

**ANÁLISE DA FRAGILIDADE AMBIENTAL  
UTILIZANDO TÉCNICAS EM SIG: ESTUDO DE CASO  
DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SERIDÓ**

**ANALYSIS OF ENVIRONMENTAL FRAGILITY USING  
GIS TECHNIQUES:  
A CASE STUDY OF THE SERIDÓ RIVER  
BASIN**

**ANÁLISIS DE LA FRAGILIDAD AMBIENTAL MEDIANTE  
TÉCNICAS SIG:  
UN ESTUDIO DE CASO DE LA CUENCA DEL RÍO SERIDÓ**

*DOI 10.33360/RGN.2318-2695.2024.i1.p.144-158*

Redy Rocha de Medeiros  
Mestre em Geografia pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)  
redyrocha8@gmail.com

Mayra Alves Pinheiro  
Mestre em Geografia pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)  
mayra.acops@hotmail.com

Saulo Roberto de Oliveira Vital  
Professor adjunto do Departamento de Geociências da Universidade Federal da Paraíba (UFPB)  
saulo.vital@academico.ufpb.br

Rebecca Luna Lucena  
Professora adjunta do Departamento de Geografia da Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)  
rebeccaosvaldo@yahoo.com.br

## **RESUMO**

O mapa de fragilidade ambiental constitui uma das principais ferramentas utilizadas pelos órgãos públicos na elaboração do planejamento territorial ambiental, permitindo avaliar as potencialidades do meio ambiente. Esse método de planejamento territorial sintetiza diferentes padrões de fragilidade no qual o Mapa de Fragilidade Potencial representa fatores intrínsecos à paisagem. O objetivo do presente trabalho foi de analisar as condições de uso do solo e da fragilidade ambiental da bacia Hidrográfica do rio Seridó usando técnicas de SIG. Para isso, foram utilizados dados orbitais como modelos digitais de elevação, imagens de satélite, arquivos vetoriais, bem como dados pluviométricos a cerca da bacia. Em um primeiro momento, calibrou-se e refinou-se dados no QGIS 3.10.6, gerando fluxos de direção, bacia hidrográfica, declividade, mapa de índice de vegetação e mapa pluviométrico. Utilizou-se para análise da fragilidade ambiental conforme proposto por Sprol e Ross (2004), a classificação e a álgebra de mapas. A partir do emprego dessas técnicas, os resultados indicaram fragilidade ambiental em diferentes feições e escalas, destacando a complexidade das variáveis ambientais. Observou-se que as áreas vegetadas no Planalto da Borborema mostraram baixa fragilidade, enquanto escarpas dissecadas na Depressão Sertaneja apresentaram alta fragilidade.

**Palavras-chave:** geoprocessamento, uso do solo e planejamento ambiental.

## **ABSTRACT**

The environmental fragility map is one of the main tools used by public agencies in the development of environmental territorial planning, allowing for the evaluation of the environment's potential. This method of territorial planning synthesizes different fragility patterns, where the Potential Fragility Map represents intrinsic factors of the landscape. The objective of the present study was to analyze land use conditions and environmental fragility of the Seridó River Basin using GIS techniques. For this purpose, orbital data such as digital elevation models, satellite images, vector files, as well as rainfall data about the basin were used.



Initially, data was calibrated and refined in QGIS 3.10.6, generating flow directions, watershed, slope, vegetation index map, and rainfall map. The environmental fragility analysis followed the classification and map algebra proposed by Sprol and Ross (2004). Using these techniques, the results indicated environmental fragility in different features and scales, highlighting the complexity of environmental variables. It was observed that vegetated areas in the Borborema Plateau showed low fragility, while dissected escarpments in the Sertaneja Depression exhibited high fragility.

**Keywords:** geoprocessing, land use and environmental planning.

## RESUMEN

El mapa de fragilidad ambiental es una de las principales herramientas utilizadas por los organismos públicos en la elaboración de la planificación territorial ambiental, permitiendo evaluar las potencialidades del medio ambiente. Este método de planificación territorial sintetiza diferentes patrones de fragilidad, donde el Mapa de Fragilidad Potencial representa factores intrínsecos del paisaje. El objetivo del presente estudio fue analizar las condiciones de uso del suelo y la fragilidad ambiental de la cuenca del río Seridó utilizando técnicas de SIG. Para ello, se utilizaron datos orbitales como modelos digitales de elevación, imágenes de satélite, archivos vectoriales, así como datos pluviométricos de la cuenca. Inicialmente, se calibraron y refinaron los datos en QGIS 3.10.6, generando direcciones de flujo, cuenca hidrográfica, pendiente, mapa de índice de vegetación y mapa pluviométrico. Para el análisis de la fragilidad ambiental se siguió la clasificación y álgebra de mapas propuestos por Sprol y Ross (2004). Empleando estas técnicas, los resultados indicaron fragilidad ambiental en diferentes características y escalas, destacando la complejidad de las variables ambientales. Se observó que las áreas vegetadas en el Planalto da Borborema mostraron baja fragilidad, mientras que las escarpas disecadas en la Depresión Sertaneja presentaron alta fragilidad.

**Palabras clave:** geoprocesamiento, uso del suelo y planificación ambiental.

## 1.INTRODUÇÃO

O mapa de fragilidade ambiental constitui uma das principais ferramentas utilizadas pelos órgãos públicos na elaboração do planejamento territorial ambiental, permitindo avaliar as potencialidades do meio ambiente de forma integrada, compatibilizando suas características naturais com suas restrições (KAWAKUBO *et al.*, 2005). Para Moraes *et al.* (2010), a identificação e a análise integrada das áreas ambientalmente frágeis inserem a tecnologia em SIG como uma das principais ferramentas na elaboração de materiais cartográficos consistentes para a implementação de políticas públicas.

