Classes de solos adaptadas para a área de estudo
Solos rasos a bem desenvolvidos em colinas arenosas	Solos desenvolvidos
Solos rasos a bem desenvolvidos em rochas areníticas	Solos rasos a desenvolvidos
Solos rasos de altitudes elevadas	Solos rasos a desenvolvidos
Solos hidromórficos	Solos hidromórficos

As associações dos solos basearam-se nas características e nas nomenclaturas do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2018): Solos desenvolvidos – associação Latossolos; Solos rasos a desenvolvidos – associação Argissolos; Solos rasos a desenvolvidos – associação Neossolos Quartzarênicos; Solos hidromórficos – associação Gleissolos Háplicos; Solos indiscriminados de mangue – associação Gleissolos Tiomórficos. A nomenclatura de solos indiscriminados de mangue e a legenda de cores do documento cartográfico utilizaram como referência IBGE (2015).

Acerca do relevo, efetuou-se o recorte da área de trabalho do mapa de unidades de relevo na escala 1:60.000 realizado por Silva (2012). O mapa clinográfico foi feito a partir das curvas de nível com equidistâncias de 5 metros, escala 1:10.000 e disponibilizadas pela Diretoria de Serviço Geográfico (DSG, 1980), por intermédio da criação de uma estrutura de grade triangular TIN (*Triangular Irregular Networks*). As classes da legenda basearam-se em Cunha (2001), com alterações segundo o declive do terreno da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros.

O mapa de uso da terra e cobertura vegetal espacializou-se com a imagem de satélite Sentinel-2, de domínio público, com resolução espacial de 10 metros e datada de 22 de outubro de 2017. A escolha da cena considerou a baixa cobertura de nuvens. A princípio, foi feita a classificação supervisionada e, a posteriori, a atualização das informações com base no mapa de zoneamento municipal na escala 1:35.000 (SÃO LUÍS, 1992), nas imagens do Google Earth Pro[®] e nos trabalhos de campo. As classes de uso da terra e cobertura vegetal foram adaptadas do manual técnico de uso da terra (IBGE, 2013), níveis I e II, bem como a convenção de cores.

O mapeamento da vulnerabilidade ambiental aos processos erosivos lineares considerou Saaty (1992), com a aplicação da Técnica do Processo Analítico Hierárquico (AHP), e as categorias morfodinâmicas de Tricart (1977), ou seja, meios estáveis, intergrades e fortemente instáveis, realizando-se adaptações em consonância com os principais fatores que contribuem para a dinâmica erosiva linear da área de estudo.

Os mapas de uso e cobertura da terra dos anos de 1985 e 2020 foram obtidos da base de dados do Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil (MapBiomias), coleção 6, escala 1:250.000 e de domínio público (SOUZA *et al.*, 2020). A escolha dos anos ponderou a classificação disponível mais antiga (1985) e a mais recente (2020) para comparar as alterações dos usos e coberturas no tempo histórico e subsidiar a análise da vulnerabilidade ambiental aos processos erosivos lineares.

Com a finalidade de reambular as informações mapeadas, ocorreram trabalhos de campo nos períodos chuvosos e de estiagem, em que os atributos do solo, relevo, clinografia, uso da terra e cobertura vegetal foram analisados e inter-relacionados aos níveis de vulnerabilidade ambiental aos processos erosivos lineares. Para auxiliar o estudo, utilizaram-se imagens do Google Earth Pro®, onde sulcos e ravinas foram previamente identificados, GPS (*Global Positioning System*) de navegação, registros fotográficos e imagens aéreas obtidas por Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT).

Cabe mencionar que, para este estudo, a distinção entre ravina e voçoroca considerou a classificação proposta pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), em que “Uma ravina é o resultado do escoamento superficial, enquanto uma boçoroca/voçoroca é o canal esculpido pelo afloramento do lençol freático no fundo da incisão e também pelo escoamento superficial” (ALMEIDA FILHO; ALMEIDA, 2016, p. 2). Almeida Filho e Almeida (2016) prosseguem que a diferenciação entre ravina e voçoroca detém importância considerável, visto que implica em hidrodinâmicas diferentes e a segunda necessita de medidas de maior envergadura para sua contenção e controle.

4. Resultados e discussão

Com a finalidade de auxiliar a análise da inter-relação dos elementos que definem níveis de vulnerabilidade ambiental aos sulcos, ravinas e voçorocas, foi elaborado o mapa de vulnerabilidade ambiental aos processos erosivos lineares da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, Amazônia Oriental (**Figura 2**), em que espacializou-se três classes (níveis) de vulnerabilidade: baixa, média e alta (**Tabela 2**).

