

MAPEAMENTO DO USO, OCUPAÇÃO E FRAGILIDADE AMBIENTAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIACHO MADEIRA CORTADA, SUB-BACIA DO ALTO JAGUARIBE (CEARÁ)

Maria Vitória Rodrigues **LOPES**
Geógrafa pelo Instituto Federal do Ceará (IFCE) *campus* Iguatu.
E-mail: vitoriarodrigues.web@gmail.com
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8268-6119>

Francisco Nataniel Batista de **ALBUQUERQUE**
Professor do Instituto Federal do Ceará (IFCE) *campus* Iguatu e do Programa de
Pós-graduação em Geografia da Universidade Estadual Vale do Acaraú (PROPGEO-UVA).
E-mail: nataniel.albuquerque@ifce.edu.br
Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8588-2740>

José Falcão **SOBRINHO**
Professor do Programa de Pós-graduação em Geografia da
Universidade Estadual Vale do Acaraú (PROPGEO-UVA).
E-mail: falcao.sobral@gmail.com
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-7399-6502>

Recebido
Outubro de 2023

Aceito
Outubro de 2023

Publicado
Março de 2024

Resumo: Os estudos em bacias hidrográficas são cada vez mais presentes e proporcionam uma melhor visão ecossistêmica do todo (BOTELHO; SILVA, 2004), assim, estes subsidiam a elaboração de planejamentos ambientais. Nesse contexto, a pesquisa tem como objetivo analisar a evolução dos processos de produção de fragilidades ambientais na bacia hidrográfica do riacho Madeira Cortada, sub-bacia do rio Jaguaribe, Ceará. No levantamento de fragilidade ambiental, foi utilizada a metodologia de Ross (1994) com adaptações colocadas por Bezerra et al. (2016) para o Semiárido Brasileiro. Verificou-se que, na bacia, a pecuária possui uma tendência crescente em detrimento do cultivo de lavouras temporárias à medida que, no período analisado, o percentual de vegetação densa, de acordo com os padrões da Caatinga, foi diminuindo. Para esta, foram constatados os mais altos níveis potenciais e emergentes de fragilidade localizados no extremo norte e no sul da bacia, sendo as áreas de fragilidade potencial mais alta ligadas à pedologia e litologia da bacia, que possuem grandes áreas

vulneráveis. Para fragilidade emergente, foi seguido o padrão do potencial quanto à concentração no extremo norte e no sul da bacia, sendo em sua maioria áreas onde, na análise de uso e ocupação, foram classificadas como solo exposto.

Palavras-chave: uso/ocupação da terra; fragilidade ambiental; bacia hidrográfica. planejamento ambiental; ordenamento territorial.

MAPPING OF USE, OCCUPATION AND ENVIRONMENTAL FRAGILITY IN THE RIACHO MADEIRA CUTADA WATER BASIN, ALTO JAGUARIBE SUB-BASIN (CEARÁ)

Abstract: Os estudos em bacias hidrográficas são cada vez mais aderidos e proporcionam uma melhor visão ecossistêmica do todo (BOTELHO; SILVA, 2004), assim, esses subsidiam a elaboração de planejamentos ambientais. Nesse contexto a pesquisa tem como objetivo analisar a evolução dos processos de produção de fragilidades ambientais na bacia hidrográfica do riacho Madeira Cortada, sub-bacia do rio Jaguaribe, Ceará. No levantamento de fragilidade ambiental foi utilizada a metodologia de Ross (1994) com adaptações colocadas por Bezerra *et al* (2016) para o Semiárido Brasileiro. Verificou-se que na bacia a pecuária possui uma tendência crescente em detrimento do cultivo de lavouras temporárias à medida que no período analisado o percentual de vegetação densa, de acordo com os padrões da caatinga, foi diminuindo. Para essa foram constatados os mais altos níveis potenciais e emergente localizados no extremo norte e no sul da bacia, sendo as áreas de fragilidade potencial mais altas ligadas a pedologia e litologia da bacia que possuem grandes áreas vulneráveis. Para fragilidade emergente foi seguido o padrão do potencial quanto a concentração no extremo norte e no sul da bacia, sendo em sua maioria áreas onde na análise de uso e ocupação foram classificadas como solo exposto.

Palavras-chave: uso/ocupação da terra; fragilidade ambiental; bacia hidrográfica; planejamento ambiental; ordenamento territorial.

MAPEO DE USO, OCUPACIÓN Y FRAGILIDAD AMBIENTAL EN LA CUENCA DEL RIACHO MADEIRA CUTADA, SUBCUENCA DEL ALTO JAGUARIBE (CEARÁ)

Resumen: Los estudios en cuencas hidrográficas están cada vez más presentes y proporcionan una mejor visión ecossistémica del conjunto (BOTELHO; SILVA, 2004), apoyando así el desarrollo de la planificación ambiental. En este contexto, la investigación tiene como objetivo analizar la evolución de los procesos que producen debilidades ambientales en la cuenca del río Madeira Cortada, subcuenca del río Jaguaribe, Ceará. En el estudio de la fragilidad ambiental se utilizó la metodología de Ross (1994) con adaptaciones realizadas por Bezerra *et al.* (2016) para el Semiárido brasileño. Se constató que, en la cuenca, la ganadería tiene tendencia creciente en detrimento de los cultivos temporales, ya que, durante el período analizado, disminuyó el porcentaje de vegetación densa, según los estándares de la Caatinga. Para esto, se encontró que los niveles más altos de fragilidad potencial y emergente se ubican en los extremos norte y sur de la cuenca, estando las áreas de mayor fragilidad potencial ligadas a la edafología y litología de la cuenca, que cuentan con grandes áreas vulnerables. Para la fragilidad emergente, el patrón potencial se siguió en términos de concentración en los extremos norte y sur de la cuenca, la mayoría de las cuales fueron áreas donde, en el análisis de uso y ocupación, se clasificaron como suelos expuestos.

Palabras clave: uso/ocupación del suelo; fragilidad ambiental; cuenca hidrográfica; planificación ambiental; la planificación del uso del suelo.

INTRODUÇÃO

No Semiárido brasileiro, a ocorrência de degradações irreversíveis ou graves, como a desertificação ou empobrecimento dos solos (Sá; Angelotti, 2009), e processos de formação de voçorocas não são raros (Albuquerque, 2006), ocasionando danos a outros recursos como os hídricos, sejam correntes ou barrados, que possuem grande importância, excepcionalmente no Nordeste brasileiro, que regularmente passa por secas, fator que contribui para degradação dos solos, principalmente quando associado ao manejo inadequado e as características da pedologia nordestina com solos rasos, possuindo pouca capacidade de retenção em sua maior parte (Falcão Sobrinho, 2007), onde se encontra, por exemplo, a bacia do riacho Madeira Cortada, o objeto de estudo desta pesquisa.

A bacia hidrográfica do Riacho Madeira Cortada, afluente do Rio Jaguaribe no seu alto curso, situa-se em meio à superfície sertaneja do interior cearense, precisamente em parte dos municípios de Acopiara e Quixelô. A presente pesquisa vem a subsidiar os planejamentos ambientais que, a partir do conhecimento das capacidades e limitações do meio, devem regular a ocupação da terra para que cada tipo/uso se localize em áreas adequadas, proporcionando menor potencial de danos ao meio ambiente.

A área em estudo consiste na bacia hidrográfica do riacho Madeira Cortada, que ocupa uma área de 191 km², fazendo parte da sub-bacia do alto Jaguaribe, sendo tributária direta deste, desaguando diretamente no açude Orós, o segundo maior reservatório hídrico do Ceará. A bacia, assim como diversas outras áreas do semiárido e a sub-bacia que está inserida – Bacia do açude Orós, enfrenta problemas com os altos índices de desmatamento, como demonstram Frota e Nappo (2012), atividade com potenciais danos ambientais que se intensificam quando em conjunto a características físico-climáticas do sertão nordestino. Dessa forma, torna-se de fundamental importância a identificação de áreas onde a intercessão desses aspectos se dá, tornando-as ainda mais vulneráveis à degradação para que em seguida possam ser protegidas ou até mesmo recuperadas.

Além disso, é importante lembrar que a bacia em questão compreende parte de dois municípios, incluindo ao menos dois pequenos núcleos populacionais e residências espalhadas ao longo da área formando os diversos sítios inclusos pela drenagem do riacho Madeira Cortada e seus tributários. A maior parte, se não todos os logradouros presentes na área, utilizam-se de recursos hídricos da própria bacia, sejam eles superficiais ou subterrâneos. Tal fator torna ainda

mais urgente o desenvolvimento de ações que visem à suspensão de manejos degradantes dos recursos, pois, como expressa Augustin (2008, p. 381), “os recursos naturais podem ser vistos sob uma ótica de integração, em especial os recursos naturais primários, aqueles necessários para a sobrevivência do homem: água, solo e ar [...]”. Portanto, a proteção dos solos do Semiárido está diretamente associada à manutenção da cobertura vegetal da Caatinga, mesmo das formações de porte arbustivo (Albuquerque; Costa, 2012).