Padilha (2008), considera que as ferramentas de geoprocessamento são essenciais na análise da fragilidade ambiental, pois permitem que sejam realizadas análises, planejamento e monitoramento de áreas naturais, assumindo assim simulações e o estabelecimento de intervenções das melhores alternativas. A aplicação de geotecnologia para a elaboração de produtos cartográficos relacionados com a fragilidade do ambiente difunde-se cada vez mais no Brasil, uma vez que configura um conjunto de ferramentas altamente eficientes para a gestão territorial e promoção da qualidade da paisagem (RODRIGUES *et al.*, 2001; FRANCISCO *et al.*, 2008).

Com a chegada das geotecnologias, estudos de análise geográfica e ambiental foram sendo cada vez mais facilitados tendo em vista a redução de custos e de tempo. Para Neto *et al.* (2016), *os estudos oferecem importantes bases para o entendimento e/ou identificação de áreas*



*potencialmente instáveis, expostas aos diferentes processos erosivos e de degradação, ao passo que apresentam subsídios essenciais ao auxílio, controle e/ou minimização dos fatores que colaboram para a manutenção, dinâmica e funcionamento dos mais variados sistemas ambientais.*

Ross (1994) propôs um método de análise empírica na determinação da fragilidade de ambientes naturais e antropizados, tendo como fundamento o conceito das Unidades Ecodinâmicas (TRICART, 1977). Esse método de planejamento territorial sintetiza diferentes padrões de fragilidade em Unidades Ecodinâmicas Estáveis (Instabilidade Potencial) e Unidades Ecodinâmicas Instáveis (Instabilidade Emergente), no qual o Mapa de Fragilidade Potencial representa fatores intrínsecos à paisagem, e o Mapa de Fragilidade Emergente considera também a cobertura da terra e intervenções humanas.

O modelo proposto por Ross (1994) adota o agrupamento dos índices das variáveis e considera o relevo (mapa de declividade) como variável principal, com uma importância maior na definição dos graus de fragilidade. Como também destaca Neto *et al.* (2016), com base nestas premissas, conhecer as diferentes fragilidades, assim como a identificação dos diferentes pontos frágeis à degradação ambiental, torna-se de fundamental importância para o estabelecimento de restrições e/ou outras alternativas sustentáveis ao processo de ocupação e apropriação da paisagem e de seus recursos naturais, aliados à promoção de suas potencialidades.

Localizada no semiárido brasileiro, a bacia do Rio Seridó integra uma das principais sub-bacias do Piranhas-Assu, apresenta um clima semiárido caracterizado por alta irregularidade pluviométrica e longos períodos de seca. Esses fatores climáticos combinados com as características geomorfológicas e pedológicas locais resultam em uma área de elevada fragilidade ambiental, tornando-se um cenário propício para processos de degradação como a desertificação.

Dessa maneira, o estudo da fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do rio Seridó é de extrema importância devido aos impactos socioeconômicos e ambientais que a desertificação acarreta. Compreender os fatores que contribuem para a vulnerabilidade dessa bacia é essencial para o desenvolvimento de estratégias de manejo e conservação que possam mitigar os efeitos adversos do clima semiárido e promover a sustentabilidade dos recursos naturais e das comunidades que dependem deles.

O mapeamento da fragilidade do ambiente constitui, portanto, numa importante ferramenta que auxilia no ordenamento adequado do meio, indicando as áreas mais favoráveis e menos favoráveis à sua ocupação. Nesse contexto, o objetivo principal desta pesquisa foi de analisar as condições de uso do solo e da fragilidade ambiental da bacia Hidrográfica do rio Seridó usando técnicas de SIG.



