



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgf>



Fragilidade ambiental potencial e emergente da bacia do rio Mocajuba – PA

Juliane da Costa Cavalcante¹ Aline Maria Meiguins de Lima² Jéssica Cristina Conte da Silva³ Bruno Silva de Holanda⁴ Crislayne Azevedo Almeida⁵

¹Doutoranda em Ciências Ambientais, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal do Pará, Rua Augusto Corrêa, 01, Campus: Básico, Belém, Pará, Brasil - CEP 66075-110. E-mail: Julianecosta63@gmail.com (autor correspondente). ²Doutora em Desenvolvimento Socioambiental pelo Núcleo de Altos Estudos Amazônicos, Docente da Universidade Federal do Pará, Rua Augusto Corrêa, 01, 66075-110, Guamá, Belém, PA, Brazil. E-mail: alinemeiguins@gmail.com. ³Doutoranda em Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará, Rua Augusto Corrêa, 01, 66075-110, Guamá, Belém, PA, Brazil. E-mail: jessicacris07@hotmail.com. ⁴Doutorando em Sensoriamento Remoto, Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves, 9500, Prédio 44202 Setor 5, 91501970, Porto Alegre/RS. E-mail: bruno.s.holanda@gmail.com. ⁵Mestra em Ciências Ambientais. Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal do Pará, Rua Augusto Corrêa, 1, 66075-110, Guamá, Belém, PA, Brazil. E-mail: crysazalmeida@gmail.com.

Artigo recebido em 29/09/2021 e aceito em 02/05/2022

RESUMO

A análise das potencialidades de fragilidades ambientais de ambientes naturais e antropizados tem como finalidade adequar medidas de conservação, restauração e usos antrópicos destes ecossistemas, mantendo a perpetuação dos recursos naturais. Nessa perspectiva, o presente trabalho buscou identificar os diferentes níveis de fragilidade física na bacia hidrográfica do Rio Mocajuba – PA por meio da interação de elementos físicos e bióticos (pedologia, geologia, altitude, intensidade pluviométrica e uso e cobertura da terra) para a representação da paisagem local. Verificou-se que a bacia do Rio Mocajuba possui uma maior proporção de classes Média, Baixa e Alta, respectivamente, para Fragilidade Emergente e Potencial. Em que as áreas antropizadas promoveram o incremento da fragilidade natural, assim como observou-se que a classe de fragilidade baixa se concentrou na foz da bacia, englobando manguezais e áreas vegetadas. E a classe média e alta envolveram áreas de mangue e áreas antropizadas. Dessa forma a aplicação de metodologias de fragilidade possibilitam gerar um diagnóstico dos fatores limitantes ao uso e ocupação das terras. Assim como identificar áreas prioritárias para conservação e restauração florestal, contribuindo com a gestão e planejamento territorial da bacia. Palavras-chave: Fragilidade. Ecossistema. Alteração. Uso da Terra. Planejamento. Gestão.

Potential and emerging environmental fragility of the Mocajuba river basin - PA

ABSTRACT

The analysis of the potential of environmental fragilities of natural and anthropized environments aims to adapt measures for conservation, restoration and anthropic uses of these ecosystems, maintaining the perpetuation of natural resources. In this perspective, the present work sought to identify the different levels of physical fragility in the hydrographic basin of the Mocajuba River - PA through the interaction of physical and biotic elements (pedology, geology, altitude, rainfall and land use and coverage) for representation of the local landscape. It was found that the Mocajuba River basin has a higher proportion of Middle, Low and High classes, respectively, for Emerging and Potential Fragility. Where the anthropized areas promoted an increase in natural fragility, just as it was observed that the class of low fragility was concentrated at the mouth of the basin, encompassing mangroves and vegetated areas. And the middle and upper class involved mangrove areas and man-made areas. Thus, the application of fragility methodologies makes it possible to generate a diagnosis of the factors limiting the use and occupation of land. As well as identifying priority areas for forest conservation and restoration. Contributing to the management and territorial planning of the basin.

Keywords: Fragility. Ecosystem. Amendment. Land use. Planning. Management.

Introdução

Conversão de ambientes naturais em áreas antropizadas, juntamente com a falta de planejamento e pouca consciência ecológica dos

governos municipais, estaduais e federais têm colocado em risco a qualidade ambiental de ecossistemas e de áreas protegidas presentes no território nacional. Esta expansão de intervenções

1417

Cavalcante, J. C.; Lima, A. M. M.; Silva, J. C. C.; Holanda, B. S.; Almeida, C. A.

antrópicas ocasiona distintos graus de impacto no ambiente natural, de acordo com as características intrínsecas dos ecossistemas (Valle et al., 2016).

Diante disso, a análise ambiental e o planejamento territorial são estudos necessários para a tomada de decisão em relação à ocupação da terra e aproveitamento dos recursos naturais. Assim como para auxiliar na formulação de políticas públicas, implantação de estratégias de desenvolvimento local e na elaboração de um modelo de ordenamento físico-territorial (Bacani et al., 2015).

Nessa perspectiva se encontram estudos de fragilidade ambiental, que podem ser definidos como a vulnerabilidade de um ambiente a sofrer degradação, em que a fragilidade natural pode ser intensificada por ações antrópicas (Valle et al., 2016). Ross (1994) é um dos autores pioneiros em estudos de fragilidade física ambiental que propõe uma metodologia que combina dados de solo, geologia, geomorfologia, relevo, clima e cobertura vegetal, resultando em áreas com diferentes níveis de fragilidade como subsídio ao planejamento ambiental.

A fragilidade é a vulnerabilidade de ambientes em relação às características físicas, sociais e econômicas. Podendo-se considerar uma das principais formas de verificar ecossistemas considerando seus aspectos físicos, sendo essencial para o planejamento ambiental de uma área de interesse (Alves et al., 2017).

A compreensão dos níveis de fragilidade de uma bacia hidrográfica, considerando variáveis ambientais, pode fornecer informações sobre o cenário ambiental da área estudada, auxiliando na implantação de políticas públicas em áreas com maior fragilidade ambiental (Vieira et al., 2021). Assim como auxiliando na minimização de impactos relacionados a processos erosivos, eventuais movimentos de massa e inundações (Santos e Marchioro, 2020).

Cada unidade de paisagem além de suas potencialidades, também apresenta fragilidades. Esta última sob intervenções humanas desestabilizam as funcionalidades do sistema (Ross, 2012). Alterações no ecossistema envolvendo relevo, solo, clima, vegetação ou recursos hídricos podem provocar desequilíbrios, comprometendo a funcionalidade e o equilíbrio de sistemas dinâmicos (Souza et al. 2020). Para Ross (1994) e Ross (2012) as Unidades Ecodinâmicas podem ter diferentes graus de fragilidade *Potencial* (considera característica inerentes à paisagem),

mas são estáveis devido à pouca ou nenhuma intervenção humana. E a *Fragilidade Emergente* (considera também, cobertura da terra e usos antrópicos) é característica de ambientes instáveis devido às intervenções humanas.

Tricart (1977) classifica três tipos de meios morfodinâmicos: (1) meios estáveis, com cobertura vegetal e sem interferências antrópicas, apresentando processos de pedogênese; (2) meios integrardes, que caracterizam a passagem entre meios estáveis e instáveis, apresentando processos de pedogênese-morfogênese; e (3) fortemente instáveis, que prevalece processos de morfogênese, devido à degradação antrópica.

A potencialização de processos naturais devido à ação antrópica, como o incremento da erosão, sedimentação de canais e secas, é consequência também do uso exacerbado de recursos naturais (Vick et al. 2021). As práticas da mineração, agropecuária, silvicultura, indústria, entre outros, são impulsionadas pela nova ordem econômica mundial que intensifica a exploração de recursos naturais. O que ocasiona redução do espaço natural e impactos negativos ao ambiente natural, como incremento da fragilidade ambiental (Souza e Rebelato, 2021; Soares e Martins, 2021).

Então estudos de fragilidade de ambientes naturais também podem ser aplicados em áreas antropizadas, objetivando a implantação de ações de conservação e restauração de ambientes degradados, como é o caso da bacia do Rio Mocajuba, Nordeste Paraense. Região que vem sofrendo alterações de suas características naturais desde a década de 1960, em razão da expansão agropecuária e urbana. Essas práticas antrópicas que ocasionam a degradação ambiental, também, vêm colocando em risco as Unidades de Conservação que integram a bacia, possuindo usos e ocupações irregulares que vem se expandindo no entorno das zonas de amortecimento e no interior das RESEX (Teles, 2015).