A proteção desses recursos se torna indispensável principalmente para os habitantes da área em questão, que, assim como em muitas outras localidades distantes das estruturas de abastecimento hídrico urbanas de suas sedes municipais, mantém forte dependência dos recursos naturais mais próximos, sendo neste caso os da própria bacia, tanto a água como o solo, e estes tanto para a agricultura como também para a pecuária. Dessa forma, a perda da qualidade de tais recursos vem a causar grandes negativos impactos, como a falta de acesso a águas de boa qualidade e empobrecimento do solo, o que em zonas rurais, mesmo no Semiárido, impacta negativamente na geração de renda e subsistência, sendo também um negativo impacto social.

Dessa forma, o presente trabalho tem por finalidade compreender a evolução dos processos de uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica do riacho Madeira Cortada durante o período de 2006 a 2022, efetuando também uma análise conjunta dos processos de produção de fragilidades ambientais, identificando assim as áreas naturalmente expostas à vulnerabilidade ambiental a partir das características do meio físico-natural, ou seja, a fragilidade potencial (ROSS, 1994) e também aquelas causadas/agravadas pela ação humana a partir das formas de uso e ocupação que se estabelecem no período de 2006 à atualidade, sendo a fragilidade emergente de acordo com Ross (1994).

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O conceito bacia hidrográfica vem sendo cada vez mais adotado em estudos ambientais (Botelho; Silva, 2004). A opção pelo uso dessa unidade espacial não é aleatória, pois, como expressa a Política Nacional dos Recursos Hídricos em seu art. 1º e inciso V: “a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos” (Brasil, 1997, p.1).

Tal conceito é também de grande relevância no que se refere a todos os outros elementos naturais, no entanto, para fins de estudos ambientais, são também usados outros recortes

espaciais, como exemplo, o zoneamento ecológico-econômico (ZEE), instrumento da Política Nacional do Meio Ambiente. Por outro lado, a legislação do país fornece requisitos para a designação das áreas com finalidade a estudos/aplicações ambientais, tal como esclarece a Política Nacional de Biodiversidade em seu princípio XVII:

a gestão dos ecossistemas deve buscar o equilíbrio apropriado entre a conservação e a utilização sustentável da biodiversidade, e os ecossistemas devem ser administrados dentro dos limites de seu funcionamento (Brasil, 2002, p. 2).

Ao elucidar “dentro de seus limites de funcionamento”, a Política Nacional de Biodiversidade prevê unidade territorial para gestão dos ecossistemas, o que abrange pesquisas e planejamentos na área; os ecossistemas envolvem todos os elementos do meio, estando eles em funcionamento conjunto. Nesse enredo, Silva e Botelho (2004) defendem que na bacia hidrográfica é possível reconhecer e avaliar os diversos elementos que a compõem e os processos e interações entre esses. Dessa forma, a bacia hidrográfica permite a análise integral dos ecossistemas que abrange, sendo, por esse motivo, definida pela Política Nacional do Meio Ambiente como unidade de estudo e gestão (Brasil, 1981), proporcionando maiores vantagens quanto à pesquisa, conservação e gestão dos recursos naturais.

Nessa narrativa, a Teoria Geral dos Sistemas, proposta pelo biólogo Ludwig von Bertalanffy, em 1901, também possui grande peso na análise do meio, assim como em diversas áreas de outras ciências que a absolveram. Nela entende-se que os sistemas podem ser definidos como conjuntos de elementos com variáveis e características diversas, que mantêm relações entre si e entre o meio ambiente (Rodrigues, 2001). A partir do entendimento do meio como espacialidade dotado de sistemas, surge a Ecodinâmica e a compreensão sobre os Geossistemas, teorias essas que tiveram grande influência na elaboração da metodologia de Ross (1994) aqui utilizada.

Os conceitos de fragilidade colocados em Ross (1990) relacionam-se com a Teoria Geral dos Sistemas à medida que deriva do entendimento das unidades ecodinâmicas, tendo seu método embasado na análise integrada. Assim sendo, infere-se que o método citado parte do pressuposto de que

os sistemas ambientais são integrados por variados elementos que mantêm relações mútuas entre si e são continuamente submetidos aos fluxos de matéria e de energia. Cada sistema representa uma unidade de organização do ambiente natural. Em cada sistema, verifica-se, comumente, um relacionamento harmônico entre seus componentes e eles são dotados de

potencialidades e limitações próprias sob o ponto de vista de recursos ambientais. Como tal, reagem também de forma singular no que tange às condições de uso e ocupação (Souza, 2009, p.16).

Nesse enredo, torna-se necessária a explicação de que a aplicação em tal método utilizado, além de estar fortemente ligada ao entendimento sistemático geral do meio ambiente, também se correlaciona e deriva ao conceito de paisagem, sendo essa “uma determinada porção do espaço, o resultado da combinação dinâmica, portanto instável, de elementos físicos, biológicos e antrópicos que, reagindo dialeticamente uns sobre os outros, fazem da paisagem um conjunto único e indissociável, em perpétua evolução” (Bertrand, 1969, p. 141). Tais combinações originam uma série de atributos a cada parcela da paisagem analisada, permitindo, em primeiro momento, a análise individual e depois integrada dessas categorias, a identificação das vulnerabilidades dela.

Ainda segundo Bertrand (1968), é colocado que a delimitação da paisagem se dá de acordo com a escala de observação. Nessa interseção temos que a bacia hidrográfica é um recorte espacial para análise da paisagem, ela é nas ciências, não mais apenas na Geografia, entendida como célula básica de análise ambiental por ambas as singularidades supramencionadas (Botelho; Silva, 2004), e sua caracterização é dada quase que em consenso, sendo definida por Barrella *et al.* (2007) como um

conjunto de terras drenadas por um rio e seus afluentes, formadas nas regiões mais altas do relevo por divisores de água, onde as águas das chuvas ou escoam superficialmente formando riachos e rios, ou infiltram no solo para formação de nascentes e do lençol freático (Barrella, W. *et al.*, 2007 *apud* Teodoro *et al.*, 2007, p. 140).

As diversas expressões espaciais de bacias hidrográficas são propícias ao desenvolvimento de estudos ambientais, sendo a microbacia a mais sensível quanto à observação de impactos ou alterações no meio. A partir de pesquisa, é possível a identificação de fragilidades ambientais para ser feita então sua inclusão em planejamentos ambientais, visando à atenuação dos processos degradantes ao meio, e dependendo dos objetivos do projeto, até mesmo a recuperação de áreas degradadas. Carvalho (2014) defende que esse planejamento ambiental esteja incluso no planejamento territorial, visto que no Brasil poucas práticas são encontradas em relação ao planejamento territorial de áreas rurais a nível municipal (Santos, 2014).

Observa-se que o planejamento ambiental, o qual utiliza, de alguma forma, a identificação das fragilidades ambientais, permite não somente o diagnóstico de nível de

degradação existente, mas também subsidia o ordenamento territorial de forma a evitar a geração de novos danos ao meio, podendo até mesmo promover a recuperação dos existentes, pois, assim como ressalta Sprol (2001), o conhecimento dos níveis de fragilidade presentes em uma bacia hidrográfica, dado por meio da integração de diversas variáveis que interferem nas potencialidades dos recursos naturais, possibilita compreender a realidade e obter uma visão mais clara sobre quais são as opções mais adequadas para o uso da terra.

Esse conhecimento possibilita uma ocupação com menos impactos ambientais negativos e uso mais eficiente do solo e dos recursos naturais, que aponta Santos (2004) ser a principal finalidade de um planejamento ambiental. No entanto, a autora esclarece que muitas vezes a implantação desses planos perpassa por dificuldades em diferentes níveis políticos, o que afeta diretamente a eficácia da execução.