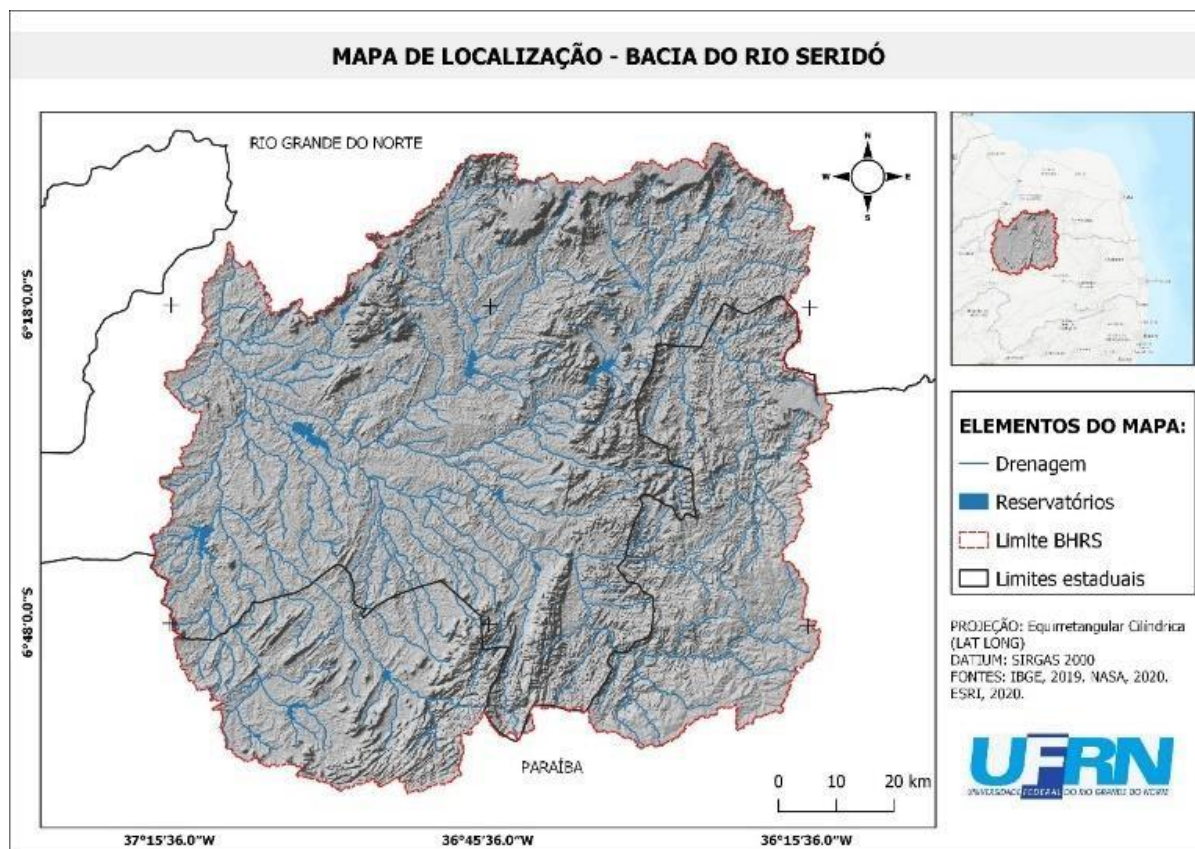
## 1.1 ÁREA DE ESTUDO

Constituída como uma bacia interstadual, a bacia hidrográfica do rio Seridó, conforme aponta Medeiros e Santos (2023), compreende uma área de drenagem de aproximadamente 9.929 km<sup>2</sup>. Trata-se de umas das principais sub-bacia do Piranhas-Assu e encontra-se localizada nos estados do Rio Grande do Norte e da Paraíba, no estado potiguar, a bacia hidrográfica abrange 20 municípios e, no estado paraibano, outros 13 município (Figura 01).

Em território potiguar, a bacia hidrográfica abrange 21 municípios, dos quais se destacam por sua extensão territorial os municípios de Caicó, Acari e Currais Novos. Já no território paraibano, abrange outros 15 municípios, onde podemos citar como territórios expressivos os municípios de Santa Luzia, São Mamede e Picuí.

Sobre a extensão da bacia hidrográfica do rio Seridó, a área envolve especificamente os limites aproximados da quadrícula de coordenadas geográficas 6°03' a 6°60' de Latitude Sul e 36°15' a 37°17' de Longitude Oeste. Segundo revela o censo do IBGE (2022), existe um total aproximado de 365.000 habitantes.

**Figura 1** - Mapa de localização



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

A área apresenta clima do tipo Semiárido de baixa latitude e altitude (BSh), segundo a classificação climática de Köppen (ALVARES *et al.*, 2013). Possui balanço hídrico negativo, apresentando em média dez a doze meses secos (sem excedente hídrico) segundo classificação





climática de Thornthwaite (SILVA et al., 2022), tendo um regime pluviométrico marcado por irregularidade de chuvas no tempo e no espaço (PINHEIRO et al., 2016). O padrão do climático da área de estudo mantém estreita relação com o deslocamento Zona de Convergência intertropical (ZCiT), do Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN) e em menor escala, com os Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOLs) (FERREIRA; MELLO, 2005).

Nessa conjuntura climática diferentes feições geomorfológicas são encontradas na bacia hidrográfica do rio Seridó e tiveram como principal dinâmica a erosão diferencial, evidenciadas através de maciços residuais em plena depressão sertaneja e em vales dissecados no planalto da Borborema (RABELO et al., 2019).

Ao analisar a forma e extensão da bacia hidrográfica, juntamente com sua rede de drenagem, é evidente que a distribuição das águas superficiais, ao serem drenadas, refletem as características geológicas e pedológicas da região. Devido à maior parte da bacia estar localizada em terrenos de embasamento cristalino e solos predominantemente mal drenados, a drenagem é caracterizada como dendrítica (RABELO et al.; 2016).

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Os procedimentos metodológicos de coleta de dados foram realizados através de pesquisa de caráter exploratório quali-quantitativa, com o objetivo de constituir um banco de dados físicos e virtuais, destinados a compor a tabela de atributos dos metadados, bem como adquirir os vetores municipais da Bacia do Rio Seridó no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Além da obtenção de dados de MDE (Modelos Digitais de Elevação) com resolução espacial de 30 m, oriundos da missão SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) e disponibilizados pela NASA (National Aeronautics and Space Administration) no projeto NASADEM junto ao EARTHDATA – NASA, e imagens do sensor LANDSAT 8. Também foram obtidos dados sobre solos junto à EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária).

Inicialmente, procedeu-se com a calibração e refinamento dos dados obtidos, objetivando o melhorando do processamento e a qualidade de representação, bem como aproximar-se do máximo do mundo real, processo esse que foi realizado no software (open source) QGIS 3.10.6 – A corunã. Em seguida, por meio do algoritmo “Channel network and damage basins” foram gerados produtos orbitais oriundos do processamento do MDEHC que correspondem a: fluxos de direção, redes de drenagem e delimitação da bacia. Estes dados possibilitaram ainda a composição de mapas temáticos como: hipsometria, fator de declividade e ondem dos canais.

A caracterização do sistema fluvial foi realizada a partir do processamento do MDE oriundo da missão SRTM (projeto NASADEM) com resolução espacial de 30 metros, em ambiente SIG. Os procedimentos técnicos operacionais foram realizados através dos algoritmos:



“Fill sinks (wang & liu)”, “Channel network and damage basins” do SAGA GIS (versão 2.3.2). A primeira etapa desse processo a ser realizada foi o refinamento dos dados de elevação (MDE), que foram corrigidos e transformados em MDEHC (Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente) que tem por finalidade preencher áreas de depressões, bem como, áreas com ressaltos exagerados.