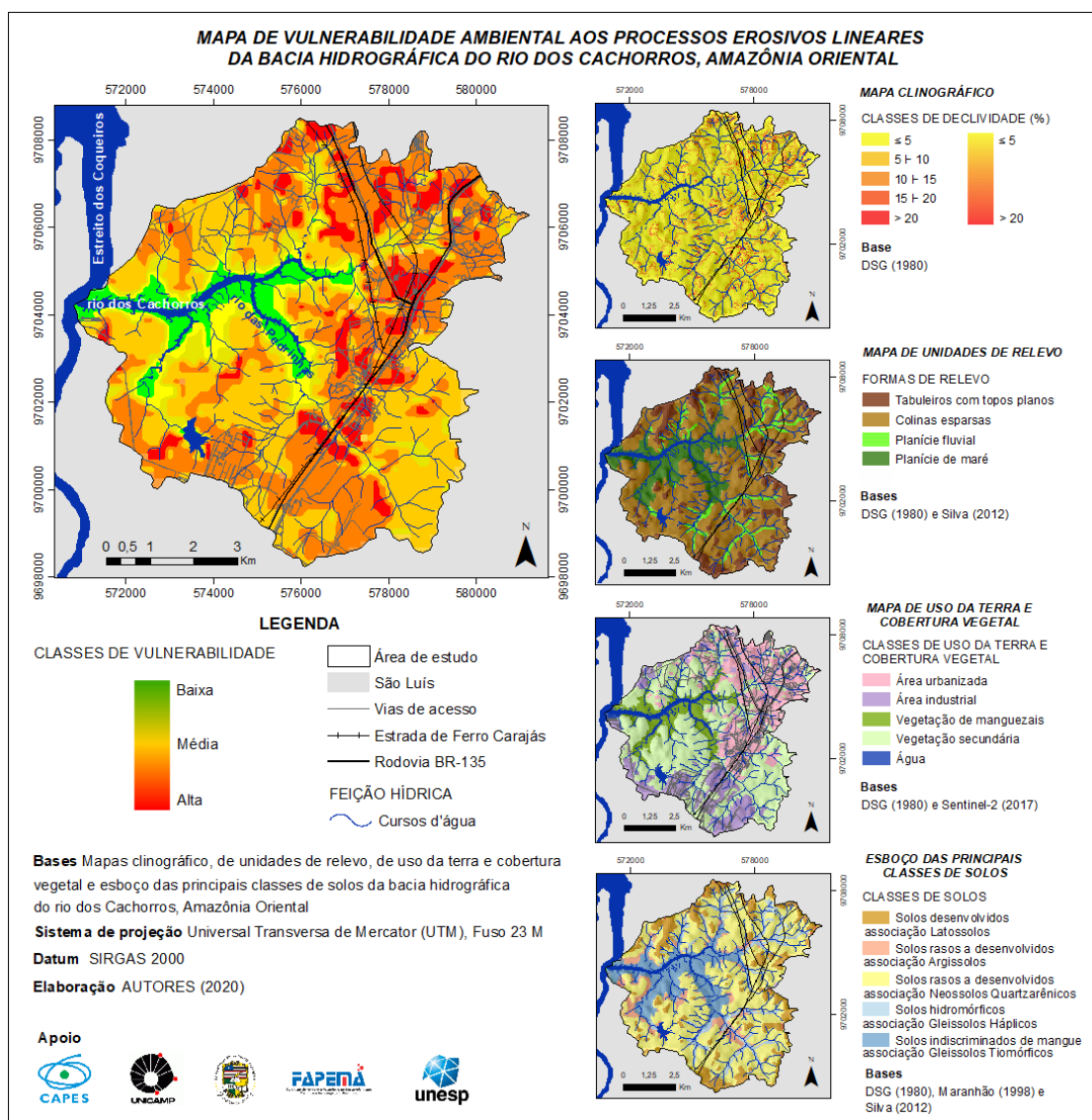


Figura 2: Mapa de vulnerabilidade ambiental aos processos erosivos lineares da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, Amazônia Oriental.

Tabela 2: Área em Km² e % dos níveis de vulnerabilidade ambiental aos processos erosivos lineares da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, Amazônia Oriental.

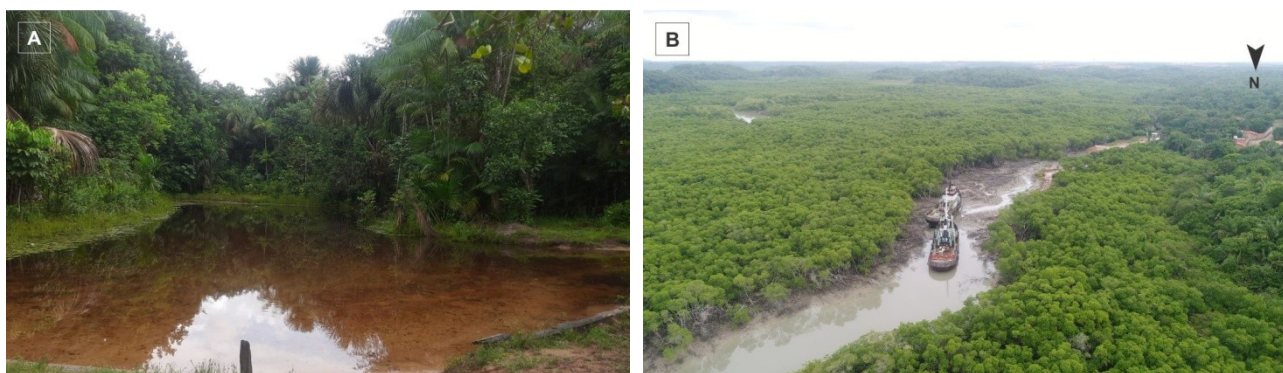
Nível de vulnerabilidade	Área (km ²)	Área (%)
Baixa	5,26	8,17
Média	28,77	44,67
Alta	30,38	47,16
Total	64,41	100

Nos setores de baixa vulnerabilidade ambiental aos processos erosivos lineares (8,17% da área total), em geral, os solos são hidromórficos – associação Gleissolos Háplicos e solos indiscriminados de mangue – associação Gleissolos Tiomórficos, cujo ambiente de acumulação pelo contato com as águas fluviais e costeiras, respectivamente, contribui para a pedogênese.

Nos solos indiscriminados de mangue – associação Gleissolos Tiomórficos, a vegetação de manguezal promove a dispersão da água da chuva e a consequente proteção direta do solo contra a ação do *splash* (ou erosão por salpico), do *runoff* (GUERRA, 2015; BERTONI; LOMBARDI NETO, 2017) e da erosão costeira (OTHMAN, 1994). Segundo Alongi (2009), os bosques de mangue detêm atributos fisiológicos e morfológicos que os tornam estruturalmente e funcionalmente únicos, por exemplo, raízes aéreas, dispersão de propágulos pela ação das marés e mecanismos eficientes para retenção de nutrientes e tolerância de sal.

De acordo com Castro e Pereira (2012), o manguezal é uma vegetação típica da costa maranhense e as principais espécies encontradas na área de estudo são o mangue vermelho (*Rhizophora mangle*), siriúba (*Avicennia sp.*), mangue branco (*Laguncularia racemosa*) e mangue de botão (*Conocarpus erectus*). Nos trabalhos de campo verificou-se somente o mangue vermelho nas planícies de maré do rio dos Cachorros. Dada sua importância, o ambiente de mangue é considerado área de preservação ambiental e nas proximidades do rio dos Cachorros, na Zona de Proteção Ambiental 2 (ZPA 2), considera-se todo o seu interior e uma faixa externa de 50 m, a partir de suas margens (SÃO LUÍS, 1992).