Dessa forma há necessidade de uma análise das potencialidades e fragilidades ambientais da bacia do Rio Mocajuba, levando-se em consideração suas características físicas, com a finalidade de adequar medidas de conservação, restauração e usos antrópicos dos ecossistemas dessa região, mantendo sua resistência e resiliência naturais. O objetivo dessa pesquisa é identificar os diferentes níveis de fragilidade potencial e emergente na bacia do Rio Mocajuba a partir da interseção de elementos físicos e bióticos, determinando limitações ambientais às diferentes

intervenções humanas. O objetivo baseia-se na hipótese que a fragilidade natural (potencial) da bacia hidrográfica do Rio Mocajuba foi intensificada pela expansão de atividades antrópicas.

Metodologia

Área de Estudo

A área de estudo compreende a bacia hidrográfica do rio Mocajuba, que faz parte dos municípios de São João da Ponta, Curuçá e Terra Alta, com localização no Nordeste do Estado do Pará. Em seus limites estão contidas partes de três Reservas Extrativistas Marinhas, a *RESEX de São João da Ponta, Mãe Grande de Curuçá e Mocapajuba*. A bacia possui uma área de aproximadamente 406 km² (Figura 01).

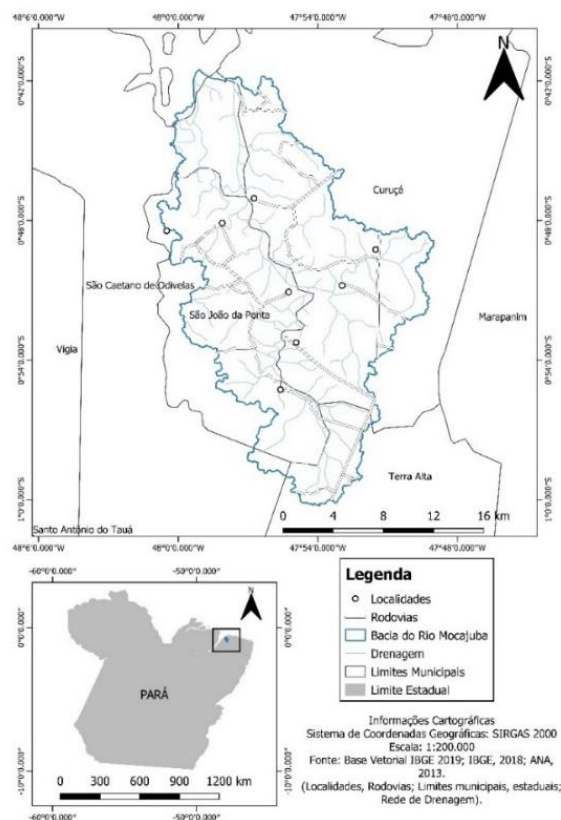


Figura 01. Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Mocajuba.
Fonte: autores.

Análise da Fragilidade

A metodologia proposta baseia-se na adaptação da análise empírica de fragilidade física de ambientes naturais e antropizados proposta por Ross (1994) e vulnerabilidade à perda de solo por Crepani et al. (2001). As variáveis de análise envolvem a *distribuição da precipitação pluviométrica, declividade, geomorfologia, geologia, solo, cobertura vegetal e uso da terra*. Assim como, produtos cartográficos temáticos complementares de *intensidade pluviométrica e cartas hipsométricas*. Dessa forma, é possível integrar elementos que compõem o ambiente (físico

- biológico e de ocupação humana) demonstrando o cenário atual da bacia do rio Mocajuba.

A fragilidade física da bacia do Rio Mocajuba foi avaliada segundo a classificação de Unidades Ecodinâmicas de Ross (1994): Estáveis (Instabilidade Potencial) e Instáveis (Instabilidade Emergente).

Para alcançar o objetivo proposto, a metodologia foi dividida em três etapas: (1) cálculo de Fragilidade Potencial, (2) cálculo de Fragilidade Emergente, (3) mapa de Kernel com dados de pressões antrópicas.

Quadro 01. Classes de Fragilidade

Classe de Fragilidade	Peso
Muito Baixa	1
Baixa	2
Média	3
Alta	4
Muito Alta	5

Fonte: Adaptado de Ross (1994) e Crepani et al. (2001).

Cobertura de solos

Os tipos de solo apresentam distintos pesos em função da erodibilidade natural, levando em consideração características como profundidade, porosidade, estrutura, textura, plasticidade, permeabilidade, entre outros. Tais propriedades

possuem relação com demais fatores pedogênicos, tal como litologia, clima, relevo e características químicas do solo (Rovani et al., 2015; Valle et al., 2016). As classes de fragilidade do solo encontradas na bacia constam no Quadro 02.

Quadro 02. Categorias hierárquicas de fragilidade para Pedologia.

Classes de Fragilidade	Classes de Solo	Peso
Baixa	Gleissolo Tiomórfico Órtico	2
Média	Latossolo Amarelo Distrófico	3

Fonte: Adaptado de Ross (1994) e Crepani et al. (2001).

A base de classificação pedológica utilizada foi disponibilizada pelo IBGE (2018)¹ em uma escala de 1:250.000. As cartas a serem utilizadas em formato *shapefile* são as SA22 e SA23, que compõe o limite da bacia a ser estudada.

Unidades geológicas

A contribuição da geologia para a fragilidade física corresponde à história e evolução geológica do ambiente em que a área de estudo se encontra, considerando o grau de coesão das rochas. A estabilidade com relação à perda natural do solo diz respeito ao grau de coesão das rochas que o compõe, em que substratos pouco coesos

prevalecem os processos modificadores das formas de relevo (morfogênese), enquanto rochas coesas prevalecem os processos de formação do solo (pedogênese) (Rovani et al., 2015).

Para o fator de geologia foram consideradas as descrições de vulnerabilidade das litologias aos processos erosivos proposta por Crepani et al. (2001), no Quadro 03.

A base de classificação geológica utilizada será a disponibilizada pelo IBGE (2018)² em uma escala de 1:250.000. As cartas a serem utilizadas em formato *shapefile* são as SA22 e SA23, que compõe o limite da bacia a ser estudada.

Quadro 03. Categorias hierárquicas de fragilidade para Unidades Geológicas.

Classes de Fragilidade	Unidades Geológicas	Peso
Baixa	• Depósitos de Planícies de Inundação	2
Média	• Barreiras	3

¹ Disponível em:
http://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/pedologia/vetores/

² Disponível em:
http://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/geologia/levantamento_geologico/vetores

	• Cobertura Detrito Laterítica Neo-pleistocênica	
Alta	• Aluviões Holocênicos • Depósitos Fluvio-marinhos Holocênicos	4

Fonte: Adaptado de Ross (1994) e Crepani et al. (2001).

Hipsometria

As medidas das formas físicas do relevo podem ser representadas pelas seguintes informações: amplitude de relevo (hipsometria), declividade e graus de dissecação da paisagem (dimensão interfluvial) (Ross, 1994; Crepani et al., 2001).

Paisagens com altos valores de amplitude de relevo, declividade e graus de dissecação apresentam maior energia para o escoamento superficial, desencadeando processos erosivos transformadores das formas de relevo. Por outro lado, baixos valores contribuem para a infiltração da água e redução do escoamento superficial, favorecendo processos pedogenéticos (Valle et al., 2016; Follmann et al., 2018).

Os dados de declividade gerados para a área de estudo revelaram um relevo muito plano, em que aproximadamente 90% da bacia obteve valores de 0 a 5%, com fragilidades entre muito baixa a baixa. Dessa forma, com o propósito de detalhar o relevo da região e as classes de fragilidade optou-se por utilizar os dados de altitude para melhor detalhamento.

À vista disso, para representar o relevo da bacia foram considerados os níveis de altitude levando-se em consideração a vulnerabilidade aos processos erosivos proposta por Crepani et al. (2001). O Quadro 04 mostra os níveis de fragilidade em relação às variações de altitude da área de estudo.

Quadro 04. Categorias hierárquicas de fragilidade para Altitude.

Classes de Fragilidade	Altitude	Peso
Muito Baixa	0 - 18 m	1
Baixa	18.1 – 25 m	2
Média	25.1 – 45 m	3
Alta	45.1 – 60 m	4
Muito Alta	60.1 –66.1 m	5

Fonte: Adaptado de Ross (1994) e Crepani et al. (2001).

O material cartográfico utilizado na elaboração da carta hipsométrica foram Modelos Digitais de Elevação (MDE) do SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), ID: SRTM1S01W048V3, banda 'x', 30 m de resolução espacial, disponíveis no site do USGS. As imagens utilizadas correspondem aos seguintes ID: SRTM1S01W049V3, SRTM1S01W048V3, SRTM1S02W049V3, SRTM1S02W048V3.

Intensidade pluviométrica

A climatologia é necessária para o conhecimento dos aspectos climáticos da região de estudo, prevendo o comportamento ocasionado por alterações antrópicas. A variável climática utilizada em estudos de fragilidade física é a Intensidade Pluviométrica, definida como a relação entre a média de precipitação anual e o número de

meses chuvosos ao longo do ano (Bacani et al., 2015).