Para análise da precipitação, utilizou-se a dados dos municípios de ambos os estados que compõem a bacia do rio Seridó, oriundos dos órgãos estaduais dos estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte, a EMPARN – Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte e AESA, do estado da Paraíba.

Os procedimentos técnicos utilizados para a análise da fragilidade ambiental derivam da proposta apresentada “Modelo de Fragilidade Potencial Natural com apoio nas Classes de Declividade” por Sprol e Ross (2004) que tem como principal objetivo confeccionar uma carta síntese de fragilidade ambiental com apoio nas classes de declividade. Assim o MDEHC, anteriormente gerado, possibilitou a obtenção do mapa de declividade com classes de declividade hierarquizadas da seguinte forma:

**Tabela 1** - Classes de declividade

Classe do Índice	Ponderação	Índice da Classe	Cores das Classes
Muito Baixa	1	< 6%	
Baixa	2	6% a 12%	
Média	3	12 a 20%	
Alta	4	20% a 30%	
Muito Alta	5	> 30%	

Fonte: Adaptado de Sprol e Ross (2004).

As demais variáveis como solos, cobertura vegetal/uso da terra e pluviosidade foram hierarquizadas também em cinco classes de acordo com sua vulnerabilidade. Assim, as variáveis mais estáveis apresentarão valores mais próximos de 1,0, as intermediárias ao redor de 3,0 e as mais vulneráveis estarão próximas de 5,0 (SPROL; ROSS, 2004). Estas variáveis foram classificadas em cinco graus diferenciados de fragilidade, conforme apresentado a seguir:

- Solos - classe de fragilidade muito baixa (1) a muito forte (5);
- Cobertura Vegetal - grau de proteção muito alto (1) a muito baixo/nulo (5);
- Pluviosidade - categoria hierárquica muito fraca (1) a muito forte (5);

Assim, foi realizado a álgebra de mapas para confecção da carta síntese de fragilidade ambiental por meio da equação 1:

$$FA = Dc + Sl + CV + Pv \quad \text{Eq (1)}$$



Onde:

FA – Fragilidade Ambiental;

Dc – Declividade;

SI – Solos;

CV – Cobertura Vegetal;

Pv – Pluviosidade;

Aplicação destes procedimentos vislumbrou obter como resultados cinco graus diferenciados de fragilidade ambiental para a área de estudo, sendo eles classificados em: muito fraca, fraca, média, forte e muito forte (SPROL; ROSS, 2004).

**Tabela 2** - Classes de fragilidade ambiental

Classe do Índice	Ponderação	Cores das Classes
Muito Baixa	4	Verde escuro
Baixa	8	Verde claro
Média	12	Amarelo
Alta	16	Laranja
Muito Alta	20	Vermelho

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos com a aplicação dessa metodologia referem-se à obtenção dos mapas de declividade, solos, cobertura vegetal e pluviometria, estas variáveis dão subsídio à análise da fragilidade ambiental. Assim, em um primeiro momento, possibilitou-se a realização da quantificação das áreas em diferentes percentuais para cada classe da referida variável em relação à área total.

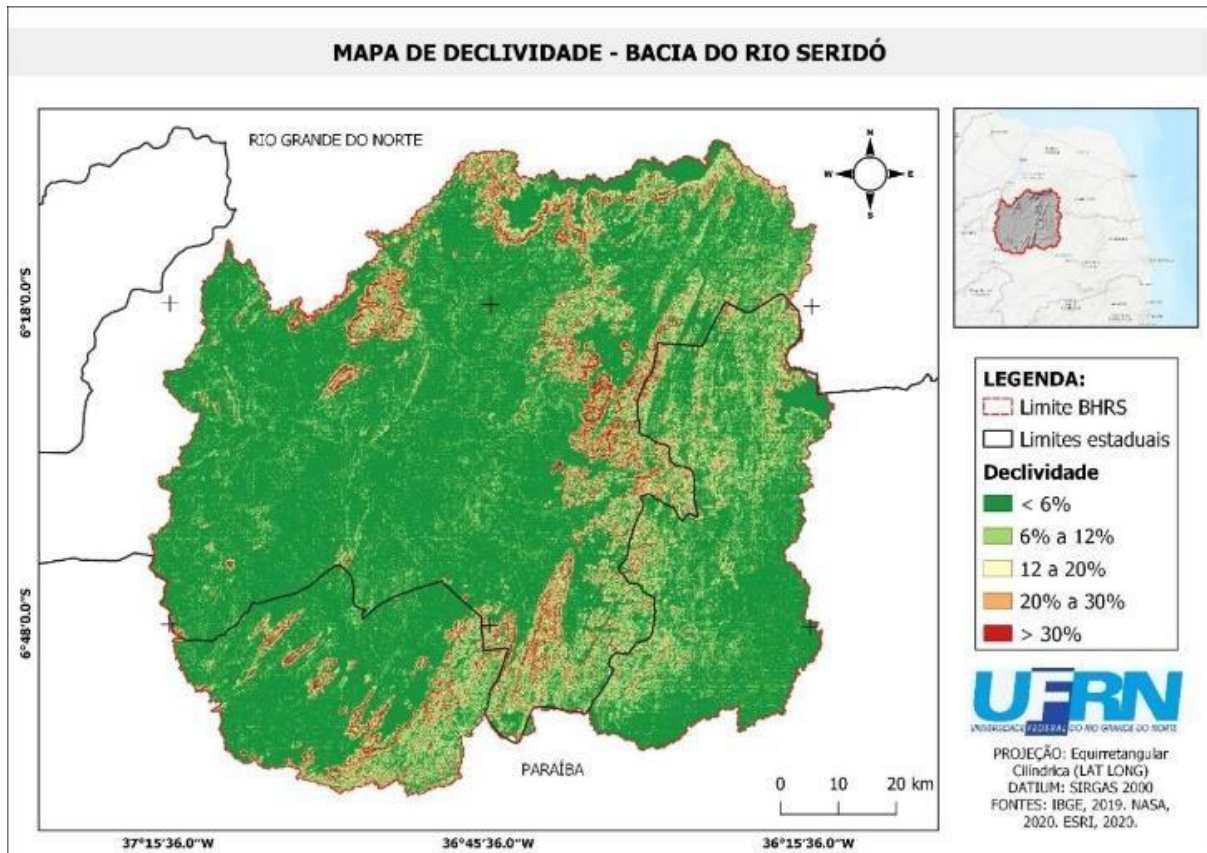
Referente à declividade, quando realizada a interpretação do modelo, pode-se notar que as áreas de maiores índices incidem sobretudo aquilo que corresponde às escarpas a sotavento do Planalto da Borborema, bem como aos relevos residuais provenientes de inselbergs e maciços rochosos do escudo cristalino, em contraste com feições mais planas da Depressão Interplanáltica Sertaneja (AB'SABER, 1999; 2003). Estas áreas correspondem, respectivamente, a índices de declividades superiores a 30% e representam cerca de 4% da área total da bacia.