O relevo desempenha função relevante na circulação das águas pluviais. Nas formas agradacionais de planície fluvial e de planície de maré do rio dos Cachorros e seus afluentes (**Figuras 3 (A) e (B)**, respectivamente), ambas aplainadas e com declividades inferiores a 5%, predomina a infiltração e, em interação com os demais aspectos do ambiente, a estabilidade do meio morfodinâmico.



Figuras 3: Planície fluvial de um afluente do rio dos Cachorros (A) e planície de maré do rio dos Cachorros (B). Trabalhos de campo, novembro e maio de 2021, nessa ordem.

A média vulnerabilidade ambiental aos processos erosivos lineares espacializa-se em 44,67% da área total, preferencialmente, nos topos planos dos tabuleiros (**Figura 4A**) e nas colinas esparsas, sendo as últimas denominadas por Maranhão (1998) de relevo subtabular, uma vez que porções do tabuleiro sofreram dissecação no decorrer do tempo geológico, em que ora prevalece a infiltração, ora o escoamento superficial em meio morfodinâmico intergrade.

Nestas formas de relevo denudacionais, a curvatura da superfície é retilínea a convexizada, cujas morfologias favorecem a divergência das águas pluviais e, elencada às declividades entre 5 a 15%, tem-se média capacidade de transporte dos sedimentos. Os solos são desenvolvidos – associação Latossolos, com classes texturais “Areia franca” e “Francoarenosa”, em consonância com a caracterização de solos feita por Ferreira e Fushimi (2019) e Fushimi *et al.* (2020). Apesar do seu avançado estágio de intemperização, a fração areia se evidencia e, como consequência, a coesão das partículas é baixa, com suporte intermediário à

vegetação e moderadamente vulneráveis à ruptura dos agregados que representa o início da dinâmica erosiva linear.

A cobertura vegetal é secundária e mista (**Figura 4B**), composta por vegetação de capoeira (MARANHÃO, 2010; CASTRO; PEREIRA, 2012), em especial, palmeiras, como anajá (*Attalea maripa*), macaúba (*Acrocomia acuelata*) e tucum (*Astrocaryum vulgare*), babaçu (*Attalea speciosa*) nos terrenos secos e degradados e juçara (*Euterpe oleracea*) e buriti (*Mauritia flexuosa*) nos setores úmidos (IBAMA; SEMATUR, 1991). Conforme Andreu, Rubio e Cerní (1995), o tipo de formação vegetal e sua densidade influenciam o grau de cobertura do solo e, dessa forma, perante a vegetação heterogênea com diversas fisionomias e níveis de coberturas vegetais, mantém-se o equilíbrio entre pedogênese e morfogênese, com a presença de sulcos erosivos em algumas áreas.

A alta vulnerabilidade ambiental aos processos erosivos lineares encontra-se em 47,16% da área total, sobretudo em áreas urbanizadas, com crescente desmatamento e impermeabilização do solo, e áreas industriais, onde a atividade mineradora extrai areia e laterita para a construção civil, em concordância com pesquisas desenvolvidas na bacia em questão por Castro e Pereira (2012), Castro e Santos (2012) e Silva e Farias Filho (2017). Nessas circunstâncias, estes usos da terra alteram o ambiente e desencadeiam e intensificam de modo significativo a dinâmica erosiva linear sob a forma de sulcos e ravinas.

A declividade possui relação direta com a velocidade de transformação da energia potencial em energia cinética das águas pluviais (CREPANI et al., 2001) e, portanto, quanto maior a inclinação, mais rapidamente produz-se o *runoff* ou escoamento superficial, incremento do poder erosivo e meios morfodinâmicos fortemente instáveis. No recorte de estudo, os declives variam entre 15 a acima de 20% no compartimento da vertente das colinas esparsas e nas bordas dos tabuleiros, resultando em maior capacidade dos agentes erosivos de transportar material.

Relacionada à declividade (considerada alta para o ambiente costeiro em análise), a ocorrência de curvaturas côncavas em relevos com morfologia de cabeceira de drenagem em forma de anfiteatro, de intensa morfodinâmica, onde “ficam impregnadas as transformações que compõem a paisagem” (CASSETI, 1991, p. 54), promove a convergência das águas e o escoamento concentrado com alta energia. A princípio formam-se sulcos que evoluem para ravinas (**Figura 5A**). Em campo também verificou-se feições erosivas do tipo *demoiselles* ou pedestais (**Figura 5B**) que indicam salpicamento intercalado com remoção de partículas pelo escoamento superficial (OLIVEIRA, 2015) e alcovas de regressão esculpidas pelo escoamento superficial. Os solos rasos a desenvolvidos – associação Neossolos Quartzarênicos enquadram-se na categoria fortemente instável ao apresentar textura areia ou areia franca e sequência de horizontes A-C (FUSHIMI et al., 2020). Vale evidenciar que solos ricos em areia, sem estrutura e com pouco material cimentante são muito propensos ao processo erosivo em razão da pouca resistência ao desprendimento de partículas (PRUSKI, 2009). Os solos rasos a desenvolvidos – associação Argissolos são de profundidade variável, com incremento de argila do horizonte superficial para o horizonte B, dificultando a infiltração hídrica no perfil e favorecendo a morfogênese, em conformidade com Crepani *et al.* (2001), Brady e Weil (2013) e Embrapa (2018) e o fluxo tende a ser subsuperficial diante da diferença de gradiente textural.

Em trabalhos de campo e imagens de satélite observou-se que as atividades de mineração e, por conseguinte, formas erosivas lineares localizam-se próximas às residências, configurando-se em áreas de risco aos moradores, uma vez que as erosões não encontram-se estabilizadas, sem cobertura vegetal e avançam gradativamente nos meses chuvosos.



Figura 4: Tabuleiros com topos planos (A) e vegetação secundária e mista (B). Trabalhos de campo, junho de 2019 e maio de 2021, nessa ordem.