METODOLOGIA

Área de estudo

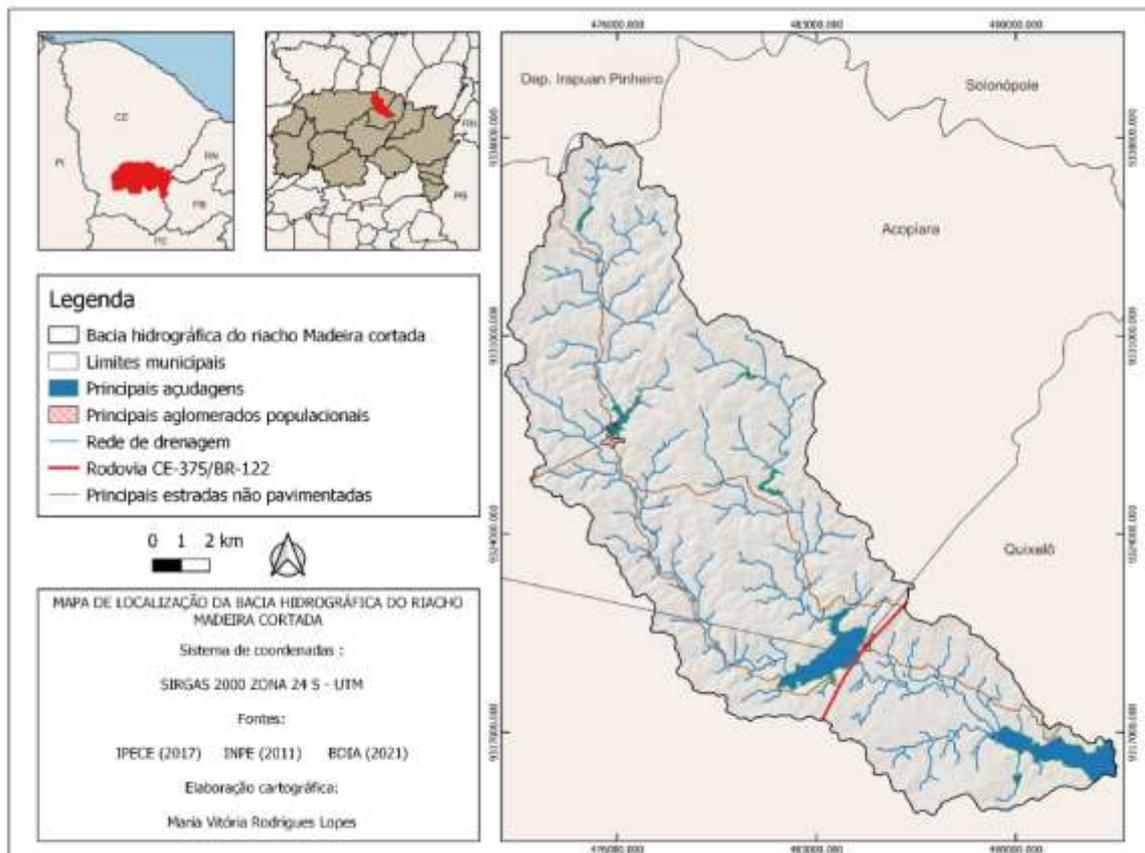
A bacia hidrográfica do riacho Madeira Cortada, objeto de estudo desta pesquisa, localiza-se na mesorregião centro-sul do Ceará, fazendo parte da sub-bacia do alto Jaguaribe, possuindo uma área de 191,355 km², que se distribui em parte dos municípios de Acopiara e Quixelô (Figura 1), contendo alguns importantes reservatórios hídricos que abastecem ou dão suporte ao abastecimento da vila e comunidades existentes ao longo de sua extensão. Além disso, a bacia do Riacho Madeira cortada é afluente direta do rio Jaguaribe ainda em seu alto curso, tendo exutório diretamente na bacia hidráulica do açude Orós, maior reserva hídrica de todo o alto Jaguaribe e segunda maior do estado (Cogerh, 2018).

Na área predominam atividades econômicas como a agropecuária com produção de subsistência durante o período chuvoso de espécies como milho e feijão com cultivo também de cana-de-açúcar e capins direcionados para a alimentação de bovinos. Como o plantio majoritariamente se restringe ao período chuvoso, é comum o uso de uma mesma área para plantio durante a quadra chuvosa e como pastagem durante o período do ano marcado pela ausência de chuvas característico do semiárido, sendo essas áreas, para fins práticos, consideradas mais a frente como capoeiras.

A população presente na bacia se distribui entre residências isoladas ao longo das diversas localidades e na forma de aglomerados, sendo os mais expressivos a vila Umari e a comunidade Mulungu, que fazem parte dos municípios de Acopiara e Quixelô, respectivamente. Observa-se ainda que, nesse recorte espacial, a renda dos habitantes vem a ser

composta por proventos de aposentadorias e programas governamentais de distribuição de renda, sendo atualmente a agropecuária outra importante fonte de renda que impulsiona o comércio local.

Figura 1 – Mapa de localização da bacia hidrográfica do riacho Madeira Cortada.



Fonte: IPECE (2017); INPE (2011); BDIA (2021). Elaboração: Maria Victória R. Lopes (2023).

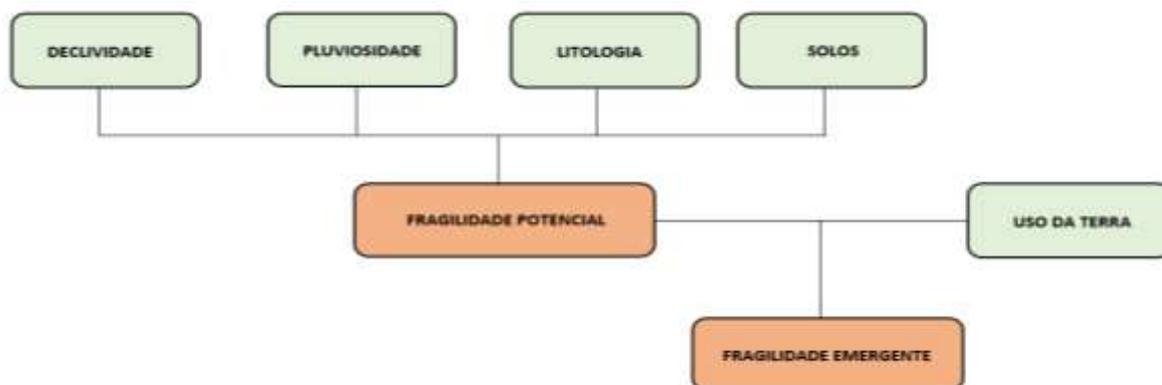
A produção derivada da agropecuária é na região impulsionada pelo mercado do leite, que vem aumentando substancialmente a sua presença, com a existência de pequenos e médios produtores, os quais, direta ou indiretamente, repassam sua produção à indústria de lácteos. Com a pecuária, além da produção leiteira, é existente também a produção de gado para corte. As atividades econômicas presentes na bacia refletem diretamente em sua paisagem, com a ampliação do desmatamento, abrindo espaço para o pastoreio.

Procedimentos metodológicos

Na pesquisa em questão, são destacadas as fragilidades ambientais potenciais e emergentes propostas nas metodologias de Ross (1994, 1996), Massa e Ross (2012) e já aplicadas em outros trabalhos (Sporl, 2001; Bezerra *et al.*, 2016; Gonçalves, 2011; Kawakubo

et al., 2005). As categorias analisadas para mapeamento foram as mesmas utilizadas em Bezerra et al. (2016), declividade, pluviosidade, solos e uso da terra, com inserção da categoria geologia (Figura 2).

Figura 2 – Fluxograma metodológico de mapeamento das fragilidades potencial e emergente.



Fonte: Organização dos autores (2023).

A classificação do uso da terra foi realizada de maneira supervisionada. Para isso, foi utilizado o complemento dezetsaka do SIG Qgis 3.22 com imagens dos satélites LANDSAT 8 e 5 – obtidas por meio da plataforma Earth Explorer da United States Geological Survey - USGS, com resolução espacial de 30m, para os períodos de 2022 e 2006, respectivamente.

Na identificação da fragilidade ambiental, a categoria uso da terra é utilizada para se determinar a fragilidade emergente, sendo sobreposta a todas as outras categorias (Figura 01). Nessa sobreposição, é utilizado o levantamento de uso da terra em 2022, obtendo assim a espacialidade das fragilidades emergentes na área de estudo a partir do somatório e classificação dos pesos atribuídos a cada produto intermediário colocado em sobreposição.

O segundo fator espacializado consiste na geologia da bacia hidrográfica. Para tal, foi utilizado o material do Serviço Geológico do Brasil – CPRM (2004) a fim de identificar quais são as formações geológicas mais e menos estáveis dado pelo seu grau de coesão. Dessa forma, a partir da comparação entre as diferentes litologias encontradas na área de estudo, foram estabelecidas as relações em escala de fragilidade à denudação, ou seja, à erosão (CrepanI *et al.*, 2001).

Para mapeamento dos solos, utiliza-se a base espacial de solos, disponibilizada pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – FUNCEME (1972), sendo rasterizado por meio da opção “converter” do Qgis 3.22 e, em seguida, atribuídos os pesos.

A atribuição de pesos para os solos encontrados na área de estudo é realizada com base na metodologia de Crepani *et al.* (2001), que leva em conta o grau de maturidade do solo e nível de desenvolvimento. É importante ressaltar que, na classificação dada por Crepani *et al.* (2001), todos os tipos de solos estão entre os níveis de mais alta vulnerabilidade, sendo apenas os Argissolos enquadrados no segundo nível, enquanto todos os outros ocupam o nível de mais forte. Para diferenciação da fragilidade nos solos inseridos na mesma classe de vulnerabilidade de Crepani *et al.* (2001), utiliza-se das colocações de Lepsch (2002) a respeito do nível de maturidade desses solos e tipos de relevo que mais comumente ocupam, ficando assim a adaptação da classificação basilar.

Na análise da pluviosidade na área, são interpolados dados de pluviômetros monitorados pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME), que se encontram mais próximos da bacia em questão. Vista a inserção da bacia no semiárido, possuindo essas características pluviométricas semelhanteem toda sua extensão, gera-se um produto intermediário de pluviometria de peso uniforme, correspondendo as características do semiárido que se encaixam no mais alto nível de fragilidade, assim como definido no trabalho de Bezerra *et al.* (2016) também executado em região semiárida.

O produto intermediário de declividade foi adquirido a partir da plataforma TOPODATA com resolução espacial de 30 m. Ressalta-se ainda que se optou pelo uso da declividade, mesmo que em contraditório ao indicado por Ross (1994) para escalas tidas como de menor detalhe por especificidades da área de estudo como ausência de declives muito expressivos.

A partir da sobreposição dos produtos intermediários já explicitados chega-se ao mapa de fragilidade ambiental potencial, possuindo cinco classes de fragilidade: (1) Muito baixa; (2) Baixa; (3) Média; (4) Forte; e (5) Muito forte (Quadro 1). O processo de sobreposição dos produtos já descritos rasterizados e reclassificados teve como base a soma dos pesos colocados. Em seguida, realiza-se uma nova classificação para que assim se chegue às classes finais de fragilidade potencial e emergente.

Quadro 1 – Classificação para somas finais de fragilidade.