Em ordem decrescente, constata-se que as áreas referentes aos intervalos de 20 a 30% e 12 a 20%, representando 9% da área total da bacia, correspondem às áreas de colúvio, caracterizando-se como os sopés de encostas e morros. Seguidamente, observa-se a predominância dos intervalos 6 a 12% e < 6%, que representam modelados de denudação que são



compostos pelos pedimentos rochosos com cobertura detrítica e os planos aluviais, estes que correspondem a 87% da área total da bacia (Figura 2).

**Figura 2** - Mapa de Declividade



Fonte: Elaborado pelos autores, 2021.

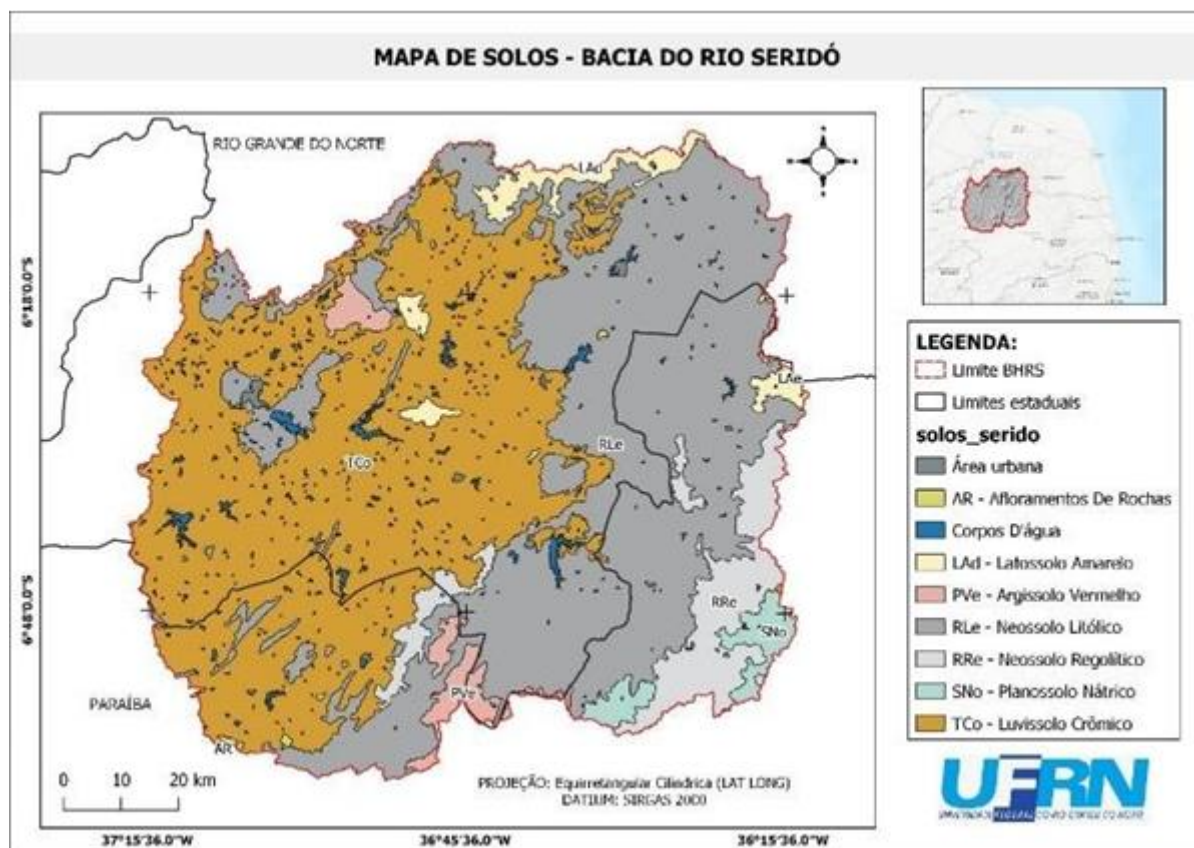
De maneira geral, a bacia do Rio Seridó caracteriza-se pela presença de solos rasos e pouco espessos, muitas vezes pedregosos, resultando em condições bioclimáticas e litológicas da região semiárida que sofrem fortes influências do embasamento cristalino, sobretudo em virtude do intemperismo físico. Em contrapartida, algumas áreas apresentam ainda pequenas manchas de solos com grandes profundidades e altos níveis de fertilidade, estas, localizadas próximas aos sopés das serras, e sobretudo dos cursos d'água (PEREIRA NETO, 2013).