Figuras 5. Ravinas (A) e Pedestais (B). Trabalho de campo, junho de 2019.

Nesse sentido, a alta vulnerabilidade está diretamente associada aos usos da terra e concorda-se com Pedro Miyazaki (2014) que um ambiente torna-se vulnerável quando a sociedade interfere nas dinâmicas naturais, de forma a provocar alterações nos fluxos ou nos ritmos dos processos, gerando impactos que podem colocar determinado grupo social em uma situação de risco, por exemplo, de ordem alimentar (com a degradação do solo e/ou da água) e pela necessidade de habitar.

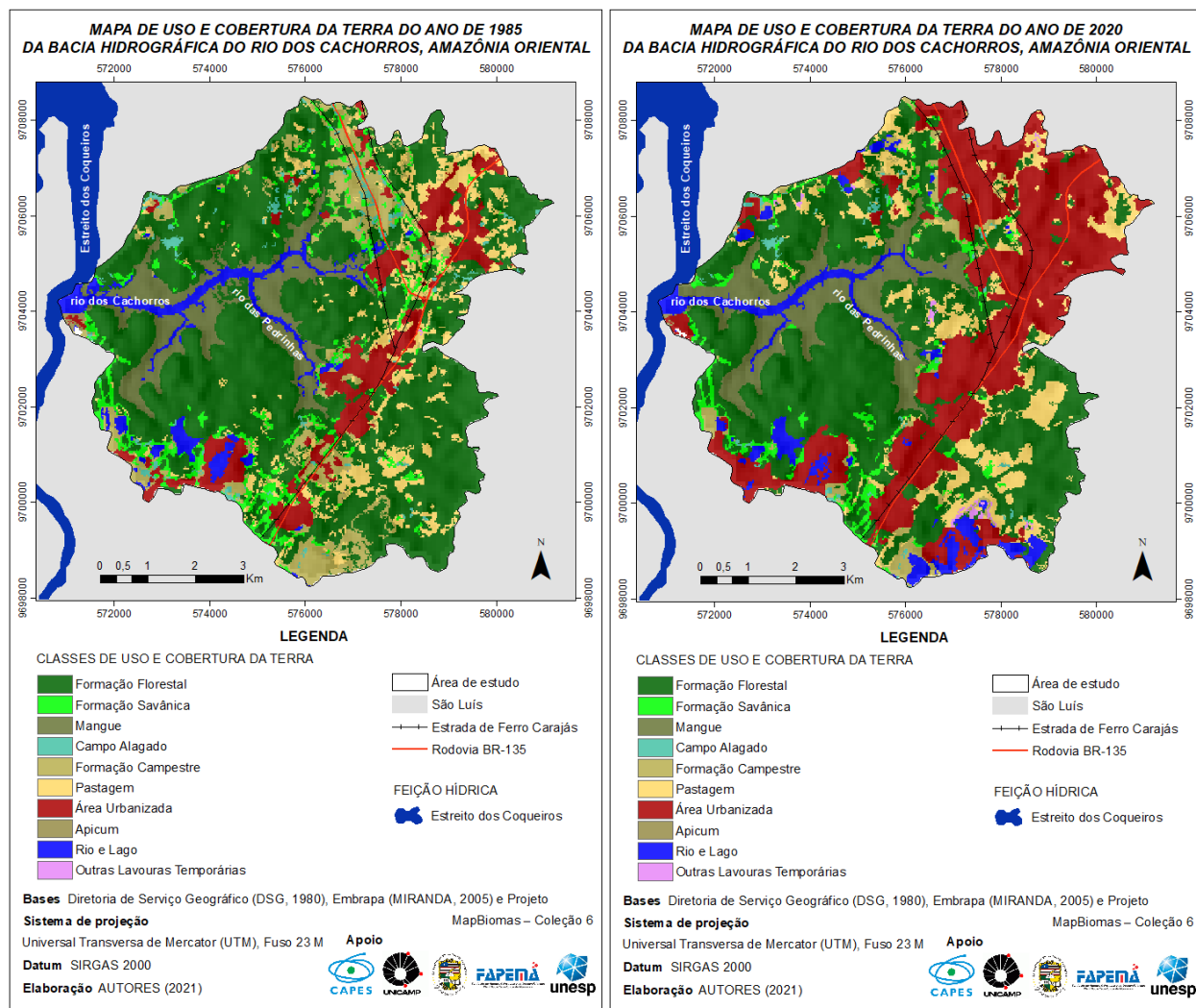
Ao comparar os mapas de uso e cobertura da terra dos anos de 1985 (**Figura 6**) e 2020 (**Figura 7**), destaca-se o crescimento da mancha urbana, principalmente nas proximidades da Rodovia BR-135 que viabiliza o acesso ao núcleo urbano consolidado de São Luís, onde situam-se os principais serviços. Assim, ao longo desses 15 anos, a formação florestal e a formação savânica foram retiradas em virtude do avanço das áreas urbanizadas e, de forma secundária, da implantação da Estrada de Ferro Carajás associada às frentes de mineração.

Nos setores Noroeste (próximo à foz do rio dos Cachorros) e Sudeste da área de estudo, o aparecimento de rios e lagos em detrimento da retirada das formações florestal e campestre na espacialização de 2020, na realidade, são lagoas de disposição de resíduos minerais decorrentes das atividades de mineração, conforme verificou-se em trabalhos de campo (**Figuras 8 (A) e (B)**) e imagens de satélite (**Figuras 8 (C) e (D)**). No mais, na confluência do Estreito dos Coqueiros com o Rio dos Cachorros situa-se o porto da Alumar, sendo a via de entrada de soda cáustica, de carvão e de bauxita e exportação de alumina (ALCOA, 2021).