A variável pode ser considerada como a energia disponível relacionada ao impacto da chuva no solo e posterior escoamento superficial, a ser transformada no potencial de erosividade da chuva. A erosão hídrica está associada à intensidade da chuva e características da terra, como capacidade de infiltração, declividade, tipo de solo, cobertura da terra, entre outros. Ou seja, quanto mais frágil forem as características naturais da bacia e a cobertura da terra, maior haverá potencial de erosividade da chuva (Back e Poletto, 2017).

Para a classificação do mapa de precipitação será utilizado como critério a intensidade pluviométrica estabelecida por Crepani et al. (2001). O Quadro 05 apresenta a intensidade

pluviométrica na área de estudo com suas respectivas classes de fragilidade.

Quadro 05. Categorias hierárquicas de fragilidade para Pluviosidade.

Classes de Fragilidade	Características Pluviométricas (mm/mês)	Peso
Alta	400 – 416	4
Muito Alta	416.1 – 436.2	5

Fonte: Adaptado de Crepani et al. (2001).

Foram utilizados dados de precipitação de 1998 a 2018 do produto CMORPH (método de *Morphing* do *Climate Prediction Center*) disponibilizados pelo NCEP (*National Centers for Environmental Prediction*) da NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*). A técnica CMORPH utiliza dados de precipitação de sensores micro-ondas passivos de satélites meteorológicos e sensores infravermelho de satélites geostacionário, que são o GOES-8, GOES-10, Meteosat-7, Meteosat-5 e GMS-5 (JOYCE et al., 2004).

Os dados do CMORPH são obtidos a partir do site da NOAA³ em uma resolução temporal de 30 min e resolução espacial de 0,07277° (8 km no equador).⁴ Estes dados serão visualizados através do *Software OpenGrades*⁵, por meio dos scripts

foram obtidos o acumulado mensal (média do período - 1998 a 2018), sendo possível realizar a média mensal e depois anual da área estudo.

Uso e cobertura da terra

A geração da base de uso e cobertura da terra realizou-se por meio da plataforma do Google Earth Engine⁶, das imagens de satélite Landsat 8 (referente ao ano de 2018) e do classificador *Random Forest*. A partir da base de cobertura da terra foi possível identificar a distribuição de três principais classes de uso da terra e seus graus de proteção (Quadro 7), com base na proposta de Ross (1994).

Quadro 06. Categorias hierárquicas de fragilidade para Uso da Terra.

Classes de Fragilidade	Uso da Terra	Características	Peso
Baixa	Formação Florestal	Baseado no manual técnico de vegetação do IBGE (2012): Vegetação ombrófila densa pioneira e secundária. Além de áreas em estado inicial de regeneração.	2
Alta	Manguezal	Baseado no manual técnico de vegetação do IBGE (2012): Vegetação com influência fluviomarinha (manguezal e apicum).	4
Muito Alta	Não floresta	Considerou-se toda cobertura de terra com usos antrópicos variados, tais como: áreas urbanas, pastagem, agricultura, rodovias e solo exposto.	5

Fonte: Adaptado de Ross (1994) e Crepani et al. (2001).

A Figura 02 e Tabela 01 simplificam a metodologia aplicada para a estimativa da Fragilidade Potencial e Emergente. A álgebra de mapas foi realizada com o auxílio do Software Qgis 3.6.2, através da média aritmética entre os pesos de fragilidade das variáveis, como exposto na Tabela 01. Primeiro calculou-se a Fragilidade Potencial com as variáveis Solo, Geologia, Altitude e

Intensidade Pluviométrica, segundo, calculou-se a Fragilidade Emergente com as variáveis do cálculo de Fragilidade Potencial mais Uso da Terra. Este mesmo método foi aplicado por Santos e Marchioro (2020) na análise de Fragilidade Potencial e Emergente na bacia hidrográfica do rio Duas Bocas, Espírito Santo, visando identificar

³ Disponível em: <ftp://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/precip/>

⁴ Disponível em:

http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/janowiak/cmorph_description.html

⁵ Disponível em: <http://opengrads.org>

⁶ Disponível em: <https://code.earthengine.google.com>

áreas que tiveram Fragilidade Potencial atenuadas pelo uso e cobertura da terra.

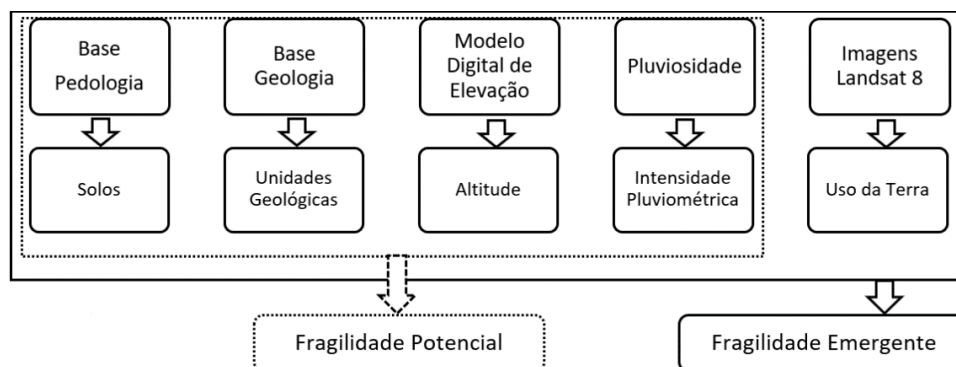


Figura 02. Fluxograma da fragilidade ambiental.

Tabela 01. Cálculo da Fragilidade Potencial e Emergente

Fragilidade Potencial					Fragilidade Emergente					Relação entre FP e FE				
P	G	A	I		FP	P		U		FE				Relação
2	2	1	4		1 a 1,9 MB	+		2		1 a 1,9 MB				≤ 0
3	3	2	5		2 a 2,9 B	G		4		2 a 2,9 B				
	4	3		=	3 a 3,9 M	+	+	5	=	3 a 3,9 M	FP	-	FE	≥ 0
		4			4 a 4,9 A	A				4 a 4,9 A				
		5			5 MA	+				5 MA				
$\frac{P + G + A + I}{4} = FP$														
					$\frac{P + G + A + I + U}{5} = FE$									
										FP - FE = Relação				

P= Pedologia, G=Geologia, A=Altimetria, I= Intensidade Pluviométrica, U=Uso da Terra, FP = Fragilidade Potencial, FE= Fragilidade Emergente, MB= Muito Baixa, B= Baixa, M= Média, A= Alta, MA = Muito Baixa.

Para relacionar Fragilidade Emergente e Fragilidade Potencial se propôs a subtração de ambas as bases. Em que valores ≤ 0 diz respeito a áreas que tiveram sua fragilidade natural atenuada pela cobertura da terra, ou seja, decréscimo de fragilidade, valores ≥ 0 para áreas com acréscimo de fragilidade.

Densidade de Kernel

Como forma de comparar os resultados de fragilidade ambiental com as pressões antrópicas na bacia, utilizou-se dados de estradas e localidades (cidades, vilas e aglomerado rural), disponibilizados pelo IBGE (2019). A partir destes gerou-se um mapa de densidade de Kernel, permitindo estimar a densidade de ocupação por unidade de área na bacia. A função é dada pela

seguinte equação (eq. 8) (Oliveira, U. e Oliveira, P., 2017, Carvalho et al., 2016):

$$\hat{\lambda}(s) = \sum_{i=1}^n \frac{1}{\tau^2} k\left(\frac{(s-s_i)}{\tau}\right) \quad (1)$$

Onde: $\hat{\lambda}(s)$ é o estimador de densidade, $k(\cdot)$ função de Kernel, τ - raio da busca, s - centro da área a ser estimada, s_i - local do ponto e n - número total de pontos.

Resultados e discussão

A Figura 03 espacializa as fragilidades de cada critério utilizado na metodologia. No critério Pedologia considerou-se que o Gleissolo apresenta menor erodibilidade natural, ou seja, menor fragilidade à perda de solo (Fragilidade Baixa).

Esse peso foi adotado levando-se em consideração suas características naturais, como alta quantidade de matéria orgânica,

proporcionando uma textura mais argilosa, sendo menos permeáveis e com maior potencial de retenção de água, assim como apresentam maior força de coesão entre as partículas, proporcionando maior resistência à erosão (Braga et al., 2015; IBGE, 2015).

Os Latossolos Amarelo variam de argilosos a areno-argilosos, sendo solos mais profundos, com boa drenagem, menor retenção de água e baixa fertilidade. Devido à variação da proporção entre argila e areia podem ser considerados com uma fragilidade maior à perda de solo (Fragilidade Média), em comparação com os Gleissolos (Freitas et al., 2014; IBGE, 2015).