Em termos de extensão e porcentagem de área no referido recorte espacial, observa-se que há predominância dos Luvisolos crômicos e dos Neossolos litólicos, correspondendo respectivamente a 44,95% e 41,94%. As demais áreas da bacia subdividem-se em Latossolos amarelos, Argissolos, Neossolos regolíticos, Planossolos nátricos, áreas urbanas, corpos d'água continentais e afloramentos rochosos que correspondem a 13,11% da área (Figura 3).





Figura 3 - Mapa de Solos



Fonte: Elaborado pelos autores, 2021.

No tocante às condições de cobertura vegetal, que se caracterizam muitas vezes como aquelas que refletem com maior eficácia o grau de conservação de determinados sistemas ambientais, quase sempre estão associadas com níveis de impacto antrópico.

Cabe destacar que “são nítidos os efeitos da vegetação com relação à proteção do solo, a saber: a) fornecimento de matéria orgânica por meio de serrapilheira, b) regulação do regime hídrico, c) estabilização do microclima regional, entre diversos outros” (PEREIRA NETO, 2013, p. 70). De tal modo, verifica-se, segundo a escala e a classificação adotadas nessa pesquisa, que a classe Caatinga arbórea densa, Caatinga arbustiva arbórea densa, Caatinga arbustiva densa, Solo exposto e Corpos hídricos correspondem respectivamente a 4%, 6%, 36%, 44% e 10% (Figura 4). Conforme ressaltado por Pereira Neto e Silva (2013), essas áreas são reconhecidas como importantes refúgios da biodiversidade regional, com uma densa cobertura vegetal e uma grande variedade de espécies. Esses locais requerem uma atenção especial por parte das ações de conservação do Estado, entidades privadas e acadêmicas, devido ao seu potencial como reservas minerais significativas e por estarem sujeitos a uma grande pressão humana, especialmente relacionada à indústria de mineração nessa região.



**Figura 4 - Mapa de Cobertura Vegetal**



Fonte: Elaborado pelos autores, 2021.

Dados do Programa MapBiomas (2022) apontam para o aumento do desmatamento dos biomas brasileiros, incluindo a Caatinga, indicando diminuição da cobertura vegetal que vem atingindo áreas inclusive dentro de unidades de conservação. Na bacia do rio Seridó não tem sido diferente, apresentando alto percentual de solo exposto.

É sabido que os processos que envolvem os sistemas atmosféricos possuem fortes influências sobre os demais elementos do ambiente, produzindo assim transferências de matéria e energia e, conseqüentemente, causando inputs e outputs nos sistemas. De tal maneira, debruçando-se sobre a variável precipitação e, sobretudo, reunindo importantes informações sobre processos e fenômenos que envolvem pedogênese e morfogênese, como por exemplo o intemperismo, a denudação, processos erosivos, entre outros, constata-se que a precipitação tem importante participação na avaliação da fragilidade ambiental.

Sendo assim, na bacia do Rio Seridó, bem como no semiárido brasileiro, de maneira geral, o ambiente passa pela ocorrência de eventos extremos, onde ora registram-se grandes secas e ora registram-se eventos muito intensos de precipitação (LUCENA *et al.*, 2018). De tal forma, o ambiente é marcado por duas estações bem definidas: uma muito seca, outra moderadamente