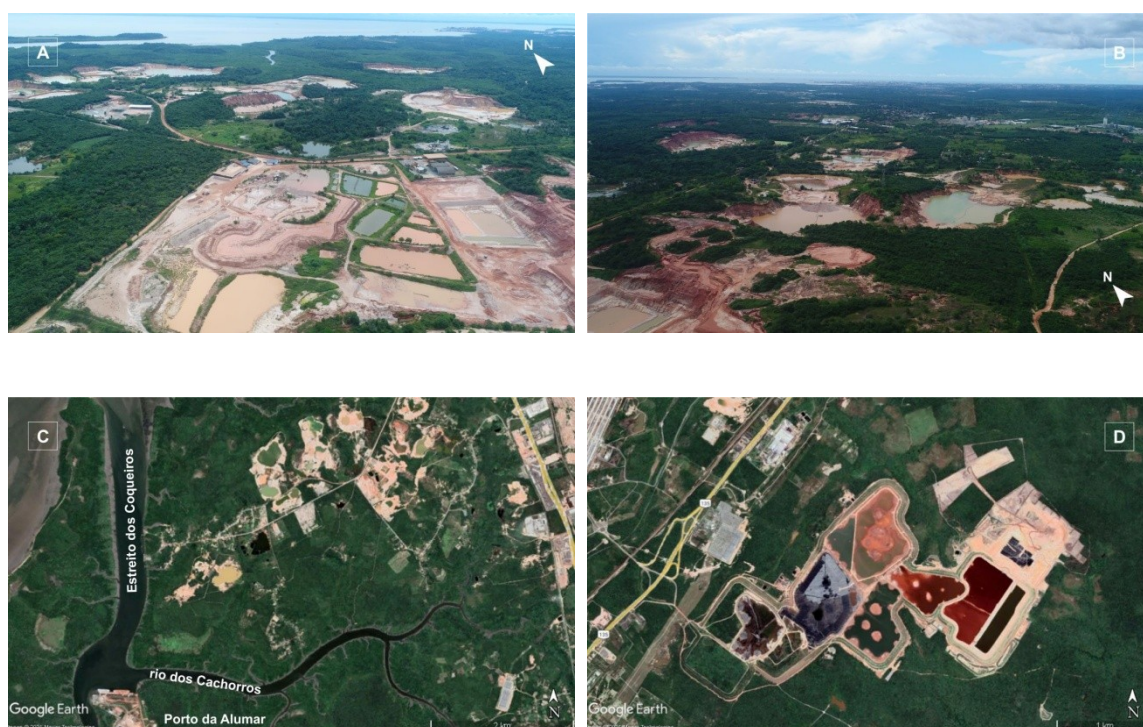
O avanço da mineração contextualiza-se no âmbito do território brasileiro e da Amazônia, no qual, segundo Souza *et al.* (2020), entre 1985 e 2020 a área minerada no Brasil cresceu seis vezes e no ano de 2020, três de cada quatro hectares minerados estão na Amazônia, concentrando 72,5 % de toda a área.

Com base no Sistema de Informação Geográfica da Mineração (SIGMINE) da Agência Nacional de Mineração (ANM) (responsável pela gestão da atividade de mineração e regulamentado pelo Decreto nº 9.406/2018, BRASIL, 2018), os processos minerários na bacia ocorrem desde 2005 até o presente momento histórico e estão em fase de autorização de pesquisa, licenciamento, requerimento de pesquisa, concessão de lavra, requerimento de licenciamento, direito de requerer a lavra e disponibilidade. Além disso, são extraídos areia, minério de cobre, água mineral, cascalho, água potável de mesa, dentre outros (dado não cadastrado). Esses minerais são usados na construção civil, uso industrial, engarrafamento e outros (dado não cadastrado).

Visto que os usos da terra modificam intensamente as dinâmicas ambientais, concorda-se com Cutter, Boruff e Shirley (2003) e Birkmann (2006) que a vulnerabilidade é diferencial e dinâmica, o que significa que altera-se ao longo do tempo histórico e em termos de padrões espaciais. Enfim, os elementos naturais e sociais que definem níveis diferenciados de baixa, média e alta vulnerabilidade ambiental aos processos erosivos lineares da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, Amazônia Oriental, foram inter-relacionados e sistematizados na **Tabela 3**.




Figuras 6 e 7: Mapas de uso e cobertura da terra dos anos de 1985 e 2020 da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, Amazônia Oriental.



Figuras 8: Atividades de mineração nos setores Noroeste (A, B e C) e Sudeste (D) da área de estudo. Trabalho de campo, maio de 2021 e Google Earth®, janeiro de 2021.

Tabela 3: Síntese integrada da vulnerabilidade ambiental aos processos erosivos lineares da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, Amazônia Oriental.

Nível de vulnerabilidade	Litologia e Forma de relevo	Clinografia	Classe de solo	Uso da terra e cobertura vegetal	Morfodinâmica predominante	
	Baixa 8,17% da área total	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Depósitos de Mangues e ▪ Planície fluvial ▪ Planície de maré 	Inferior a 5%	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Solos hidromórficos – associação Gleissolos Háplicos ▪ Solos indiscriminados de mangue – associação Gleissolos Tiomórficos 	Vegetação de manguezal Domínio espacial de condições morfodinâmicas estáveis	
	Média 44,67% da área total	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Grupo Itapecuru ▪ Grupo Barreiras ▪ Tabuleiro com topo plano ▪ Colina esparsa 	Entre 5 a 15%	Solos desenvolvidos – associação Latossolos	Vegetação secundária e mista	Domínio espacial de condições morfodinâmicas intergrades, com a presença de sulcos
	Alta 47,16% da área total	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Grupo Itapecuru ▪ Grupo Barreiras ▪ Borda do tabuleiro ▪ Vertente da colina esparsa 	Entre 15 a superior a 20%	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Solos rasos a desenvolvidos – associação Argissolos ▪ Solos rasos a desenvolvidos – associação Neossolos Quartzarênicos 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Área urbanizada ▪ Área industrial 	Domínio espacial de condições morfodinâmicas fortemente instáveis, com presença de sulcos e ravinas

De modo geral, a baixa vulnerabilidade está elencada aos Depósitos de Mangues nas planícies fluviais e nas planícies de maré, com declividades inferiores a 5%, solos hidromórficos – associação Gleissolos Háplicos, solos indiscriminados de mangue – associação Gleissolos Tiomórficos e vegetação de manguezal, cujas inter-relações proporcionam o domínio espacial de condições morfodinâmicas estáveis.