Fragilidade Potencial	Fragilidade Emergente	Descrição das classes
04	02	1 Muito Fraca
04 a 08	02 a 04	2 Fraca
08 a 12	04 a 06	3 Média
12 a 16	06 a 08	4 Forte
16 a 20	08 a 10	5 Muito Forte

Fonte: Adaptado de Bezerra *et al.* (2016).

A fragilidade emergente, por sua vez, é obtida a partir da justaposição do produto de fragilidade potencial anteriormente adquirido com produto intermediário de classificação de uso e ocupação da BHMC no primeiro semestre de 2022. Dessa forma, cada um desses produtos intermediários possui peso de 50% no produto final, ou seja, na fragilidade emergente da BHMC.

A observação da fragilidade ambiental se dá mediante a exposição dos produtos finais e informações das fragilidades potencial e emergente na bacia encontrada, juntamente a considerações feitas sobre a área de estudo em correlação com a bibliografia nessa pesquisa acessada.

FRAGILIDADE AMBIENTAL DA BACIA DO RIACHO MADEIRA CORTADA

As atividades produtivas que são inseridas no Semiárido Brasileiro sem o devido planejamento e adaptação de manejo não obstante têm sido a causa de degradações nesse meio, como mostram Sá e Angelloti (2009). Tais atividades sustentam uma comunidade por período limitado sem a adoção de tipos de manejo adequado, o que posteriormente desemboca em não apenas dano ambiental, mas também social e econômico.

Nesse viés, o método, inicialmente aplicado em Ross (1994), inclui a exploração do meio de acordo com suas potencialidades e ressalta fortemente a identificação das fragilidades. Segundo o autor, “é cada vez mais urgente que se faça inserções antrópicas absolutamente compatíveis com a potencialidade dos recursos de um lado e com a fragilidade dos ecossistemas ou ambientes naturais de outro” (Ross, 1994, p. 65).

Em análise prévia da dinâmica de uso e ocupação na área de estudo, verificou-se a tendência crescente de usos, os quais incrementam a fragilidade do meio, deixando principalmente os solos desprotegidos, o que pode permitir uma série de efeitos erosivos degradantes do meio. O grau de perigo à degradação dessas áreas depende da soma de todas as variáveis do ambiente, o que abrange uma série de elementos nele encontrado, como os solos, o tipo de cobertura, o clima, a litologia, o relevo, dentre outras categorias que podem ser incluídas a fim de trazer ainda mais precisão a esse processo. Isso se explica pelo fato de que

[...] a valorização do relevo/ declividade (1º. dígito) no modelo proposto por ROSS, define uma fragilidade muito forte para uma área muito dissecada, mas em contrapartida as demais variáveis podem amenizar sua vulnerabilidade, ou ainda, determinar uma fragilidade muito fraca para uma área de relevo estável, porém com a vulnerabilidade acentuada, pela influência das demais variáveis (Massa; Ross, 2012, p.76).

Torna-se importante ainda ressaltar que tais conceitos e desenvolvimento do método nessa pesquisa aplicado derivam da Ecodinâmica de Tricart (1977), na qual Ross (1990)

[..] inseriu novos critérios para definir as unidades ecodinâmicas instáveis e unidades ecodinâmicas estáveis. [...] Deste modo as Unidades Ecodinâmicas Estáveis, apresentam-se como Unidades Ecodinâmicas de Instabilidade Potencial em diferentes graus, tais como as de Instabilidade *Emergente*, ou seja, muito fraca a muito forte (Ross, 1994, p. 66).

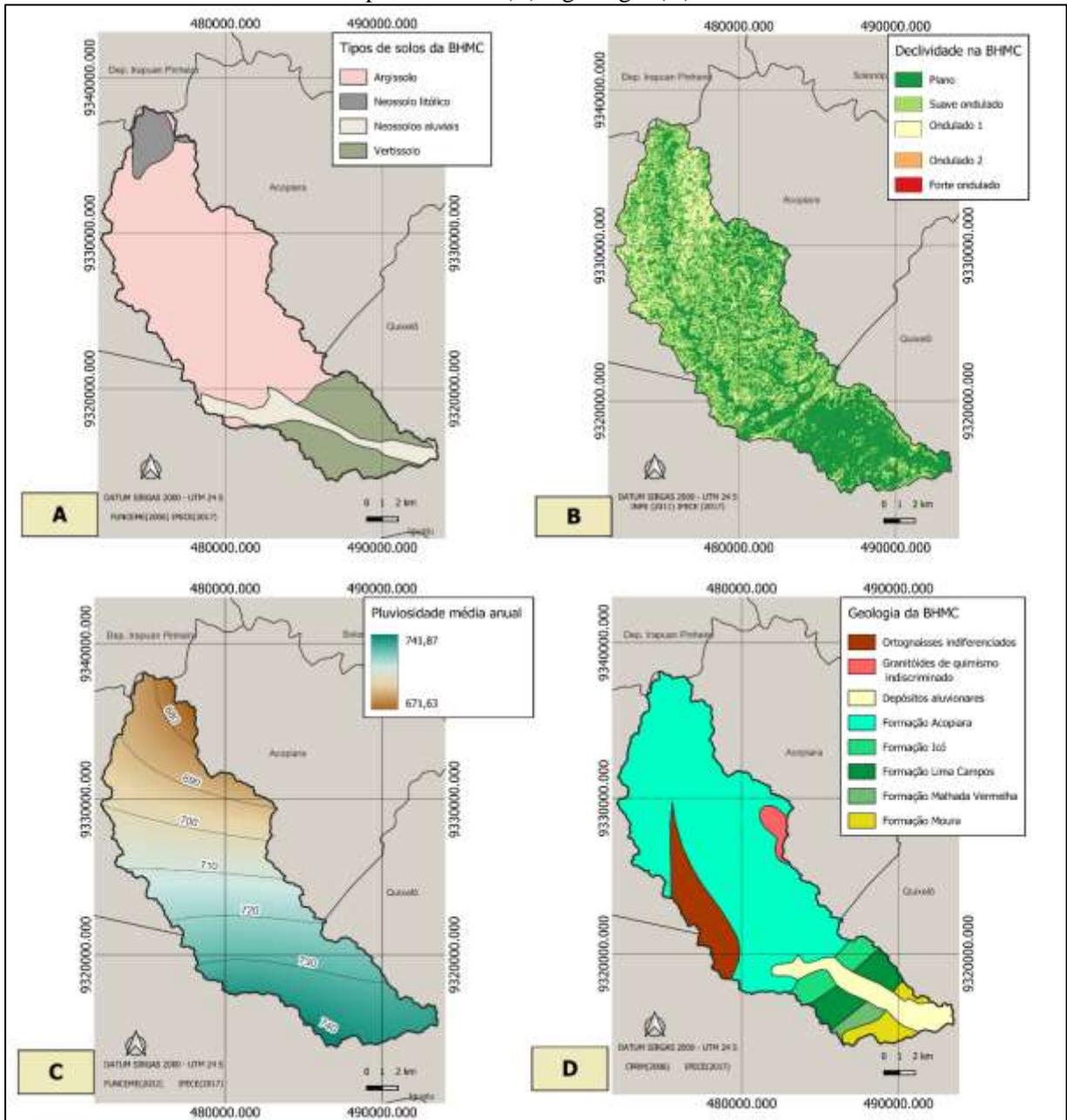
Dessa forma, a adoção de diversas variáveis para identificação da fragilidade ambiental tem por subsídio teórico o *ecossistema*, que é entendido como “um conjunto de seres vivos mutuamente dependentes uns dos outros e do meio ambiente no qual eles vivem” (Tansley, 1934 *apud* Tricart, 1977, p.17). Entende-se nesse enredo, portanto, a bacia hidrográfica como recorte espacial que envolve um ecossistema e onde é possível observar mais facilmente as relações entre seus elementos, assim como indica Silva e Botelho (2004), e é compreendido pela legislação brasileira que entende a bacia hidrográfica como unidade de gestão e estudos ambientais.

Na presente pesquisa, foram utilizados os produtos intermediários de pedologia, pluviometria, declividade e litologia (Figura 3) para identificação dos níveis de fragilidade ambiental potencial na área de estudo. As quatro variáveis possuem níveis máximos de peso para a fragilidade, e algumas não possuem valores correspondente a nível mínimo, o que já indica previamente que os níveis de fragilidade potencial na bacia não são majoritariamente baixos, em uma análise de fragilidade intrabacia, ou seja, numa comparação de níveis de fragilidade ambiental dentro da bacia hidrográfica do riacho Madeira cortada, não se aplicando, nessa pesquisa, comparações com áreas fora da bacia.

Os solos encontrados na área de estudo foram classificados de nível de baixa a muito alta fragilidade, não havendo nessa categoria o nível de muito baixa fragilidade. A classificação foi feita com base nas pesquisas de Crepani *et al.* (2001), Lepesh (2002) e informações pedológicas da área fornecidas por material do BDIA (2021). Na área foram encontrados quatro tipos de solos, que possuem diferentes origens, o que reflete em diferentes graus de vulnerabilidade a degradação (Quadro 2).

Como se observa, a classe de muito forte vulnerabilidade de solos é a que possui menor área na bacia de acordo com mapeamento realizado pela FUNCEME (1972). Esse tipo de solo localiza-se no alto curso da bacia hidrográfica, abrangendo áreas de nascentes, acumulando dessa maneira fatores de vulnerabilidade acentuada, o que será exposto mais à frente.