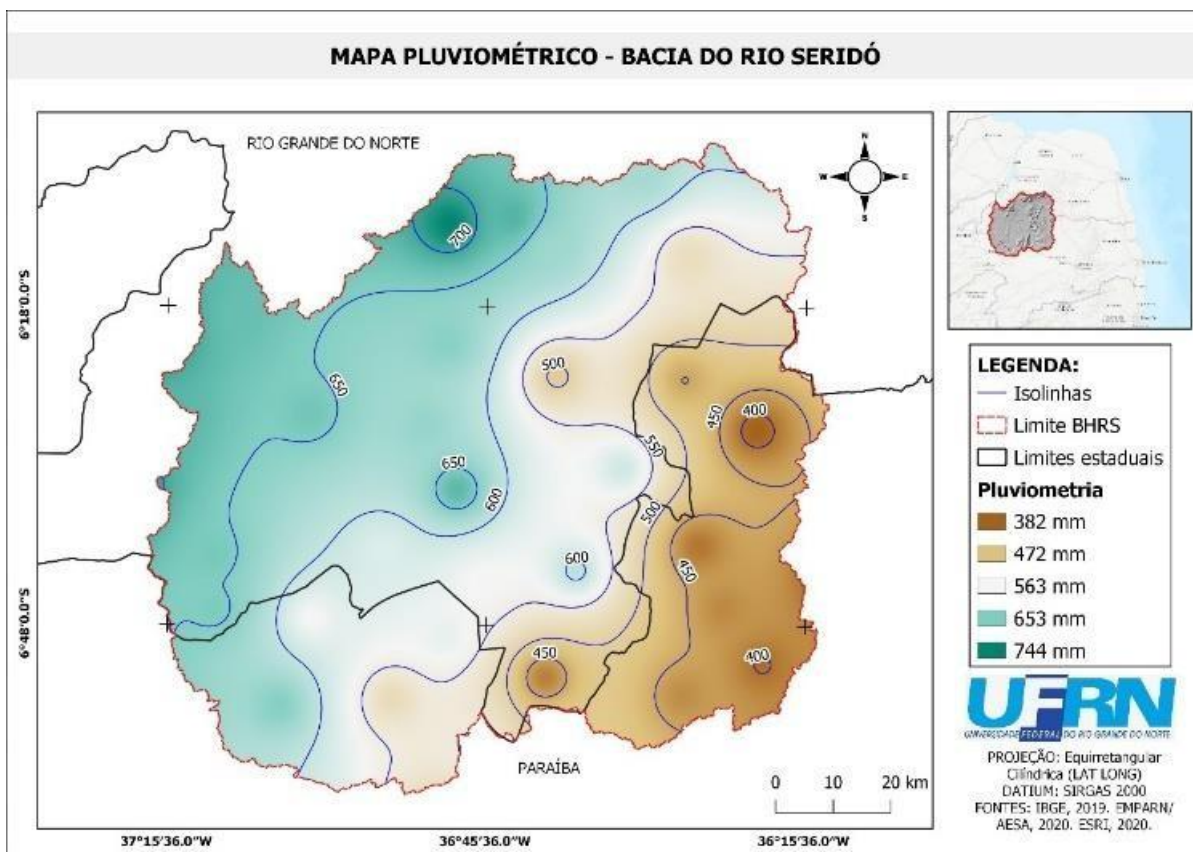


chuvosa, onde “podem ocorrer anos muito secos e eventuais períodos de grandes chuvas, com inundações catastróficas” (AB’SABER, 1999, p. 13).

Observa-se na figura 5 que as áreas que registram pluviosidade inferior a 500 mm correspondem às localidades próximas aos municípios de Frei Martinho-PB, Picuí-PB, Nova Palmeira-PB, Nova Floresta-PB, Pedra Lavrada-PB, Santa Luzia-PB. Já no território potiguar, os municípios de Acari-RN, Currais Novos-RN, Carnaúba dos Dantas-RN.

Já as áreas que registram pluviosidade superior a 600 mm correspondem às localidades próximas aos municípios de Caicó-RN, São Fernando-RN, Florânia-RN, Cruzeta-RN, entre outros (Figura 5). Essas áreas apresentam relações morfoclimáticas com maiores probabilidades de ocorrência de chuvas intensas e de grande potencial erosivo (PEREIRA NETO, 2013). O leste da bacia hidrográfica possui as menores cotas pluviométricas como também identificado nos trabalhos de Lucena *et al.* (2018) e Monteiro *et al.* (2024).

**Figura 5** - Mapa Pluviométrico



Fonte: Elaborado pelos autores, 2021.

Procurou-se, pois, identificar e descrever os elementos e variáveis de maneira inter-relacionada, no caso da proposta de Ross (1994), para a escala utilizada, apontando-se, pois, a dissecação do relevo como aspecto de maior peso para a fragilidade potencial, seguido respectivamente pela cobertura pedológica e pelos aspectos climáticos mediante os índices de pluviosidade médios anuais.