A média vulnerabilidade ocorre sobre o Grupo Itapecuru e o Grupo Barreiras em tabuleiros com topos planos e em colinas esparsas de inclinações entre 5 a 15%. Os solos são desenvolvidos – associação Latossolos e a cobertura vegetal é secundária e mista. Consequentemente, predomina o domínio espacial de condições morfodinâmicas intergrades.

Na alta vulnerabilidade, o Grupo Itapecuru e o Grupo Barreiras acontecem nas bordas dos tabuleiros e nas vertentes das colinas esparsas, em que ambas as formas de relevo possuem declives entre 15 a superior a 20% nos solos rasos a desenvolvidos – associação Argissolos e nos solos rasos a desenvolvidos – associação Neossolos Quartzarênicos. A vegetação foi substituída por áreas urbanizadas e industriais e, sob essas condições, tem-se o domínio espacial de condições morfodinâmicas fortemente instáveis.

5. Conclusões

O reconhecimento e a caracterização dos usos da terra (sobretudo a urbanização e a mineração), em inter-relação com os elementos naturais (solo, relevo, cobertura vegetal e clinografia) possibilitou alcançar o objetivo proposto ao analisar os diferentes níveis de vulnerabilidade ambiental aos processos erosivos lineares da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, Amazônia Oriental.

Nos setores de baixa vulnerabilidade ambiental e meio morfodinâmico estável não foram observadas feições erosivas lineares. Porém, em decorrência dos processos erosivos a montante (nas colinas esparsas e nos tabuleiros com topos planos) ocorre o assoreamento de alguns cursos d'água nos fundos de vale. No mais, destaca-se a importância de conservação da vegetação de manguezal em relação à erosão costeira, sendo também área de preservação ambiental. Nas áreas de média vulnerabilidade ambiental e meio morfodinâmico intergrade têm-se sulcos, ao passo que nos ambientes de alta vulnerabilidade ambiental e meio morfodinâmico fortemente instável, os sulcos e as ravinas apresentam-se em avançado estágio de degradação. Cabe mencionar que não verificou-se o afloramento do aquífero freático nas incisões erosivas, isto é, voçorocas.

Conclui-se que os níveis de média e alta vulnerabilidade predominam ao totalizar, em conjunto, 91,83% da área de trabalho e em todos os ambientes a natureza apresenta-se alterada (transfigurada), seja em maior

ou menor intensidade, *on-site* e/ou *off-site*, e estão vinculadas às atividades sociais, entendidas neste estudo como usos da terra.

Os resultados da pesquisa poderão subsidiar o planejamento ambiental da área de estudo, ao orientar a realização de medidas conservacionistas nas áreas indicadas como baixa e média vulnerabilidade ambiental aos processos erosivos lineares. Na alta vulnerabilidade destaca-se a relevância de implementação de práticas de recuperação de áreas degradadas, uma vez que as erosões não se encontram estabilizadas e parte delas localiza-se próxima às residências, apresentando risco aos moradores.

Por fim, vale considerar estudos futuros para dar continuidade ao presente trabalho com a possibilidade de incorporação de outras variáveis na análise e mapeamento, como clima, cujos elementos associam-se aos agentes erosivos, e comprimento de rampa, posto que, relacionado à declividade, a tendência é o incremento da velocidade do escoamento superficial conforme o aumento do caminho percorrido pela água.

Referências

Agência Nacional de Mineração (ANM). Sistema de Informação Geográfica da Mineração (SIGMINE). Disponível em: <https://geo.anm.gov.br/portal/apps/webappviewer/index.html?id=6a8f5ccc4b6a4c2bba79759aa952d908>. Acesso em: 15 mai. 2021.

ALCOA. **Alumar**. Disponível em: <https://www.alcoa.com/brasil/pt/>. Acesso em: 01 dez. 2021.

ALMEIDA, L. Q. **Vulnerabilidades socioambientais de rios urbanos: bacia hidrográfica do rio Maranguapinho, região metropolitana de Fortaleza, Ceará**. 2010. 278 p. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, 2010.

ALMEIDA FILHO, G. S. de; ALMEIDA, M. C. J. de. Erosão hídrica do tipo ravina e boçoroca. *In: Congresso da Sociedade de Análise de Risco Latino Americana, III, São Paulo, 2016. Anais...* São Paulo: IPT, 2016, p. 1-7.

ALONGI, D. M. **The Energetics of Mangrove Forests**. Dordrecht: Springer Science, 2009. 216 p.

ANAISSE JÚNIOR, J. **Fácies costeiras dos depósitos Itapecuru (Cretáceo), região de Açailândia, bacia do Grajaú**. 1999. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) – Universidade Federal do Pará, Belém, 1999.

ANDREU, V.; RUBIO, J. L.; CERNÍ, R. Effect of Mediterranean shrub on water erosion control. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 37, p. 5-15, 1995.

BECKER, B. K. A Amazônia na estrutura espacial do Brasil. **R. Bras. Geog.**, Rio de Janeiro, v. 36, n. 2, p. 3-36, abr./jun. 1974.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 10. ed. São Paulo: Ícone, 2017.

BIRKMANN, J. (Org.). **Measuring Vulnerability to Natural Hazards: Towards disaster resilient societies**. Tóquio: United Nations University Press, 2006.

BISWAS, M. R.; BISWAS, A. K. Loss of productive soil. **Intern. J. Environmental Studies**, v. 12, p. 189-197, 1978.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 686 p.

BRASIL. Decreto nº 9.406, de 12 de junho de 2018. **Regulamenta o Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967, a Lei nº 6.567, de 24 de setembro de 1978, a Lei nº 7.805, de 18 de julho de 1989, e a Lei nº 13.575, de 26 de dezembro de 2017**, Brasília, DF, 2018. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/decreto/D9406.htm. Acesso em: 13 dez. 2021.

CASSETI, V. **Ambiente e apropriação do relevo**. São Paulo: Contexto, 1991. 146 p.