No critério Geologia os Depósitos de Planícies de Inundação foram considerados de Fragilidade Baixa, pois constituem depósitos de manguezais e lamosos predominantemente pelíticos, com sedimentos siltico-argilosos e com

grande contribuição de matéria orgânica. Assim como, são áreas permanentemente inundadas, submetidas diariamente às oscilações de maré, sendo menos vulneráveis aos processos de modificação do relevo devido ao grau de coesão das rochas (Dominguez et al., 1990; CPRM, 2013).

O conjunto de rochas pertencentes ao Grupo Barreiras foi admitido como de Fragilidade Média aos processos morfogenéticos, levando-se em consideração a presença de sedimentos mais grossos, inconsolidados, predominância de fácies areno-argilas e possuindo agregados mais friáveis. Da mesma forma a unidade de Cobertura Detrito Laterítica foi ponderada como de Fragilidade Média, pela sua constituição argilo-arenosa e de areias inconsolidadas (Herrera et al., 2016; Igawa e Maciel, 2018).

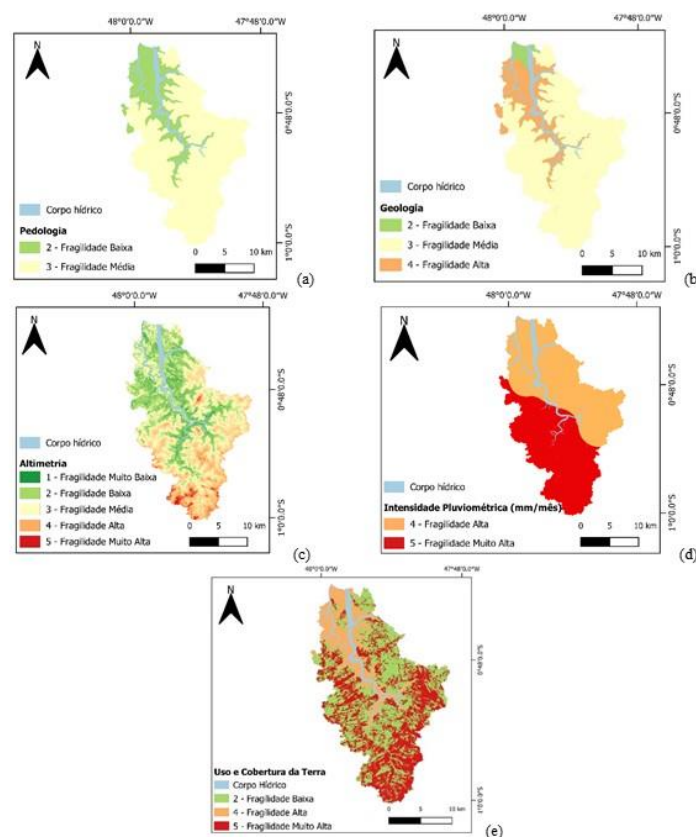


Figura 03. (a) Fragilidade no critério Pedologia. (b) Fragilidade no critério Geologia. (c) Fragilidade no critério Altimetria. (d) Fragilidade no critério Intensidade Pluviométrica. (e) Fragilidade no critério Uso e Cobertura da Terra.

Os Aluviões Holocênicos e Depósitos Fluvio-marinhos Holocênicos foram ponderados como de Fragilidade Alta aos processos

morfogenéticos. O primeiro destaca-se por sua morfologia típica de planícies sedimentares relacionadas ao sistema fluvial, geralmente

constituídos por sedimentos arenosos a argilosos, com níveis de cascalho e matéria orgânica inconsolidados e semi-consolidados. Esses depósitos são mutáveis devido à erosão fluvial, principalmente quando não protegidos pela vegetação. O segundo se relaciona a depósitos sedimentares derivados da associação combinada de processos fluviais e marinhos, constituindo-se por argila, areia e cascalho, inconsolidados e semi-inconsolidados em que sua evolução está relacionada à dinâmica fluvial. Dessa forma ambas as unidades apresentam baixos níveis de consolidação, estando expostos à erosão (CPRM, 2013; Silva et al., 2019).

O critério altimetria obteve um valor crescente de fragilidade de acordo com a elevação da altitude. Nesse caso julgou-se que quanto mais elevada a altitude maior a susceptibilidade aos processos erosivos, devido a maior velocidade de escoamento segundo o gradiente do terreno, favorecendo os processos morfogenéticos (Ross e Fierz, 2018).

A Alta e Muito Alta fragilidade conferida ao quesito Intensidade Pluviométrica é compatível com as características naturais da área, onde a precipitação atinge uma média de 400 mm/ano no período mais chuvoso e 59 mm/ano no período menos chuvoso (Menezes et al., 2015). Dessa forma, quanto maior a intensidade pluviométrica maior a perda de solo pela erosividade da chuva.

As classes de Cobertura da Terra agrupadas em Não Florestal, Manguezal, Formação Florestal obtiveram Fragilidade Muito Alta, Alta e Baixa, respectivamente. A classe Não Florestal engloba todas as áreas antrópicas presentes na bacia, ou seja, que tiveram sua vegetação suprimida ou descaracterizada. Áreas antropizadas foram ponderadas por Silva e Bacani (2017) de Alta a Muito Alta pois, devido ao grande impacto sofrido, são áreas mais frágeis a processos erosivos e morfogenéticos.

As áreas de Manguezal foram consideradas de Fragilidade Alta devido à elevada sensibilidade às intervenções antrópicas. Mesmo possuindo adaptações que favoreçam sua resiliência perante distúrbios naturais (Alongi, 2008) acabam sofrendo alterações de intervenções antrópicas que ocorrem em toda a bacia, prejudicando sua estrutura e ocasionando morte de organismos (Matias e Silva, 2017).

A região classificada como vegetação ombrófila densa (primária e secundária) e áreas em estado inicial de regeneração (capoeira) foram

classificadas com Baixa Fragilidade. Esse valor deve-se à baixa interferência antrópica e à manutenção da cobertura florestal nessas áreas. Mesmo tendo ocorrido supressão da vegetação, estão retomando seu estado de equilíbrio. Dessa forma, devido à proteção do solo proporcionada pela cobertura vegetal diversos autores a consideram como de Fragilidade Muito Baixa a Baixa (Ferreira et al., 2016, Valle et al., 2016).

A integração das bases de fragilidade individuais, sem a base de uso e cobertura da terra, representou a Fragilidade Potencial (Figura 04) da Bacia do Rio Mocajuba. Onde obtiveram-se três classes de Fragilidade Potencial: Baixa, Média e Alta.

A classe de Fragilidade Potencial Baixa contemplou 19,92% da área de estudo, concentrando-se próximo a foz bacia, onde se encontra boa parte dos manguezais. Observa-se que se trata da região onde a planície de inundação se faz mais evidente, favorecendo a deposição de sedimentos. A maior parte da bacia (76,67 %) engloba a classe de Fragilidade Potencial Média, onde o médio-baixo curso da bacia se comporta de forma mais homogênea quanto a fragilidade, sendo as formas de uso da terra a componente de maior variabilidade e com potencial direto de intervenção nas áreas de manguezais. A classe de Fragilidade Potencial Alta foi atribuída a uma pequena parte da bacia (3,41%), concentrou-se no extremo das cabeceiras da bacia, sobre os divisores topográficos, em uma região de limítrofe com as sub-bacias que drenam em direção ao rio Mocajuba.

As classes de Fragilidade Potencial Média e Alta podem sofrer com processos erosivos, devido ao gradiente do terreno mais íngreme e ao tipo de solo. Para Marcos, Rubira e Pisani (2021) essas áreas podem apresentar maior suscetibilidade a erosões, levando ao transporte de sedimentos e posterior deposição nos cursos d'água.

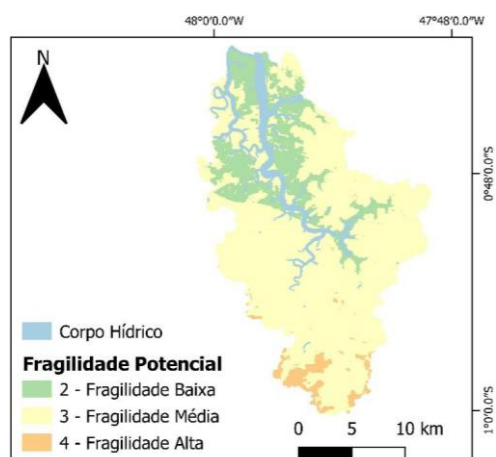


Figura 04. Fragilidade Potencial.

A junção dos critérios utilizados em Fragilidade Potencial com a base de Uso e Cobertura da Terra resultou no mapa de Fragilidade Emergente (Figura 05), obtendo-se três classes: Baixa, Média e Alta.