Figura 3 – Mapas dos produtos intermediários: solos (A), declividade (B), pluviosidade (C) e geologia (D).



Fonte: Elaboração dos autores (2023).

Dessa forma, os Neossolos Litólicos são considerados frágeis pelo fato de “estes solos não terem [...] horizonte B por serem jovens, ainda em fase inicial de formação, quase sempre situados em relevo com encostas íngremes, nas quais a velocidade da erosão é igual ou maior a velocidade da transformação da rocha em solo” (Lepsch, 2002, p.114), caracterizando esse tipo de solo as áreas de instabilidade ambiental (Tricart, 1977). No entanto, o nível de fragilidade final das áreas por ele ocupadas se relaciona também diretamente com a fragilidade de outras variáveis na mesma poligonal.

Quadro 2 – Níveis de fragilidade pedológica por área

Classes de fragilidade	Tipos de solos	Área (Km ²)
1- Muito baixa	-	-
2- Baixa	Vertissolo	31,9
3- Média	Argissolos	135,7
4- Forte	Neossolos flúvicos	15,1
5- Muito forte	Neossolos litólicos	8,8

Fonte: FUNCEME (1972).

Por outro lado, o nível de fragilidade do solo que ocupa maior área na bacia é classificado, em relação a cenário interno da bacia, como de média fragilidade, o que não ocorre por esse ser um solo com características estáveis, mas pelo fato de os outros possuírem ainda maior vulnerabilidade. Nesse contexto, os Argissolos possuem tal peso de fragilidade na bacia por serem “[...] solos bem intemperizados que apresentam horizonte B de acúmulo de argila [...] apresentam limitações a agricultura principalmente no que diz respeito a acidez pronunciada, escassez de nutrientes e alta susceptibilidade à erosão” (Lepsch, 2002, p. 92).

Essa atribuição e características pedológicas influenciam para o nível de fragilidade potencial das áreas à medida que outros atributos naturais do recorte espacial são significativos. Na bacia, os Argissolos se associam à área de relevo irregular, possuindo também grande parte das maiores declividades da bacia.

Já os Vertissolos possuem seu nível de vulnerabilidade ligado à sua ocorrência na parte inferior de encostas, ou mesmo em baixadas planas, com superfície irregular, formada por sedimentos que se movimentam a partir das condições de umidade (Lepesch, 2002). Na bacia em pesquisa, esse solo tem sua concentração no baixo curso, com áreas pouco onduladas a planas, mas que, pelo seu intensivo uso para atividades de produção, encontram-se, em sua maioria, com fatores de cobertura que proporcionam uma baixa proteção (Figura 3B).

Lepsh (2002) também elucida que os neossolos aluviais são solos jovens, assim como os litólicos, mesmo que tenham sua formação relacionada a diferentes processos, sendo o neossolo flúvico originado da deposição de sedimentos as margens de um rio. Dessa forma, este possui um baixo grau de coesão, o que vem a ser uma característica que amplia sua vulnerabilidade. Por outro lado, o autor explica que esse solo também possui alta fertilidade, e no semiárido, por ser ocasionalmente inundado, pode dar subsídio a uma agricultura intensiva de alta produtividade, sendo tal fato o que ocorre nas áreas de ocorrência dessa pedologia na área de estudo.

Esse uso excessivo resulta na quase inexistência de mata densa ao longo dessa extensão. Por outro lado, à medida que é positivo do ponto de vista econômico, torna-se alvo de preocupações à medida que o desmatamento expõe ainda mais um solo já vulnerável.

As características positivas do substrato referentes a sua exploração não raramente ocasionam em seu uso de maneira degradante, dessa forma

[...] no que diz respeito à produtividade, nas áreas agrícolas, a erosão dos solos implica a sua diminuição, e, dependendo da extensão e da gravidade do processo erosivo, é muito comum, no caso brasileiro, a agricultura cessar sua atividade, ou então dar lugar a pecuária extensiva (GUERRA; MENDONÇA, 2004, p.229).

A diminuição das áreas destinadas ao cultivo agrícola em contraste com aumento dessas para a pecuária, na bacia em questão, pode ser índice desse processo ressaltado por Guerra e Mendonça (2004) em meio ao semiárido brasileiro, podendo haver também outras motivações, sendo esse um questionamento levantado, no qual pode haver mais profundidade em outro momento.

De fato, as características pedológicas compõem importante elemento no quadro de variáveis à identificação de níveis de fragilidade ambiental em um recorte espacial, mas como se sabe, essa não é a única a ser levada em questão, pois está inserida em um conjunto onde exerce influência e é influenciada por outros fatores (Tricart, 1977). Dessa maneira, correlacionando a dimensão da bacia hidrográfica, Mafra (1999 *apud* Guerra; Mendonça, 2004) coloca que a erosão dos solos não vem a ser unicamente uma questão pontual da área que sofre tal feito, mas um processo que gera degradação das terras e dos corpos líquidos, sendo eles riachos e rios que podem sofrer tanto a contaminação por substâncias que podem estar inseridas aos solos e assoreamento dos canais e reservatórios hídricos (Figura 4).

Dessa maneira, entende-se o fato de que “[...] a erosão tem suas consequências danosas não apenas onde ela ocorre, mas seus efeitos podem ser notados vários quilômetros afastados de onde o processo erosivo esteja acontecendo” (Guerra; Mendonça, 2004, p.233), e na dimensão da bacia hidrográfica, a observação de tais consequências pode se dar tanto ainda no interior da própria onde ocorre o processo, como também em áreas a jusante, por isso a intervenção nesses fenômenos, a fim de remediá-los ou até mesmo preveni-los, torna-se tão necessária para a finalidade de evitar degradações em cadeia.

Figura 4 – Erosão hídrica na BHMC: (A) ravina feita pela erosão laminar;
(B) saprólito exposto pela erosão.



Fonte: Autores (2022).

A representação da espacialidade dos fatores que a influenciam foram contabilizados para se chegar aos níveis de fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do riacho Madeira Cortada (Figura 3). Neles estão contidas as variações de cada categoria que se relacionam com o nível de fragilidade atribuído a cada tipo. Dessas, a única categoria em que não foram atribuídos pesos de acordo com a variação foi a de pluviometria, pois a variação encontrada nela é muito baixa, impedindo a setorização ao longo da área de estudo. A variação entre a máxima e a mínima gira em torno apenas de 100 mm, assim como é possível observar (Figura 03 C), sendo por tal motivo toda a categoria inserida no maior nível de fragilidade, como indica a metodologia de Ross (1994) para áreas inseridas no semiárido.

Quanto aos índices de declividade (Figura 03 B) encontrados na bacia, observa-se que há domínio de declividades de 0 a 12%, ou seja, do relevo plano a suave ondulado, restando para as outras classes menos de 6% da área total da bacia, e tendo os tipos de relevos descritos como ondulado 2 e forte ondulado, uma representação que não chega nem mesmo a 1%, fato que impede até mesmo sua visualização em representação gráfica de escalas grandes.

Nesse contexto, é indicado por Bezerra et al. (2016) que áreas mais planas proporcionam maior infiltração de água no solo, dificultando o escoamento superficial e diminuindo a erosão laminar, o que leva à conclusão de que, na área de estudo, unicamente a declividade não vem a ser a motivação principal de altos níveis de fragilidade, no entanto pode contribuir naquelas que possuem outros fatores de maior vulnerabilidade.

A declividade da BHMC possui padrões os quais trazem contraste para a paisagem na bacia e que conseqüentemente interferem em seus níveis de fragilidade. Na porção sul da bacia, predominam índices de baixa declividade, sendo seu relevo predominantemente plano. Essa geomorfologia é ligada a formações sedimentares que aí se acentuam e correlacionam-se com as áreas mais exaustivamente exploradas na bacia, tendo como consequência as formas de cobertura predominantes capoeiras e solo exposto. Na parte mais ao norte da bacia (após a rodovia), onde predomina a litologia metamórfica, o relevo é mais irregular, havendo, no entanto, um trecho de seguimento N-S, no qual o índice de declividade se mantém de plano a suave ondulado, o que vem a ser as áreas onde passa a drenagem principal do riacho Madeira Cortada.

Essas planícies em meio a um relevo predominantemente irregular ao norte da bacia são também as áreas mais fortemente habitadas e indicam a orientação das principais estradas, além de serem áreas fortemente exploradas, o que resulta em um baixo grau de proteção destas no período chuvoso, já que a mata ciliar, em grande parte, dá lugar à pastagem ou a lavouras temporárias.

Neste estudo, adotou-se também a categoria geologia para que se aumente o nível de detalhe alcançado. Dessa forma,

A contribuição da geologia para análise da categoria morfodinâmica [...] compreende as informações relativas à história da evolução geológica do ambiente onde a unidade se encontra e as informações relativas ao grau de coesão das rochas que a compõem (Crepani *et al.*, 2001, p.13).

É elucidado que o grau de coesão das rochas vem a ser o grau de ligação entre as partículas que as constituem. Assim, quanto maior o grau de coesão predomina-se a formação do solo em razão da modificação do relevo, caracterizando áreas estáveis, e quanto menor, maior o processo de alteração do relevo do que formação de solos, o que, a partir da ecodinâmico, caracteriza áreas de instabilidade.