- CASTRO, H. F. R.; PEREIRA, E. D. Cartografia geológico-geotécnica da Bacia Hidrográfica do Rio dos Cachorros. **Revista Geonorte**, v. 3, n. 4, p. 750-759, 2012.
- CASTRO, T. C. S. de; SANTOS, F. R. B. dos. Diagnóstico ambiental da atividade de extração mineral classe 2 na bacia hidrográfica do rio dos cachorros, São Luís – MA, Brasil. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, v. 6, n. 1, p. 67-76, jan./dez. 2012.
- CATUNDA, P. H. de A.; DIAS, L. J. B. da S. (Org.). **Sumário Executivo do Zoneamento Ecológico Econômico do Estado do Maranhão – ZEE**. Etapa bioma amazônico. São Luís: IMESC, 2019. 493 p.
- CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. de; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. C. F. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: INPE, 2001.
- CUNHA, C. M. L. **A cartografia do relevo no contexto da gestão ambiental**. 2001. 128 p. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2001.
- CUTTER, S. L. Vulnerability to environmental hazards. **Progress in Human Geography**, 20, 4, p. 529-539, 1996.
- CUTTER, S. L. A ciência da vulnerabilidade: modelos, métodos e indicadores. **Revista Crítica de Ciências Sociais**, n. 93, p. 59-69, jun. 2011.
- CUTTER, S. L.; BORUFF, B. J.; SHIRLEY, W. L. Social Vulnerability to Environmental Hazards. **Social Science Quarterly**, v. 84, n. 1, p. 242-261, jun. 2003.
- Diretoria de Serviço Geográfico (DSG). **Carta preliminar**. São Luís. Folhas 37, 38, 39, 44, 45, 46, 51 e 52. 1980.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018.
- FERREIRA, A. J. de A. Uma interpretação geográfica para São Luís. **GEOUSP – Espaço e Tempo**, São Paulo, n. 7, p. 51-58, 2000.
- FERREIRA, B. S.; FUSHIMI, M. Caracterização dos solos da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, Ilha do Maranhão. In: XXXI Seminário de Iniciação Científica da UEMA, 2019, São Luís. **Anais [...]**. São Luís: EDUEMA, 2019. p. 752-754
- FUSHIMI, M. **Vulnerabilidade Ambiental aos processos erosivos lineares nas áreas rurais do município de Presidente Prudente-SP**. 2012. 141 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.
- FUSHIMI, M.; NUNES, J. O. R. Vulnerabilidade ambiental aos processos erosivos lineares das paisagens de parte dos municípios de Marabá Paulista (SP) e Presidente Epitácio (SP), Brasil. **Revista da Associação Nacional de Pós-graduação e Pesquisa em Geografia (Anpege)**, v. 14, n. 23, p. 5-27, jan./abr. 2018.
- FUSHIMI, M.; OLIVEIRA, R. C.; LISBOA, G. S.; FERREIRA, B. S.; SILVA, P. Z. F.; NUNES, J. O. R. Caracterização físico-química de solo raso a desenvolvido (associação Neossolo Quartzarênico) e solo hidromórfico (associação Gleissolo Háptico): o contexto ambiental da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís-MA. **Brazilian Geographical Journal**, v. 11, n. 1, p. 4-18, 2020.
- GONÇALVES, R. A.; CARVALHO, I. S. Contribuição ao estudo da sedimentação da Formação Itapecuru – região de Itapecuru-Mirim, bacia do Parnaíba (Cretáceo Inferior) - Maranhão - Brasil. **Revista de Geologia**, Rio de Janeiro, v. 9, p. 75-81, 1996.

GOUDIE, A. **The changing Earth-Rates of Geomorphological Processes**. Oxford: Blackwell Publishers, 1995.

GUERRA, A. J. T. O Início do Processo Erosivo. *In*: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. da; BOTELHO, R. G. M. (Org.). **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. 10. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2015. p. 17-55.

GUERRA, A. J. T.; FULLEN, M. A.; JORGE, M. do C. O.; BEZERRA, J. F. R.; SHOKR, M. S. Slope Processes, Mass Movement and Soil Erosion: A Review. **Pedosphere**, v. 27, n.1, p. 27-41, fev. 2017.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Manual Técnico de Uso da Terra**. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2013.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Manual Técnico de Pedologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2015. 430 p.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Amazônia Legal. Mapa da Amazônia Legal. IBGE, 2020. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>. Acesso em: 24 nov. 2021.

Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA); Secretaria de Meio Ambiente e Turismo (SEMATUR). **Diagnóstico dos principais problemas ambientais do Estado do Maranhão**. São Luís: Lithograf, 1991. 194 p.

Instituto da Cidade, Pesquisa e Planejamento Urbano e Rural (INCID). **Revisão da Legislação Urbanística de São Luís**. 2015. Disponível em: <https://www.saoluis.ma.gov.br/incid/conteudo/1442>. Acesso em: 09 jul. 2022.

KLEIN, E. L.; LOPES, E. C. dos S.; ANJOS, G. C.; TEIXEIRA, S. G.; MOURA, E. M. Unidades litoestratigráficas. *In*: KLEIN, E. L.; SOUSA, C. S. (Orgs.). **Geologia e recursos minerais do estado do Maranhão: Sistema de Informações Geográficas (SIG): texto explicativo dos mapas Geológico e de Recursos Minerais do Estado do Maranhão**. Belém: Serviço Geológico do Brasil - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), 2012. p. 41-88.

LIMA, E. L. O mito do “fator antrópico” no discurso ambiental geográfico. **Mercator**, Fortaleza, v. 14, n. 3, p. 109-122, set./dez. 2015.

LIMA, E. A. M.; LEITE, J. F. **Projeto estudo global dos recursos minerais da bacia sedimentar do Parnaíba: integração geológico-metalogenética: relatório final, etapa III**. Belém: Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM); Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), 1978. 190 p.

MARANHÃO. **Macrozoneamento do Golfão Maranhense; Diagnóstico Ambiental da Microrregião da Aglomeração Urbana de São Luís e dos Municípios de Alcântara, Bacabeira e Rosário**. São Luís: SEMA/MMA/PNMA, 1998.