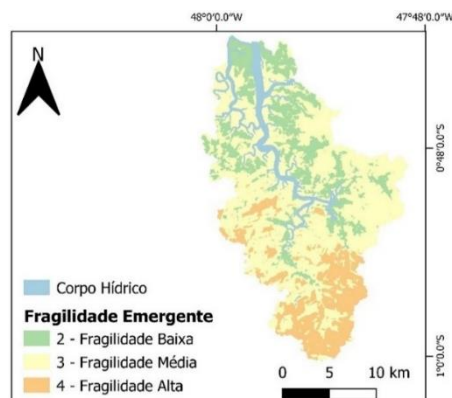


Figura 05. Fragilidade Emergente.

Devido à baixa fragilidade dada às áreas de Formação Florestal, estas acabaram atenuando a Fragilidade Potencial da bacia. Desta forma, determinadas áreas que detinham Fragilidade Potencial Média passaram a ter Fragilidade Emergente Baixa, que englobou 18,39% da bacia. Isso demonstra que a cobertura florestal é capaz de oferecer atenuação da fragilidade em determinados locais. Isso foi observado por Valle *et al.* (2016), que de acordo com os autores a cobertura florestal é capaz de oferecer proteção ao solo, minimizando a intensidade e consequências de processos erosivos. Já para Santos e Marchioro (2020), mesmo diante de declividades acentuadas e solos suscetíveis à erosão, a cobertura da terra ameniza a fragilidade.

A alta fragilidade dada às áreas de manguezal fizeram com que boa parte destas

passassem de Fragilidade Potencial Baixa para Fragilidade Emergente Média. Na bacia as áreas de manguezal sofrem pressão pela expansão das ocupações antrópicas. Estas acabam por dificultar a permanência e recuperação das áreas de manguê, visto que os manguezais mesmo possuindo uma alta resiliência necessitam de condições específicas para a sua existência (Silva et al., 2018).

A Fragilidade Emergente Média dessas áreas, que totalizou 67,57% da bacia, é acarretada pela alta importância dada às florestas de manguê na proteção do solo e equilíbrio do ecossistema dos manguezais, além das ameaças que sofrem pelas interferências humanas. Como é o caso dos manguezais de Bragança que foram impactados pela construção da Rodovia PA-458 sendo totalmente descaracterizados e hoje se encontram em processo lento de recuperação (Oliveira e Henrique, 2018).

As áreas antrópicas, classificadas como Não Floresta, englobam as classes de Fragilidade Emergente Média e Alta. Sendo possível observar o incremento de fragilidade, principalmente na parte inferior da bacia, ocasionada pelas áreas antropizadas, englobando 14,04% da bacia na classe de Fragilidade Emergente Alta. Essas ocupações retiram a proteção do solo e interferem no equilíbrio dos ecossistemas naturais. O mesmo foi observado por Vieira et al. (2021), na bacia hidrográfica do rio Santa Maria do Doce, em que a fragilidade ambiental média está relacionada, principalmente, com o uso e cobertura da terra.

Traficante et al. (2017) admitem que mesmo havendo baixa fragilidade potencial em relação à erosão, determinadas áreas podem sofrer influência pela ocupação da terra existente sobre elas. Isso ocorre pela diminuição do grau de proteção, aumentando o escoamento superficial e proporcionando a erosão linear e laminar, tornando essas áreas instáveis e fragilizadas. Alves et al. (2017) observaram áreas em processo de erosão e, consequentemente, perda de solo em lugares que tiveram incremento da fragilidade emergente. Confirmando o fato de que áreas com baixa fragilidade potencial podem ter um aumento na fragilidade emergente devido ao uso e manejo incorreto de áreas.

A Figura 06, que ilustra a densidade relativa à concentração de vias de acesso e localidades (vilas, cidades etc.), demonstra que a fragilidade da bacia do Rio Mocajuba também é influenciada negativamente pela abertura de estradas, como a PA - 136 e PA - 375, e suas

vicinais. Quando comparado a carta da Figura 13, observa-se que as áreas de média-baixa e média-alta densidade representam também as áreas de média-alta fragilidade emergente.

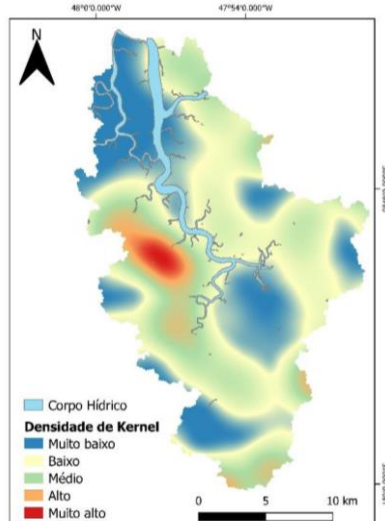


Figura 06. Densidade de Kernel

De acordo com Santos et al. (2017), a presença de rodovias estaduais e federais nos municípios pode explicar o maior avanço da antropização. Dessa forma, a abertura de novas estradas favorece a expansão de aglomerados urbanos, intensificando o uso da terra nas proximidades. Nesse contexto, a Figura 06 demonstra a densidade de ocupações de estradas e aglomerados habitacionais na bacia em estudo. Rezzadori et al. (2016) afirmam que a implantação de rodovias fomenta a fragmentação da paisagem, que consequentemente gera um efeito de borda, isolamento e redução de populações. Isso reforça a necessidade de estudos voltados a implantação de estradas em áreas protegidas, como as RESEX da bacia em estudo.

Tabela 02. Quantificação das Áreas de Fragilidade Potencial, Fragilidade Emergente e Acréscimo/Decréscimo de Fragilidade

Classes	Fragilidade Potencial		Fragilidade Emergente		Acréscimo/Decréscimo		
Muito Baixa	-	-	-	-			
Baixa	76,4 km ²	19,92%	70,55 km ²	18,39%	≤ 0	187,11 km ²	48,79%
Média	294,03 km ²	76,67%	259,13 km ²	67,57%			
Alta	13,09 km ²	3,41%	53,84 km ²	14,04%	≥ 0	196,4 km ²	51,21%
Muito Alta	-	-	-	-			

Fonte: autores.

Pelo alto valor de Fragilidade dada às classes Não Floresta e Manguezais, ambas as áreas obtiveram incremento de fragilidade. Esse

Áreas com presença de rodovias podem intensificar a presença de aglomerados habitacionais, potencializando a fragilidade alta de áreas antrópicas, interferindo na estabilidade dos manguezais, como no centro da bacia (Figura 04) e colocando em risco áreas de fragilidade baixa. As áreas de não floresta podem sofrer o incremento do desflorestamento aos arredores pelas rodovias, as áreas de formação florestal podem sofrer novos desmatamento e os manguezais podem sofrer perdas diretas (desmatamento) ou indiretas (diminuição do aporte de água e sedimentos).

Por meio da subtração das bases de Fragilidade Emergente e Fragilidade Potencial gerou-se como resultado o incremento da fragilidade da bacia (Figura 07 e Tabela 02).

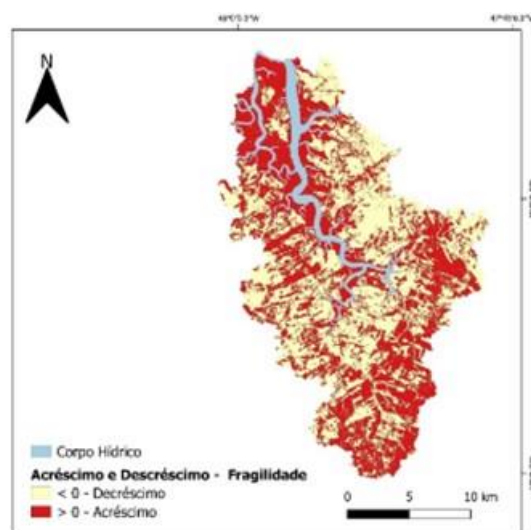


Figura 07. Acréscimo e Decréscimo de Fragilidade

resultado confirma a questão da alta fragilidade de áreas antropizadas e dos manguezais. Dessa forma, levando em consideração as Figuras 04 e 05 é

importante conter a expansão urbana e abertura de estradas em locais considerados de fragilidade emergente alta e média, assim como estabelecer critérios específicos para ocupações em áreas de fragilidade emergente baixa. Sendo importante a contenção de atividades em direção aos manguezais (Nascimento e Souza, 2010).

O incremento da fragilidade ocasionada pelas atividades antrópicas totalizou 35,58% da bacia, ocasionado pela alta pressão que essas ocupações ocasionam ao ecossistema, principalmente quando sem planejamento. Corroborando com a afirmação de Ross (2012) de que a fragilidade emergente são instáveis devido às intervenções humanas. Na bacia do Rio Mocajuba é possível observar diferentes ambientes antropizados, como urbanizações (Figura 08a), pastagens (Figura 08b), áreas agrícolas (Figura 08c) e demais áreas com solo exposto (Figura 08d).