Na área da bacia do riacho Madeira Cortada, foram encontrados embasamentos sedimentares e cristalino, mostrando uma diversidade geológica. A estes, atribuíram-se pesos de acordo com o grau de coesão encontrado em cada tipo de geologia, analisados a partir de informações litológicas fornecidas pela CPRM (Quadro 3).

Observa-se que o nível de fragilidade que predomina na área da bacia, em relação à litologia, é o baixo, abrangendo 145,8 Km² e incluindo a formação Acopiara e Ortognaisses indiferenciados, sendo ambas metamórficas. Ocupam os mais altos níveis de fragilidade os

embasamentos de origem sedimentar por serem esses os que possuem menor grau de coesão em comparação aos que ocupam os menores níveis de fragilidade.

Quadro 3 – Níveis de fragilidade litológica por área

Formação	Litologia	Grau de fragilidade	Área de ocorrência (Km ²)
Granitoides de quimismo indiferenciado	granito	1 - Muito baixa	3,4
Acopiara	Biotita, xisto, diatexito, metatexito	2 - Baixa	145,8
Ortognaisses indiferenciados	metatonalito, ortognaisse		
Lima campos	arenito, siltito, folhelho	3 - Média	20,1
Icó	arenito, argila, marga, siltito		
Malhada vermelha	arenito, argila, siltito		
Moura	areia, cascalho, argila	4 - Alta	6,3
Depósitos aluvionares	Areia, argila, cascalho, silte	5 - Muito alta	15,7

Fonte: Elaboração a partir de Crepani *et al.* (2001).

As litologias derivadas de formações sedimentares possuem maior grau de vulnerabilidade pelo menor grau de coesão que possuem. Na bacia, estas se localizam ao sul, fazendo parte do município de Quixelô, que inclui em seu território a formação Moura, Icó, Lima Campos e Malhada vermelha, ambas associadas aos processos geomorfológicos ligados à dinâmica do rio Jaguaribe.

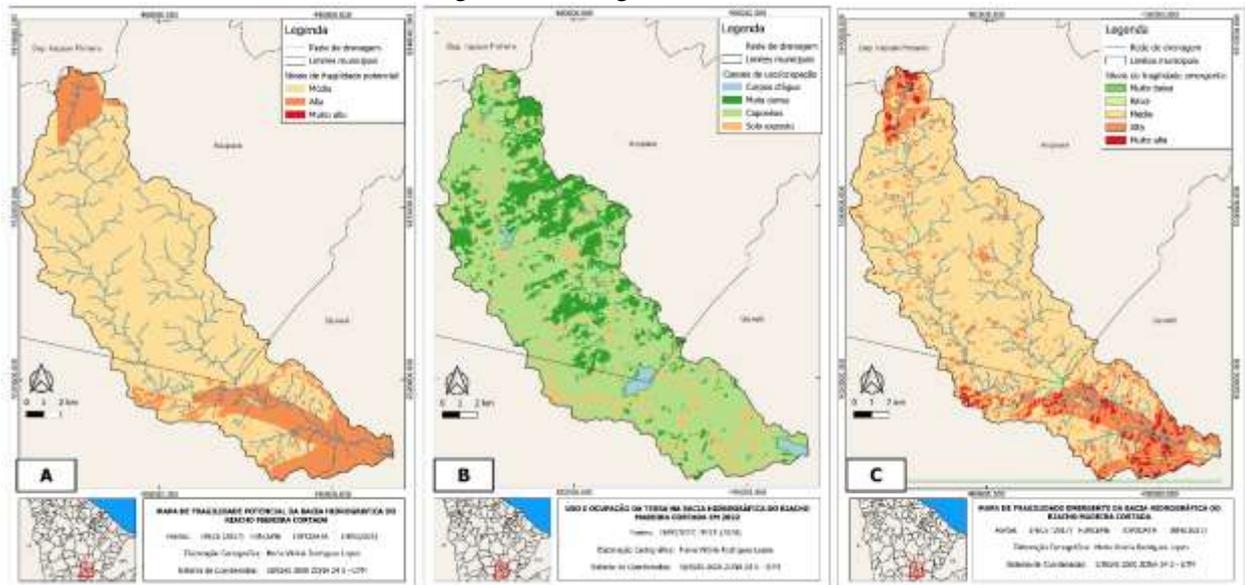
Em uma pequena porção a leste da bacia, que corresponde a uma área de 3,4 Km², ocorre a geologia mais estável da área de estudo, isso porque os granitoides são rochas de origem ígnea, possuindo o mais alto grau de coesão dentre as litologias da área em pesquisa. Possui também baixo nível de fragilidade litológica a parte oeste da bacia, onde se encontra, como embasamento, ortognaisses que também caracterizam áreas de estabilidade geológica regular juntamente com a formação Acopiara, que ocupa grande parte do embasamento da área de estudo, concentrando-se ao longo de quase toda a extensão da bacia após a CE 375/BR 122.

A partir das observações feitas, pode-se concluir que fatores de média a alta fragilidade relacionados aos PIs de geologia, pedologia, declividade e também pluviometria se sobrepõem, originando assim as áreas onde a fragilidade ambiental potencial, formada apenas por fatores que correspondem ao substrato natural, sem contabilizar a interferência humana (KAWAKUBO *et al.*, 2005), se dá em seus mais altos níveis (Figura 5).

No levantamento de fragilidade potencial da bacia hidrográfica do riacho Madeira Cortada, verifica-se que suas áreas de maior fragilidade estão fortemente relacionadas aos tipos de solos e a geologia, sendo a declividade fator decisivo nas áreas onde a geologia e a pedologia

não possuem altos níveis de vulnerabilidade. Porém, somando-se a pontos onde a declividade é um pouco mais acentuada, tais áreas se tornam também de alta fragilidade, merecendo a devida atenção quanto a seu manejo.

Figura 5 – Mapas de fragilidade da BHMC: fragilidade potencial (A), uso e ocupação em 2022 (B) e fragilidade emergente em 2022.



Fonte: Elaboração dos autores (2023).

As áreas de alta fragilidade no alto e baixo curso da bacia correlacionam-se, respectivamente, ao neossolo litólico, localizado ao extremo norte da bacia, próximo à divisa com Irapuan Pinheiro, e às formações geológicas de menor grau de coesão, situadas ao sul, já no município de Quixelô, sendo elas a formação Moura e de depósitos aluvionares em sobreposição aos neossolos aluviais.

Se considerássemos a variação pluviométrica intrabacia, pode-se aferir que a questão da vulnerabilidade dos trechos ao sul da bacia ganha uma dimensão ainda mais preocupante, pois é aí onde se dão os maiores índices de precipitação, sendo esse fator de grande peso à acentuação dos processos de erosão. Já a poligonal, de alta vulnerabilidade no extremo norte, localiza-se em área de menor precipitação, o que subsidia o fato de que as condições as quais tais áreas encontram-se expostas ao mesmo nível de fragilidade são diferentes, tendo a dinâmica pluviométrica grande interferência, nesse ponto de vista, mesmo possuindo uma baixa variação ao longo da bacia.

Em meio à área onde se associam tipos de geologia vulneráveis a solos vulneráveis – como ocorre no “corredor” de alta fragilidade ao sul da bacia –, mesmo que em área plana, se dá a alta fragilidade. Esse tipo de relevo sobreposto a essa área é fator decisivo para a geração

de áreas de muito alta fragilidade potencial, sendo essas extensões – de muito alta fragilidade potencial – que indicam áreas onde a ação humana pode ser origem de grande impacto ambiental negativo.

Como nos resultados encontrados em Massa e Ross (2012), as áreas de muito alta fragilidade potencial localizam-se em áreas de baixa declividade. No caso da bacia do riacho Madeira Cortada, tal ocorrência se associa à junção de altos níveis de vulnerabilidade geológica e pedológica, que, junto a uma variação de declividade maior, torna-se uma área onde a ação humana necessita ser planejada para que não resulte em danos ao meio. Sprol (2001) explica que

[...] as Unidades Ecodinâmicas Estáveis são aquelas que estão em equilíbrio dinâmico e foram poupadas da ação humana, mas apresentam Instabilidade Potencial qualitativamente previsível face as suas características naturais e a sempre possível inserção antrópica (SPROL, 2001, p.19).

Em outras palavras, a partir da leitura da fragilidade ambiental, temos que os níveis de vulnerabilidade potencial indicam o nível de risco à degradação, sem contar com a interferência humana, que pode já estar ocorrendo ou ocorrer em momento posterior. Dessa forma, quanto maior o nível de fragilidade potencial na bacia, maior a sensibilidade dessas áreas quanto à ação humana. Tal fato ressalta mais uma vez a importância desses levantamentos para o planejamento ambiental e implantação do ordenamento territorial (Franco *et al.*, 2013). A distribuição de áreas por níveis de fragilidade potencial estão presentes no Quadro 4.

Quadro 4 – Níveis de fragilidade potencial da BHMC por área

Níveis hierárquicos de fragilidade potencial	Área (Km²)
1 - Muito baixa	-
2 - Baixa	-
3 - Média	148,59
4 - Alta	42,73
5 - Muito Alta	0,03

Fonte: Elaboração dos autores (2023).