MARANHÃO. **Diagnóstico ambiental da Ilha do Maranhão – com a implementação do Programa Estadual de Gerenciamento Costeiro do Estado do Maranhão – GERCO Ilha do Maranhão – etapa 1**. São Luís, 2010.

MENDONÇA, F. **Geografia física: ciência humana?** 8. ed. São Paulo: Contexto, 2021.

MORGAN, R. P. C. **Soil erosion & conservation**. 3. ed. Oxford: Blackwell Publishing, 2005.

NANDI, A.; LUFFMAN, I. Erosion Related Changes to Physicochemical Properties of Ultisols Distributed on Calcareous Sedimentary Rocks. **Journal of Sustainable Development**, v. 5, n. 8, p. 52-68, 2012.

OLIVEIRA, M. A. T. Processos Erosivos e Preservação de Áreas de Risco de Erosão por Voçorocas. *In*: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (Orgs.). **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. 10. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2015. p. 57-99.

OTHMAN, M. A. Value of mangroves in coastal protection. **Hydrobiologia**, v. 285, p. 277-282, 1994.

MIYAZAKI, P. L. C. **Dinâmicas de apropriação e ocupação em diferentes formas de relevo: análise dos impactos e da vulnerabilidade nas cidades de Presidente Prudente/SP e Marília/SP**. 2014. 265 p. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.

MIYAZAKI, P. L. C. ; FUSHIMI, M. Concepções do conceito de vulnerabilidade aplicado aos estudos socioambientais. *In*: DIAS, M. B. G.; NUNES, J. O. R. (Org.). **Trilhando pelos Solos: construções de um percurso**. Porto Alegre: Compasso Lugar-Cultura, 2017. p. 195-209.

PEREIRA, E. D. **Avaliação da vulnerabilidade natural à contaminação do solo e do aquífero do Reservatório Batatã – São Luís - MA**. 2006. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2006.

PIMENTEL, D. Soil Erosion and the Threat to Food Security and the Environment. **Ecosystem Health**, v. 6, n. 4, p. 221-226, dez. 2000.

PRUSKI, F. F. **Conservação do solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. 2. ed. atual. e ampl. Viçosa: Ed. UFV, 2009. 279 p.

RENSCHLER, C. S.; HARBOR, J. Soil erosion assessment tools from point to regional scales-the role of geomorphologists in land management research and implementation. **Geomorphology**, v. 47, p. 189-209, 2002.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Rev. do Departamento de Geografia – FFLCH-USP**, São Paulo, v. 8, p. 63-74, 1994.

SAATY, T. L. **Multicriteria Decision Making: The Analytic Hierarchy Process**. Pittsburgh: RWS Publications, 1992.

SANTOS, D. C. C. **Bacia hidrográfica do Rio dos Cachorros: população, saúde e ambiente**. 2015. Dissertação (Mestrado em Saúde e Ambiente) – Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2015.

SANTOS, J. H. S.; PEREIRA, E. D.; LIMA, L. G.; RANGEL, M. E. S.; COSTA, H. O.; SILVA, J. X.; SANTOS, G. I. F. A.; GRACA, J. P.; SILVA, S. S.; MORENO, M. G.; MACEDO, J. F.; SERRA, S. L. Bases Naturais do Bioma Amazônico no Estado do Maranhão: Geologia, Geomorfologia e Hidrogeologia. *In*: CATUNDA, P. H. de A.; DIAS, L. J. B. da S. (Org.). **Sumário Executivo do Zoneamento Ecológico Econômico do Estado do Maranhão – ZEE**. Etapa bioma amazônico. São Luís: IMESC, 2019. p. 30-91.

SÃO LUÍS (MA). Lei nº 3.253, de 29 de dezembro de 1992. **Dispõe sobre o zoneamento, parcelamento, uso e ocupação do solo urbano e dá outras providências**, São Luís, Sistema de Leis Municipais, 2019. Disponível em: www.saoluis.ma.gov.br. Acesso em: 08 dez. 2021.

SILVA, Q. D. da. **Mapeamento geomorfológico da Ilha do Maranhão**. 2012. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2012.

SILVA, J. S.; FARIAS FILHO, M. S. Avaliação espaço-temporal da cobertura vegetal através dos índices de vegetação na bacia hidrográfica do Rio dos Cachorros, São Luís (MA). *In*: SALES, N. F.; BOLLINA, D. A. T.; SOUZA, W. F.; MEIRELES, A. J. A. **Geotecnologias aplicadas à gestão ambiental participativa**. Mossoró: Edições UERN, 2017. p. 34-45.

SOUZA et al. Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine. **Remote Sensing**, v. 12, n. 17, 2020.

STRAHLER, A. N. **Climate and their classification. Physical geography**. 2 ed. New York: John Wiley, 1960.

SUERTEGARAY, D. M. A. Tempos Longos. Tempos Curtos. Na Análise da Natureza. **Geografares**, Vitória, n. 3, p. 159-164, jun. 2002.

SUERTEGARAY, D. M. A. **Geografia física e geomorfologia**: uma releitura. Porto Alegre: Compasso Lugar-Cultura, 2018. 126 p.

SUERTEGARAY, D. M. A. **Meio, ambiente e geografia**. Porto Alegre: Compasso Lugar-Cultura, 2021. 145 p.

SUERTEGARAY, D. M. A.; DE PAULA, C. Q. Geografia e questão ambiental, da teoria à práxis. **AMBIENTES**, v. 1, n. 1, p. 79-102, 2019.

TRENTIN, R. **Mapeamento geomorfológico e caracterização geoambiental da bacia hidrográfica do Rio Itu - oeste do Rio Grande do Sul - Brasil**. 2011. 220 p. Tese (Doutorado em Geografia) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE, Diretoria Técnica, SUPREN, 1977. 91 p.

WEILL, M. A. M.; PIRES NETO, A. G. Erosão e Assoreamento. *In*: SANTOS, R. F. (Org.). **Vulnerabilidade Ambiental**. Brasília: MMA, 2007. p. 39-58.



Este artigo é distribuído nos termos e condições do *Creative Commons Attributions/Atribuição-NãoComercial-CompartilhaIgual (CC BY-NC-SA)*.