Muitas dessas ocupações, principalmente áreas urbanizadas e agrícolas, se encontram em espaços protegidos, como Áreas de Preservação Permanente (APP) e manguezais. Comprovando que a expansão dessas apropriações na bacia ocorreria sem planejamento, assim como a falta de fiscalização atual possibilita a implantação de novas ocupações.

Esse fato confirma a Fragilidade Emergente Alta e Média dessas áreas, assim como o incremento que elas proporcionam à fragilidade natural da bacia. De acordo com Santos (2015) as unidades de Fragilidade Emergente Alta são associadas a ambientes fortemente instáveis e sem equilíbrio dinâmico. Essas unidades são mais comumente identificadas como áreas que sofreram intervenções antropogênicas, modificando intensamente o ambiente natural, como é o caso da área de estudo.

Da mesma forma que as áreas de Não Floresta, os Manguezais motivaram o incremento

da fragilidade natural da bacia (15,63%), em razão do alto valor de fragilidade dado a esse ecossistema. A região ocupada pelos manguezais na bacia do Rio Mocajuba é protegida por Unidades de Conservação (UC) da categoria de Reservas Extrativistas (RESEX), no entanto não existe um plano de ações ambientais, do ponto de vista legal, visando a regularização de ações predatórias no entorno dessas áreas (zona de amortecimento), pois demandam investimentos financeiros e uma articulação mais efetiva do poder público, o que não acontece devido a interesses divergentes e a não prioridade do poder público local para a questão ambiental (Teles e Pimentel, 2018).

Dessa forma, mesmo sendo áreas protegidas legalmente por lei é possível observar a pressão antrópica ocasiona aos manguezais, principalmente pela urbanização (Figura 08e,f). Por outro lado, as áreas de manguezais mais preservadas se encontram distantes das intervenções antrópicas (Figura 08g,h).

Um estudo realizado nos manguezais ao longo da costa do Paquistão por Rahman et al. (2017) revelou um declínio de 500 km² em apenas 8 anos, devido à rápida intervenção humana. No entanto, com a intervenção governamental foi possível observar um aumento na regeneração e reabilitação da cobertura de mangue, devido à efetivação das legislações ambientais e garantia do abastecimento de água e sedimentos para os ecossistemas costeiros, por meio da recuperação de áreas. Dessa forma, ressalta-se a importância de iniciativas dos governos municipais/estaduais (secretarias municipais e estaduais de meio ambiente) e federais (Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBio), envolvendo todas as áreas adjacentes aos mangues, para a conservação do ecossistema manguezal.



a)



b)

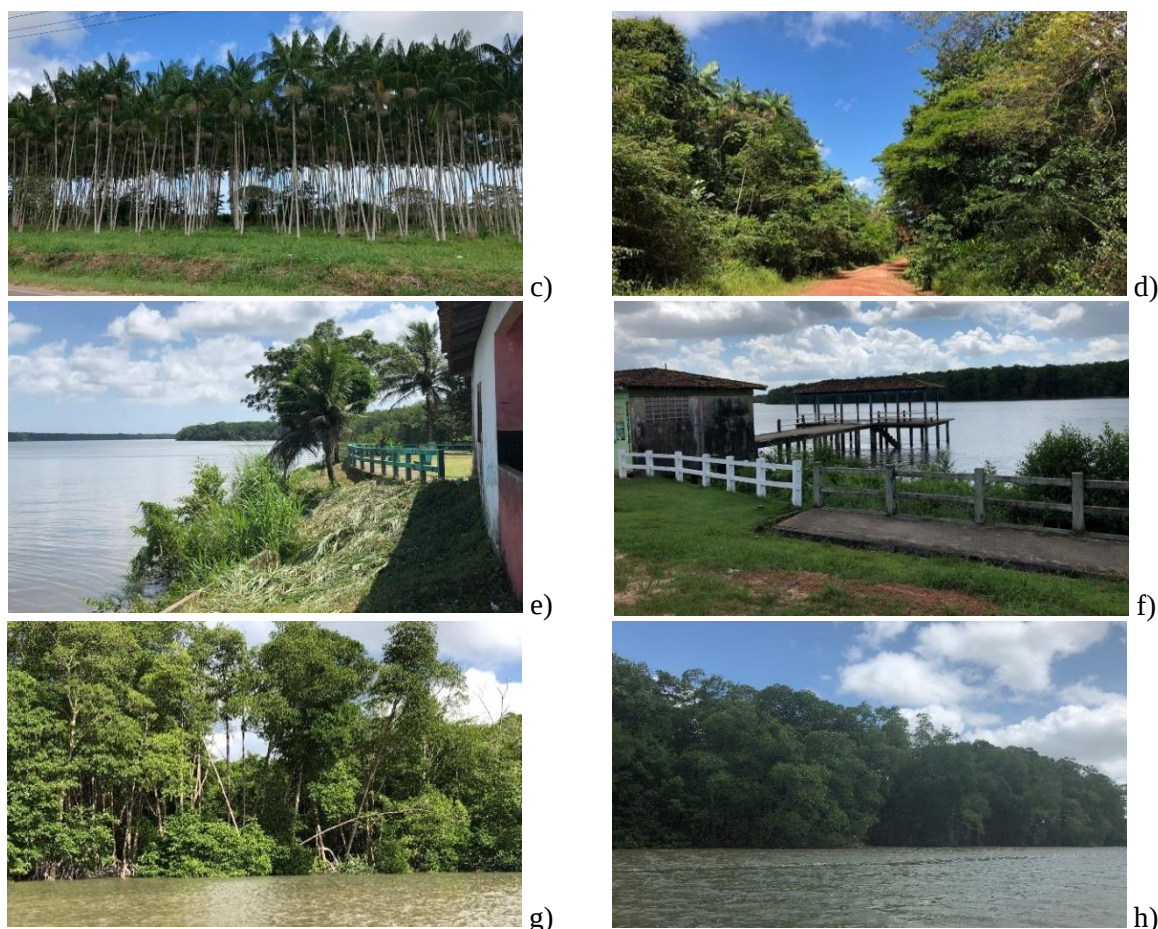


Figura 08 - (a) Urbanização. (b) Pastagem. (c) Agricultura. (d) Solo Exposto. (e, f) Áreas urbanizadas adjacente a manguezais. (g, h) Manguezais distantes de interferências antrópicas. Fonte: Autor.

Diferente das classes Não Floresta e Manguezal, as áreas de Formação Florestal motivaram a atenuação da fragilidade natural. Na área de estudo a classe Formação Florestal engloba áreas de floresta secundária em estágio inicial e avançado (Figura 08 d). Para Abrão e Bacani (2018) e Corte et al. (2015) as áreas com remanescentes de cobertura florestal, em estágio inicial ou avançado de regeneração, oferecem maior proteção ao solo em comparação a usos antrópicos, como pastagem e urbanização. Devido, principalmente, à proteção ao solo que oferecem contra a erosão.

A partir dos dados de Uso e Cobertura da Terra foi possível observar que a bacia do Rio Mocajuba foi densamente ocupada. Uma área equivalente a 48,79% da bacia é tomada por área de formação florestal, confirmado os desflorestamentos ocorridos em anos anteriores. No entanto, se conservadas com por meio de iniciativas do governo e da população local essas áreas podem atingir estágios avançados de regeneração, favorecendo a conservação da

biodiversidade, o que foi observado por Duarte et al. (2018). Por outro lado, as áreas de ocupações antrópicas na bacia se encontram em expansão, pressionando áreas em regeneração e manguezais.

Nessa perspectiva, se ressalta a importância de políticas públicas na área para a recuperação de Áreas de Preservação Permanente e Áreas de Reserva Legal. Assim como para a conservação dos manguezais, por meio do poder de polícia ambiental dos órgãos ambientais, através da fiscalização e interrupção de empreendimentos que não atendam às legislações ambientais.

Conclusão

A interseção dos elementos físicos (pedologia, geologia, altimetria e intensidade pluviométrica) e bióticos (uso e cobertura da terra), utilizados para representar a Fragilidade da bacia do Rio Mocajuba, sugerem uma maior proporção da classe Média, seguida de Baixa e Alta, tanto para Fragilidade Potencial como para Emergente. Sendo que as áreas de Não Floresta e Manguezais proporcionaram o incremento da fragilidade

natural (Potencial) devido à alta fragilidade desses ambientes frente às pressões antrópicas. Por outro lado, as áreas de Formação Florestal abrandaram a fragilidade da bacia, devido à proteção que a vegetação proporciona ao solo.