É notório, e chega a ser preocupante, o fato de quase toda a área de estudo possuir o nível de fragilidade potencial média. No entanto, tal cenário mostra ser comum em áreas do

semiárido brasileiro, assim como mostram Bezerra et al. (2016), que também faz análise da fragilidade ambiental em bacia hidrográfica do semiárido, o que é compreendido a medida que o semiárido possui características que ampliam a fragilidade ambiental, principalmente no que se refere ao regime de chuvas, como é especificado na literatura que baseia esse trabalho.

Infere-se que o nível de fragilidade alta é distribuído por toda a bacia seguindo os padrões de maiores declives nas áreas onde predomina o Argissolo e a formação Acopiara, concentrando-se no alto e baixo curso da bacia. A distribuição espacial indica que as áreas de Argissolo que possuem declives mais acentuados são altamente vulneráveis e que nelas as interferências antrópicas, como desmatamento, muito provavelmente acelerem a velocidade do processo erosivo, que já se dá em condições de equilíbrio ecodinâmico, mas que, a partir da ação humana, pode entrar em desequilíbrio, ou, a partir da implantação correta de tais ações, permanecer como ambiente estável.

A partir do uso/ocupação imposto em uma área seus níveis de fragilidade mudam, dando origem ao que Ross (1990) nomeou fragilidade emergente. Nessa leitura, os tipos de cobertura são decisivos para que as áreas em equilíbrio dinâmico, mesmo que de risco, permaneçam nele ou não. Bezerra et al. (2016) apontam que áreas que têm como cobertura a vegetação, quanto mais densa esta, maior seu nível de proteção aos impactos causados pela precipitação. Na área da bacia é verificado que as áreas em que ainda permanece uma vegetação densa, de acordo com os padrões da caatinga, são as áreas com maiores declividades, sendo esse tipo de vegetação nas áreas mais planas já quase que totalmente devastada (Figura 05 B).

Essas áreas de menores declives ao longo de toda a bacia, que em sua maioria encontram-se ocupadas por capoeiras, são utilizadas para atividades produtivas e, portanto, excessivamente exploradas, tanto pelas características do próprio relevo tanto pela maior fertilidade encontrada nessas áreas, o que se relaciona também ao relevo, como também a maior presença de água nessas extensões, tanto superficiais no período chuvoso com água corrente nos pequenos canais e riachos, como também água subterrânea durante o período seco, que são acessadas por meio de poços tubulares e amazonas, sendo esses também, em sua maioria, a fonte de abastecimento hídrico aos habitantes.

Dessa forma, entende-se que, em grande parte, as áreas com baixos declives na bacia possuem uma cobertura que proporciona baixa proteção, o que influi para uma maior fragilidade emergente, sendo já verificados extensões de alta fragilidade potencial no baixo curso da bacia hidrográfica em estudo. O que chama atenção para o fato de que degradações ambientais podem já estar ocorrendo nessa área em proporções significativas, pois, como se observa na Figura 05 B, nesse trecho é também muito comum a ocorrência de áreas de solo

exposto, podendo ser tais ocorrências tanto resultados de processos de preparo do solo para o plantio – já que o mapeamento foi feito durante a quadra chuvosa, como também podem ser indícios de área onde já se inicia um desequilíbrio ambiental, necessitando para tal constatação uma pesquisa mais específica apenas dessas áreas.

É visível que a cobertura preponderante em toda a área de estudo é a classe capoeiras, cobertura essa que proporciona um grau de proteção menor que das áreas de vegetação com características naturais ainda preservadas. Isso porque nestas o nível de exposição dos solos é maior e, conseqüentemente, o processo erosivo também pode ser, muito mais onde as áreas são declivosas, contribuindo para o surgimento de voçorocas, feições muito comuns na região, principalmente ao longo das estradas.

Foi verificada, na área de drenagem do riacho Madeira Cortada, em sua área de nascentes, a existência de áreas de solo exposto onde a ocorrência não está mais ligada à ação humana atual, e sim a conseqüências de ações pretéritas em que atualmente já se manifestam seus danos, como vistas no mapa (Figura 05 B). A área de nascentes do riacho Madeira cortada é de alta fragilidade potencial se atribuídos usos inadequados a essas a probabilidade de geração de degradação ambiental na área é muito alta, o que é mostrado inicialmente pelo mapa de fragilidade emergente da bacia (Figura 05 C), e que as visitas a campo confirmaram, mostrando em plena quadra chuvosa áreas onde não existiam indícios de vegetação alguma (Figura 6).

No entanto, não se pode confirmar que todas as áreas de solo exposto na bacia são indícios de degradações ambientais. Na maioria das vezes, a conversão da vegetação em solo exposto é que é motivo da degradação ambiental a ponto de a vegetação não mais se recuperar (Guerra; Mendonça, 2004). Nesse contexto, a pesquisa na bacia hidrográfica com levantamento das capacidades de uso da terra, desde que levado em conta na implantação e início de atividades produtivas na área, contribui para cessão de novas ocorrências de áreas onde a vegetação natural não mais se reestabelece (Botelho, 1999 *apud* Guerra; Mendonça, 2004).

A fragilidade emergente, em seus mais altos níveis, indica áreas onde os processos degradantes podem já estar ocorrendo. Na bacia do riacho Madeira Cortada, a maioria dessas áreas está ligada ao baixo grau de proteção fornecido pela classe de solo exposto, que, como já visto, ocorrem em sua maioria em meio ao tipo de cobertura que proporciona maior vulnerabilidade, ou seja, as capoeiras.

Nessas áreas onde se estabelecem usos inadequados, ocasionando muito alta fragilidade emergente ocorre que a “[..] ocupação/utilização indevida compromete a sustentabilidade ecológica em alguns setores, o que promove mudanças na dinâmica ambiental e no fluxo de matéria e energia, bem como no modo de vida das comunidades atingidas” (Teixeira *et al.*,

2018, p.190), sendo na bacia a degradação motivo de perdas na produção, seja ela agrícola ou pecuária.

Figura 6 – Tipos de tipos de uso/ocupação na BHMC: (A) Capoeiras – pastagem, em áreas com declives; (B) Capoeiras em área de declive e produção em brejo – jusante de açude; (C) Pastagem em áreas declivosa e em vazante – montante de açude; (D) Fragmentos de vegetação densa.



Fonte: Autores (2022).

O mapa de fragilidade emergente mostra que as áreas de muito alta fragilidade emergente concentram-se no alto e baixo curso da bacia hidrográfica, sendo muitas dessas áreas localizadas em pontos de nascentes do riacho. Tal fato ocorre por nestas existirem maiores declividades, já que se caracterizam como divisores de drenagem, e por na maioria delas predominarem usos que proporcionam baixa proteção como as capoeiras e, em alguns casos, até mesmo a classe de solo exposto.

As áreas de fragilidade ambiental muito alta nas nascentes da bacia denunciam que o processo erosivo nelas já se dá de forma acelerada, ocasionando impactos a jusante, como o assoreamento dos canais e reservatórios, comprometimento da qualidade da água desses e nas áreas das próprias nascentes a degradação dos solos, como se verifica na Figura 07 (A, B).

No mapa de fragilidade emergente (Figura 05 C), verifica-se a existência do nível de fragilidade baixa correspondente às áreas de açudes que foram classificadas como fornecedoras do menor grau de fragilidade, isso pelo fato de, no processo erosivo, estas serem áreas sempre

de agradação. Tal ocorrência é negativa no sentido de diminuição da capacidade do reservatório no decorrer do tempo, não fazendo essa variável parte das utilizadas para identificação de fragilidades.

É importante constatar que existem áreas de açudes que, mesmo possuindo esse tipo de cobertura de baixa fragilidade, não foram mapeadas como áreas de fragilidade emergente baixa, o que acontece pelo fato de, na mesma área, convergirem características físicas de maior vulnerabilidade. Portanto, a fragilidade emergente, composta pela fragilidade do substrato físico e formas de uso impostas pela ação humana, fica como média, como é o caso da área ocupada na bacia, no mapeamento de 2022, pelo açude Orós, onde há o predomínio de geologia e pedologia de maior vulnerabilidade.

Nas áreas de fragilidade emergente média também foi verificada a existência de processos erosivos acelerados pela antropização das áreas (Figura 07), que se relaciona aos argissolos, pedologia essa que possui significativo grau de vulnerabilidade e que, associada a uma litologia e declividade frágil com cobertura que proporciona também alto grau de fragilidade – como é o caso de solo exposto –, faz com que sejam desencadeados tais processos prejudiciais ambiental, social e economicamente à população.

É verificado o nível de influência da vegetação em diminuir a fragilidade de uma área que possui fragilidade potencial eminentemente alta, como é o caso do alto curso da bacia, o qual, a partir do incremento da variável uso e ocupação da terra, ganha um alto fator de proteção, que são os fragmentos de vegetação densa nesse trecho da bacia, reforçando o papel da vegetação quanto a conservação dos ambientes. A distribuição espacial dos níveis de fragilidade emergente está disposta no Quadro 5.

Quadro 5 – Níveis de fragilidade emergente da BHMC por área.

Níveis de fragilidade emergente	Área (Km ²)
1 - Muito baixa	-
2 - Baixa	2,51
3 - Média	140,19
4 - Alta	42,22
5 – Muito alta	6,42

Fonte: Elaboração dos Autores (2023).