Dessa forma, se faz necessária a fiscalização de atividades em áreas de alta e média Fragilidade Emergente, devido a suas limitações ambientais frente a expansão de atividades antrópicas. Essas áreas de alta e média fragilidade englobam principalmente manguezais e áreas antropizadas (não floresta). Neste último se torna indispensável iniciativas de restauração florestal, atenuando a fragilidade dessas áreas.

Áreas com baixa fragilidade emergente, envolvendo, principalmente, parte dos manguezais e a classe formação florestal devem ser foco de ações de conservação, visando o equilíbrio e manutenção da baixa fragilidade desses ambientes.

Então, ressalta-se a importância da criação de iniciativas governamentais e de demais organizações da sociedade civil voltadas a práticas conservacionistas, nas áreas de Formação Florestal e Manguezais, e à recuperação de áreas degradadas, como as áreas de Não Floresta que se encontram pressionando os manguezais. Sendo que o aumento da fragilidade ocasionada pela expansão das atividades antrópicas poderá comprometer a manutenção dos recursos naturais e biodiversidade.

Os produtos gerados, a partir da aplicação da metodologia de Fragilidade Ambiental na bacia do Rio Mocajuba, permitem um diagnóstico dos fatores limitantes ao uso e ocupação das terras, como altitude, geologia e pedologia com base na Fragilidade Potencial. Assim como identificar áreas prioritárias para conservação e restauração florestal com base na Fragilidade Emergente. Em que esses estudos podem vir a contribuir na gestão da bacia e no planejamento territorial.

Agradecimentos

Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelos recursos destinados a pesquisa. Ao Laboratório de Estudos e Modelagem Hidroambientais (LEMHA) da Universidade Federal do Pará (UFPA) pelo suporte oferecido.

Referências

Abrão, C. M. R., Bacani, V. M., 2018. Diagnóstico da fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do Rio Santo Antônio, Ms: Subsídio ao

Zoneamento Ambiental. Boletim Goiano de Geografia, 38(3), 619-645. Disponível em: <https://doi.org/10.5216/bgg.v38i3.56362>.

Acesso em: 01 out. 2019.

Alongi, D. M., 2008. Mangrove forests: resilience, protection from tsunamis, and responses to global climate change: Estuarine, Coastal and Shelf Science. Estuar. Coast. Shelf Sci., 76(1), 1-13. Disponível em:

<https://doi.org/10.1016/j.ecss.2007.08.024>.

Acesso em: 03 jan. 2019.

Alves, W. S., Martins, A. P., Santos, A. K. F., Moura, D. M. B. (2018) “Análise da fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do Ribeirão Douradinho, sudoeste de goiás”, Geoambiente On-line. Goiânia, (29). Disponível em: 10.5216/revgeoamb.v0i29.47726. Acesso em: 14 abril. 2022.

Back, A. J., Poleto, C., 2017. Avaliação do potencial erosivo das chuvas de Florianópolis-SC. Revista Brasileira de Climatologia, 21, 264-283. Disponível em:

<http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v21i0.49018>.

Acesso em: 16 set. 2019.

Bacani, V. M., Sakamoto, A. Y., Luchiani, A., Quérol, H., 2015. Sensoriamento Remoto e SIG aplicados à avaliação da fragilidade ambiental de Bacia Hidrográfica. Mercator, 14(2), 119-135, 2015. Disponível em:

<http://dx.doi.org/10.4215/RM2015.1402.0008>.

Acesso em: 16 set. 2019.

Braga, F. V. A., Reichert, J. M., Mentges, M. I., Vogelmann, E. S., Padrón, R. A. R., 2015. Propriedades mecânicas e permeabilidade ao ar em topossequência argissolo-gleissolo: variação no perfil e efeito de compressão. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 39(4), 1025-1035. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/01000683rbcs20140724>. Acesso em: 01 out. 2019.

Carvalho, S., Magalhães, M. A. F. M., Medronho, R. A., 2017. Análise da distribuição espacial de casos da dengue no município do Rio de Janeiro, 2011 a 2012. Revista de Saúde Pública, 51, 51-79. Disponível em:

<http://dx.doi.org/10.11606/s1518-8787.2017051006239>.

Acesso em 16 jan. 2020.

Corte, A. P. D., Hentz, A. M. K., Doubrava, B., Sanquetta, C.R., 2015. Environmental fragility of Iguazu river watershed, Paraná, Brazil. Bosque (valdivia), 36(2), 287-297. Disponível em:

- <http://dx.doi.org/10.4067/s0717-92002015000200014>. Acesso em: 01 out. 2019.
- CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos MINERAIS. Geodiversidade do Estado do Pará: Levantamento da Geodiversidade. Belém, 2013, 262 p.
- Crepani, E., Medeiros, J. S., 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, 2001.124 p.
- Dominguez, J. M. L., Bittencourt, A. C. S. P., Leão, Z. M. A. N., Azevedo, A. E. G., 1990. Geologia do Quaternário Costeiro do estado de Pernambuco. Revista Brasileira de Geociências, 20, 208-215. Disponível em: <http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/rbg/article/view/11836/11377>. Acesso em: 07 set. 2019.
- Duarte, J. A. P., Ferreira, G. C., Ruschel, A. R., Mafra, N. A., 2018. Composição e estrutura florística de florestas degradadas e secundárias da mesorregião Sudeste Paraense, PA, Brasil. Biota Amazônia, 8(2), 32-43, 2018. Disponível em: <https://periodicos.unifap.br/index.php/biota/article/view/2626>. Acesso em: 07 set. 2019.
- Ferreira, N. H., Ferreira, C. A. B. V., Gouveia, I. C. M. C., 2016. Mapa de fragilidade ambiental como auxílio para o planejamento urbano e gestão de recursos hídricos. Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista, 12(3), 44-58. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.17271/1980082712320161411>. Acesso em: 31 out. 2019.
- Follmann, F. M., Manfio, J. C., Cruz, R. C., Bohrer, R. E. G., Tiecher, T. L., Luiz, T. B. P., 2018. Determinação da fragilidade ambiental de bacia hidrográfica em relação à atividade suinícola utilizando SIG. Ciência e Natura, 40, 33-44. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5902/2179460x28758>. Acesso em: 07 set. 2019.
- Freitas, P. L., Polidoro, J. C., Santos, H. G., Prado, R. B., Calderano, S. B., Gregoris, G., Manzatto, C. V., Dowichi, I., Bernardi, A. C. C., 2014. Identificação e caracterização físico-química de latossolos de textura arenosa e média na região Oeste da Bahia. Caderno de Geociências, 11. Disponível em: <https://portalseer.ufba.br/index.php/cadgeo/art>
- icle/download/11795/8956. Acesso em: 07 set. 2019.
- Herrera, I. L. I. E., Silva Filho, E. P., Iza, E. R. H. F., Horbe, A. M. C., 2016. Cartografia geológica e geomorfológica de crostas lateríticas na porção Norte do Estado de Rondônia. Revista Brasileira de Geomorfologia. 17(1). Disponível em: <http://www.lsie.unb.br/rbg/index.php/rbg/article/view/880>. Acesso em: 07 set. 2019.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manual técnico da vegetação brasileira: sistema fitogeográfico, inventário das formações florestais e campestres, técnicas e manejo de coleções botânicas, procedimentos para mapeamentos. Rio de Janeiro: IBGE, 2012, 271p.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manual técnico de Pedologia. Rio de Janeiro: IBGE, 2015, 425p.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Bases cartográficas contínuas. 2019. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/bases-cartograficas-continuas/15759-brasil.html?=&t=downloads>. Acesso em: 22 ago. 2019.
- Igawa, T., Maciel, M., 2018. Vulnerabilidade natural à perda de solo na bacia hidrográfica do rio Marapanim, Nordeste paraense. Enciclopédia Biosfera, 15(27), 167-180. Disponível em: http://dx.doi.org/10.18677/encibio_2018a84. Acesso em: 02 out. 2019.
- Joyce, R. J., 2004. CMORPH: A Method that Produces Global Precipitation Estimates from Passive Microwave and Infrared Data at High Spatial and Temporal Resolution. Journal Of Hydrometeorology, 5(3), 487-503. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1175/1525-7541\(2004\)0052.0.co;2](http://dx.doi.org/10.1175/1525-7541(2004)0052.0.co;2). Acesso em: 31 mai. 2019.
- Marcos, A.S.X., Rubira, F.G., Pisani, R.J., 2021. Mapeamento da Fragilidade Ambiental da Bacia do Ribeirão do Escalvado – MG. Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros, Seção Três Lagoas, 1(34), 509-535. Disponível em: <https://doi.org/10.55028/agb-tl.v1i34.14962> Acesso em: 02 abr. 2022.
- Matias, L., Silva, M. D., 2017. Monitoramento e análise da vegetação de manguezal no litoral sul de Alagoas. Journal of Environmental Analysis And Progress, 2(3), 312-319. Disponível em:

- <http://www.journals.ufrpe.br/index.php/JEAP/article/view/1447>. Acesso em: 31 mai. 2019.
- Menezes, F. P., Fernandes, L. L., Rocha, E. J. P., 2015. O Uso da Estatística para Regionalização da Precipitação no Estado do Pará, Brasil. *Revista Brasileira de Climatologia*, 16(11). Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/40023>. Acesso em: 31 mai. 2019.
- Nascimento, M. D., Souza, B. S. P., 2010. Fragilidade ambiental e expansão urbana na região administrativa nordeste da sede do município de Santa Maria, RS. *Ciência e Natura*, 32(2), 163-181. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaenatura/article/view/9491>. Acesso em: 17 jan. 2020.
- Oliveira, U. C., Oliveira, P. S., 2017. Mapas de Kernel como subsídio à gestão ambiental: análise dos focos de calor na bacia hidrográfica do rio Acaraú, Ceará, nos anos 2010 a 2015. *Espaço Aberto*, 7(1), 87-99. Disponível em: <https://doi.org/10.36403/espacoaberto.2017.3473>. Acesso em 16 jan. 2020.
- Oliveira, M. V. C., Henrique, M. C., 2018. No meio do caminho havia um mangue: impactos socioambientais da estrada Bragança-Ajuruteua, Pará. *História, Ciências, Saúde-manguinhos*, 25(2), 497-514. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0104-59702018000200011>. Acesso em: 01 out. 2019.
- Rezzadori, T., Hartmann, M. T., Hartmann, P. A., 2016. Proximidade de rodovias pode influenciar a fragmentação florestal? Um estudo de caso no Norte do Rio Grande do Sul. *Biotemas*, 29(3), 21-28. Disponível em: <https://doi.org/10.5007/2175-7925.2016v29n3p21>. Acesso em: 16 jan. 2020.
- Ross, J.L.S., 1994. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. *Revista do Departamento de Geografia*, 8,63-74. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47327>. Acesso em: 05 set. 2019.
- Ross, J.L.S., 2012. Landforms and environmental planning: potentialities and fragilities. *Revista do Departamento de Geografia – USP, volume especial de 30 anos*, 38-51. <https://doi.org/10.7154/RDG.2012.0112.0003>. Acesso em: 02 abr. 2022.
- Ross, J. L. S., Fierz, M. S. M., 2018. A serra do mar e a planície costeira em São Paulo: morfogênese, morfodinâmica e as suas fragilidades. *Boletim Paulista de Geografia*, 100. Disponível em: <https://www.agb.org.br/publicacoes/index.php/boletim-paulista/article/view/1497>. Acesso em: 05 set. 2019.
- Rovani, F. F. M., Cassol, R., Wollmann, C. A., Simioni, J. P. D., 2015. Análise da vulnerabilidade natural à perda de solo de Barão de Cotegipe, RS. *Geography Department University of São Paulo*, 29, 262-278. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/rdg.v29i0.102085>. Acesso em: 05 set. 2019.
- Rahman, A., Samiullah, Shaw, R., 2017. Fragile Mangroves and Increasing Susceptibility to Coastal Hazards in Pakistan. *Disaster Risk Reduction*, 17-30. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1007/978-4-431-56481-2_2. Acesso em: 31 out. 2019.
- Santos, J. O., 2015. Relações entre fragilidade ambiental e vulnerabilidade social na susceptibilidade aos riscos. *Mercator*, 14(2), 75-90. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4215/rm2015.1402.0005>. Acesso em: 01 out. 2019.
- Santos, L. A. C., Batista, A. C., Neves, C. O. M., Carvalho, E. V., Santos, M. M., Giongo, M., 2017. Análise multitemporal do uso e cobertura da terra em nove municípios do Sul do Tocantins, utilizando imagens Landsat. *Revista Agro@mbiente*, 11(2), 111-118. Disponível em: <https://doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v11i2.3915>. Acesso em: 17 jan. 2020.
- Santos, J. R. U., Marchioro, E., 2020. Análise Empírica da Fragilidade Ambiental da bacia hidrográfica do rio Duas Bocas, Espírito Santo, Brasil. *Revista do Departamento de Geografia*, 39, 72-87. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/rdg.v39i0.160946>. Acesso em: 31 mar. 2021.
- Silva, L. F., Bacani, V. M., 2017. Análise da fragilidade ambiental e das áreas de preservação permanente da bacia hidrográfica do córrego fundo, município de Aquidauana-MS. **Caderno de Geografia**, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, 27(49), 264-284. Disponível em: <http://periodicos.pucminas.br/index.php/geografia/article/>. Acesso em: 01 out. 2019.
- Silva, E. R. A. C. S., Assis, D. R. S., Silva, J. F., Melo, J. G. S., Galvêncio, J. D., 2018. Análise espaço-temporal das características do mangue urbano no estuário do Pina (Pernambuco).

- Revista Brasileira de Meio Ambiente, 1(1), 30-38. Disponível em: <https://revistabrasileirademeioambiente.com/index.php/RVBMA/article/view/7>. Acesso em: 01 out. 2019.
- Silva, R. O., Silva, D. S., Souza, R. M., Diniz, M. T. M., 2019. Análise comparativa da evolução da planície costeira da praia do Abaís entre os anos 1984 e 2016. Revista Brasileira de Geografia Física, 12(1), 170-186. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/237722>. Acesso em: 31 out. 2019
- Soares, C. B. R., Martins, A. P., 2021. Análise empírica da fragilidade ambiental na microrregião Rio Vermelho (GO). Revista GeoSul, 36 (80), 68-94. Disponível em: <https://doi.org/10.5007/2177-230.2021.e74266>. Acesso em: 15 abr. 2022.
- Souza, E. G. S., Rebelato, M. G., 2021. Avaliação da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Baixo Mogi com uso da geotecnologia. Brazilian Journal of Animal and Environmental Research, 4 (1), 411-426. Disponível em: 10.34188/bjaerv4n1-036. Acesso em: 15 abr. 2022.
- Souza, D. S.L., Dellargine, F. L., Mira, Í. R. C., Silva, G. T. G., Silva, M. L., 2020. Análise e Mapeamento da Fragilidade Ambiental no Município de Inconfidentes – MG. Revista Brasileira de Geografia Física, 13 (5), 2269-2292. Disponível em: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.5.p2269-2292>. Acesso em: 14 abr. 2022.
- Traficante, D. P., Campos, S. Manzione, R. L., Rodrigues, B. T., 2017. Fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Capivara, Botucatu-SP. Energia na Agricultura, 32(1), 88-95. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.17224/EnergAgric.2017v32n1p88-95>. Acesso em: 01 out. 2019.
- Teles, G. C., Pimentel, M. A. S., 2015. A nova perspectiva de geossistema, proposta por Bertrand, aplicada a bacia hidrográfica do rio Mocajuba - Nordeste Paraense. Boletim Campineiro de Geografia, 5(2), 381-389. Disponível em: http://agbcampinas.com.br/bcg/index.php/boletimcampineiro/article/view/239/2015v5n2_GTeles. Acesso em: 31 mai. 2019.
- Teles, G. C., Pimentel, M. A. S., 2018. Análise de conflitos socioambientais nas reservas extrativistas de São João da Ponta e Curuçá – PA. Geoambiente, 31, 193-211. Disponível em: <https://doi.org/10.5216/revgeoamb.v0i31.48852>. Acesso em: 30 mar. 2019.
- Valle, I. C., Francelino, M. R., Pinheiro, H. S. K., 2016. Mapeamento da fragilidade ambiental na bacia do rio Aldeia Velha, RJ. Floresta e Ambiente, 23(2), 295-308. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.107714>. Acesso em: 05 set. 2019.
- Vick, E. P., Silva, E. R. S., Bacani, V. M., Lima, C. G. R., Peluco, A. A., Gradella, F. S., Decco, H. F., de Oliveira, V. F. R., Ferreira Neto, M., Brito, R. M., 2021. Avaliação da Fragilidade Ambiental como Subsídio para Gestão Ambiental na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Beltrão – MS. Revista GEO UERJ, 39. Disponível em: 10.12957/geouerj.2021.44364. Acesso em: 15 abr. 2022.
- Vieira, R. S., Ferreira, E. P., Rolim Neto, F. C., Oliveira, E. M., Braga, S. E., 2021. Fragilidade ambiental emergente da bacia hidrográfica do rio Santa Maria do Doce – ES, Brasil. Revista Brasileira de Geografia Física, 14 (3), 1253-1267. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/249403>. Acesso em: 29 mar. 2022.
- Tricart, Jean. Ecodinâmica. Rio de Janeiro: IBGE, Diretoria Técnica, SUPREN, 1977. p. 91.