A fragilidade emergente média se distribui por todo o médio e partes do alto e baixo curso da bacia, sendo a maior classe de fragilidade emergente da bacia, abrangendo 76,26% dela. Essa classe se constitui de área de média fragilidade potencial, que recebem a proteção

oferecida pelos tipos de cobertura vegetação densa e capoeiras, sendo também incluídas as de alta fragilidade potencial, nas quais foi constatado o tipo de cobertura de vegetação que proporciona maior proteção aos solos, cuja classe de vegetação é densa.

Já o nível de fragilidade emergente alta é formado por áreas onde a base física já oferecia alta susceptibilidade a danos ambientais, às quais ainda não foram atribuídos usos/coberturas adequadas e, por tal motivo, encontram-se expostas a degradações que podem ocorrer em detrimento do regime de chuvas, que, em áreas de baixa proteção, podem elevar a velocidade de escoamento, mesmo que em áreas mais planas – como é o caso do baixo curso da bacia, possuindo uma baixa proteção pelas capoeiras.

Já as áreas de muito alta fragilidade são aquelas da bacia onde se juntam todos os fatores, ou boa parte deles, de maior fragilidade, seja geologia, pedologia, declividade ou uso atribuído. Há presença desse nível de fragilidade em áreas isoladas ao longo do médio curso, no entanto, sua concentração dá-se também no alto e médio curso, sendo compostas pelas áreas cuja fragilidade potencial já era alta e foi verificada a cobertura mais vulnerável, que vem a ser a classe de solo exposto. Da bacia, essas são as áreas as quais devem ser alvo de políticas públicas ambientais no contexto de também evitar a degradação da caatinga, visto que, a partir das condições naturais, esse é um bioma de dificultada recuperação. Em algumas das áreas mapeadas como de muito alta fragilidade emergente, foram identificados indícios do processo de desertificação, e em áreas onde identificada média ou alta fragilidade emergente, foram constatados processos erosivos possivelmente acelerados pela atividade humana na área instalados (Figura 7).

Figura 7 – Categoria solo exposto na BHRMC: (A) superfície de área declivosa desmatada; (B) área utilizada como pastagem com índices de degradação; (C) área de declives com baixo grau de proteção; (D) processo erosivo em vertente.



Fonte: Autores (2022).

A partir do levantamento de fragilidade da BHRMC, tem-se que essa é uma área que abrange fatores de vulnerabilidade, os quais devem receber a devida atenção para que não se desencadeiem processos com impactos ambientais de maiores dimensões.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os modelos elaborados para mapeamento da fragilidade, os usos na bacia são decisivos para o nível de fragilidade emergente que nela se dá, o que se observa pela diferença nos quantitativos de cada um em relação à área da bacia. Tal fato significa que as atividades exercidas na área, transformadoras da paisagem, atingem negativamente, em grande extensão, a área de estudo. Na bacia, o quantitativo de áreas de fragilidade potencial muito alta foram menores que os de fragilidade emergente no mesmo nível, fato que revela que a dinâmica de uso e ocupação na área tem deixado o substrato natural ainda mais vulnerável, ou até mesmo já perpassando por complicações.

Os resultados encontrados para a bacia hidrográfica do riacho Madeira Cortada podem ser atualizados a partir de novas classificações de uso e ocupação da área, assim como podem ser repetidos em outras bacias a fim de subsidiar a elaboração de Planos de Bacias Hidrográficas ou Zoneamentos Ecológico Econômico, devendo tais instrumentos propostos pela legislação brasileira andar em conjunto visando realmente promover, em todo o país, o uso consciente dos elementos naturais os quais atualmente têm-se à disposição.

No sentido de novas pesquisas na área, sugere-se análise mais profunda dos tipos de uso que se dão e até que ponto podem refletir na disponibilidade de recursos naturais na bacia, assim como na qualidade destes.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, F. N. B. Agentes, processos e feições erosivas em voçoroca conectada à rede de drenagem do Rio Coreauá, Ceará. **Revista da Casa da Geografia de Sobral**, [s.l.], v. 8, n. 1, p. 11-20. 2006.

ALBUQUERQUE, F. N. B.; COSTA, J. S. Interceptação de chuva em diferentes fisionomias de Caatinga (Coreauá, CE). **Geografia Ensino & Pesquisa**, [s.l.], v. 16, n. 3, set./ dez. 2012.

AUGUSTIN, C. H. R. R. Sistemas naturais e sociedade na Geografia física. *In*: OLIVEIRA, M.P.; COELHO, M.C.N.; CORRÊA, A. M. **O Brasil, a América Latina e o mundo: espacialidades contemporâneas (I)**. Rio de Janeiro: Lamparina editora, 2008. p. 373-384.

BERTRAND, G. Paisagem e geografia física global: esboço metodológico. **Caderno de Ciências da Terra**, São Paulo, v.13, p. 1-21, 1969.

BEZERRA, U. A.; SILVA, L. T. M. S.; SALES, L. G. L. Uso de geotecnologias para o mapeamento da fragilidade ambiental da sub-bacia do rio Piancó, PB. *In*: Congresso Internacional da Diversidade do Semiárido, 1., 2016, Campina Grande. **Anais [...]** Campina Grande: [s.n.], 2016.

BOTELHO, R. G. M.; DA SILVA, A. S. Bacia hidrográfica e qualidade ambiental. *In*: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. **Reflexões sobre a geografia física no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004.

BRASIL. **Decreto nº 4.339, de 22 de agosto de 2002**. Institui princípios e diretrizes para a implementação da Política Nacional da Biodiversidade. Brasília, DF: Presidência da República, 2002.

BRASIL. **Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 1981.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília, DF: Presidência da República, 1997.

COMPANHIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HIDRICOS - COGERH. Ficha Técnica dos Açudes. **Portal COGERH**, Fortaleza, 2018. Disponível em: <https://portal.cogerh.com.br/ficha-tecnica-dos-acudes-158/>. Acesso em: 05 jul. 2022.

CREPANI, E. *et al.* **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: Inpe, 2001.

FALÇÃO SOBRINHO, J.; ROSS, J. L. S. O processo de erosão em ambiente de superfície sertaneja-varjota (CE). **GEOUSP Espaço e Tempo**, [s.l.], v. 11, n. 1, p. 53-66, 2007.

FRANCO, R. A. M.; HERNANDEZ, F. B. T.; LIMA, R. C. Análise da fragilidade ambiental na microbacia do córrego do Coqueiro, no noroeste paulista. *In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 16., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais [...]**. Foz do Iguaçu: INPE, 2013. p. 5040-5046.

FROTA, P. V.; NAPPO, M. E. Processo erosivo e a retirada da vegetação na bacia hidrográfica do açude Orós-CE. **Revista Geonorte**, [s.l.], v. 4, n. 4, ed. especial, p.1472 – 1481, 2012.

GONÇALVES, G. G. G. *et al.* Determinação da fragilidade ambiental de bacias hidrográficas. **Floresta**, Curitiba, v. 41, n. 4, p. 797 - 808, out./dez. 2011.

GUERRA, A. J. T.; MENDONÇA, J. K. S. Erosão dos solos e a questão ambiental. *In: VITTE, Antonio Carlos; GUERRA, Antonio José Teixeira. Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. p. 225-256

KAWAKUBO, F. S. *et al.* Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 2005, Goiânia. **Anais [...]**. Goiânia: INPE, 2005. p. 2203-2210.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. São Paulo: Oficina de textos, 2016.

MASSA, E. M.; ROSS, J. L. S. Aplicação de um modelo de fragilidade ambiental relevo-solo na Serra da Cantareira, bacia do Córrego do Bispo, São Paulo-SP. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 24, p. 57-79, 2012.

RODRIGUES, C. A teoria geossistêmica e sua contribuição aos estudos geográficos e ambientais. **Revista do Departamento de Geografia**, [s.l.], v. 14, p. 69-77, 2001.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, [s.l.], v. 8, p. 63-74, 1994.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia, ambiente e planejamento**. São Paulo: Contexto: 1990.

SÁ, I. B.; ANGELOTTI, F. Degradação ambiental e desertificação no Semi-Árido brasileiro. In: ANGELOTTI, F. *et al.* (ed.). **Mudanças climáticas e desertificação no Semi-Árido brasileiro**. Perolina: Embrapa Serni-Árido; Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2009. cap 4, p. 53-76

SANTOS, M. R. R dos. **Contribuições do planejamento ambiental para o planejamento territorial de áreas rurais**: proposta de uma estrutura base para elaboração e revisão de Planos Diretores municipais. 2014. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

SOUZA, M. J. N. *et al.* **Diagnóstico Geoambiental do Município de Fortaleza**: Subsídios ao Macrozoneamento Ambiental e à Revisão do Plano Diretor Participativo - PDPFor. Fortaleza: Prefeitura Municipal de Fortaleza, 2009.

SPÖRL, C. **Análise da fragilidade ambiental relevo-solo com aplicação de três modelos alternativos nas altas bacias do Rio Jaguari-Mirim, Ribeirão do Quartel e Ribeirão da Prata**. 2001. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

TEIXEIRA, N. F. F.; SILVA, E. V.; FARIAS, J. F. Geoecologia das paisagens e planejamento ambiental: discussão teórica e metodológica para a análise ambiental. **Planeta Amazônia**: Revista Internacional de Direito Ambiental e Políticas Públicas, Macapá, n. 9, p. 147-158, 2018.

TEODORO, V. L. *et al.* O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Uniara**, [s.l.], n. 20, p. 137-156, 2007.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: FIBGE/SUPREN; IBGE, 1977.