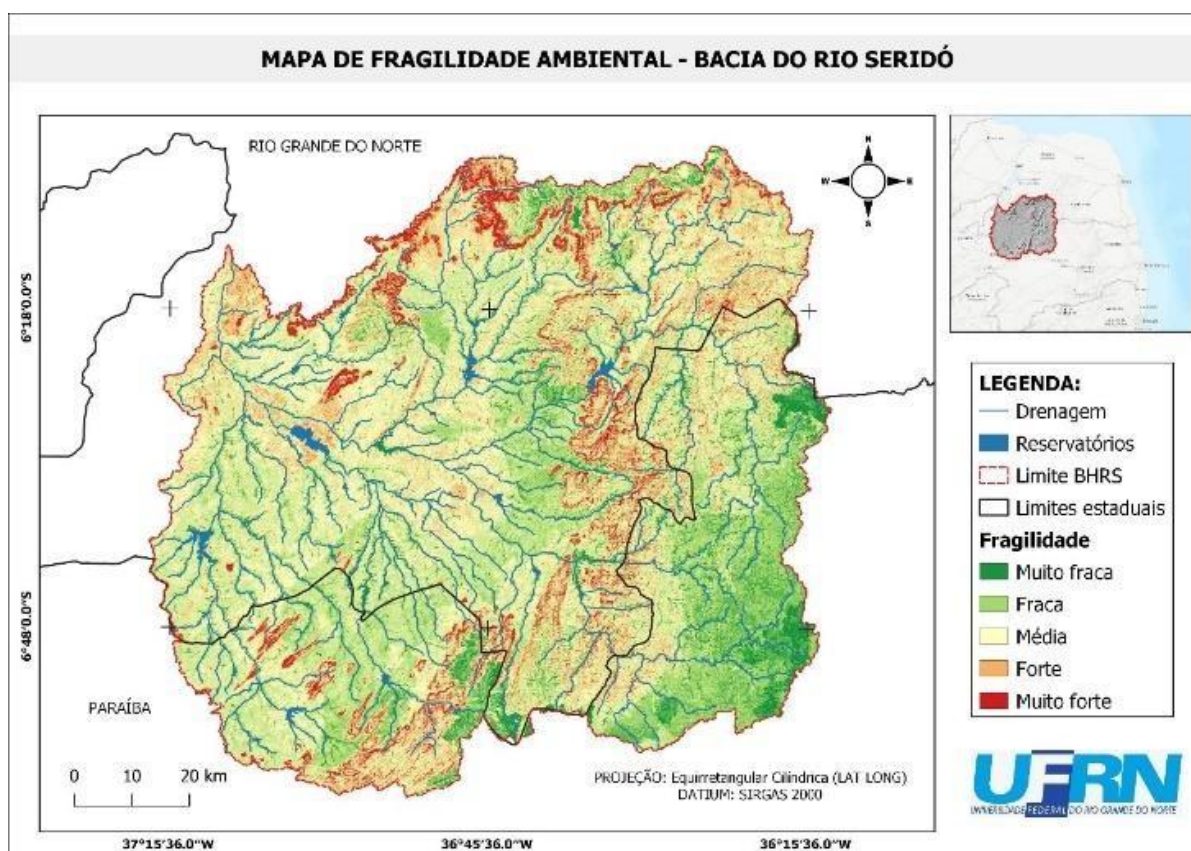


Em termos gerais, são áreas que envolvem uma combinação de variáveis distintas (relevo-solo-clima), e que estabelecem certa complexidade sobre a ecodinâmica em cada uma das classes analisadas, sejam elas consideradas de muito fraca, fraca, média, forte ou muito forte instabilidade potencial.

O mapa de fragilidade ambiental, produto desse trabalho, é um documento cartográfico de síntese que resulta da análise integrada da declividade, solo, cobertura vegetal e pluviosidade. Observando-se o mapa de fragilidade ambiental (Figura 7), pode-se constatar que a referida área apresenta 11% de sua totalidade com fragilidade ambiental muito fraca, 40% com fraca fragilidade. Nestas áreas, constata-se a presença de vegetações bem preservadas e correspondem a boa parte de áreas com difícil acesso, onde localizam-se o relevo ondulado e montanhoso do Planalto da Borborema.

Já o total de 25% de média fragilidade corresponde a áreas situadas no Planalto da Borborema e na Depressão Sertaneja, que recorrem à presença de relevos onde prevalecem as classes de declividade entre 12 e 30% (Figura 7), bem como às Planícies Fluviais, onde as classes de declividade estão entre 6 e 12% (Figura 7). Contudo, nestas áreas pode-se constatar a ocorrência de maiores índices pluviométricos próximos de 650 mm e 700 mm (Figura 5).

**Figura 7** - Mapa da Fragilidade Ambiental



Fonte: Elaborado pelos autores, 2021.



É importante destacar que estas áreas, apesar de não apresentarem um relevo fortemente dissecado, possuem as maiores taxas de pluviosidade média anual, dispondo, pois, de grande energia cinética para intensificação dos processos de instabilidade, como por exemplo ao próprio intemperismo físico” (PEREIRA NETO, 2013, p. 88). Existe ainda a presença de alguns pontos isolados, mas com menores proporções, que, apesar de apresentarem baixa suscetibilidade à erosão dos solos, apresentam relevos com altos índices de dissecação.

As classes forte e muito forte, correspondendo respectivamente a 18% e 6% da área total da bacia, são exemplos de formações de relevo presentes nessas áreas como escarpas fortemente dissecadas a sotavento do Planalto da Borborema, bem como maciços residuais localizados na Depressão Sertaneja que correspondem aos inselbergs e afloramentos rochosos. Assim, constata-se que este quadro morfoclimático, quando analisadas as condições do regime pluvial, que favorece a ação da erosão em virtude da presença de eventos climáticos extremos, atrelado ao fato da existência de uma tênue camada pedológica que facilmente pode ser erodida. Tais fatores, associados a ação humana (RAMALHO, 2013), podem impedir a regeneração da cobertura vegetal.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados possibilitaram concluir que a fragilidade ambiental esta presente em diferentes feições e escalas do ambiente, pois apresentaram frequência em ambientes com consideráveis níveis de vegetação, ressaltando que existe certa complexidade no que tange a análise sistêmica e integrada de variáveis ambientais que podem ou levam ao desenvolvimento da fragilidade ambiental, como pro exemplo os altos níveis de dissecação do revelo em virtude da declividade.

Assim observou-se que as áreas com vegetação bem preservada e de difícil acesso, localizadas no relevo ondulado e montanhoso do Planalto da Borborema, apresentam baixa fragilidade ambiental devido à proteção oferecida pela vegetação e à menor intervenção humana.

As áreas situadas no Planalto da Borborema e na Depressão Sertaneja, que possuem declividades entre 6% e 30% e maiores índices pluviométricos, apresentam média fragilidade ambiental devido à combinação de relevo moderadamente inclinado e alta pluviosidade, que intensifica os processos erosivos.

Ja onde o relevo se comporta com características como: escarpas fortemente dissecadas e maciços residuais na Depressão Sertaneja, correspondentes aos inselbergs e afloramentos rochosos, apresentam alta fragilidade ambiental devido à sua suscetibilidade à erosão causada por eventos climáticos extremos e à presença de uma fina camada de solo facilmente erodível.





A determinação da qualidade ambiental a partir do uso do software de geoprocessamento mostrou-se uma ferramenta útil e competente para o planejamento territorial e pode auxiliar no gerenciamento de bacias por parte das autoridades, com a possibilidade de aplicação em diferentes escalas e com o auxílio de outros fatores ambientais. Assim, a presente metodologia possibilitou, sobretudo, avaliar o grau de fragilidade ambiental na bacia do rio Seridó.

## REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, 22(6), 711–728, 2013. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- AB'SÁBER, Aziz Nacib. **Sertões e sertanejos**: uma geografia humana sofrida. Estudos avançados, v. 13, n. 36, p. 7-59, 1999.
- AB'SÁBER, Aziz Nacib. **Os domínios de Natureza no Brasil**: potencialidades paisagísticas. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003. 158p.
- FERREIRA, A. G. e MELLO, N. G. da S. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região Nordeste do Brasil e a influência dos Oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, n. 1, Presidente Prudente, 2005.
- FRANCISCO CES, Coelho RM, Torres RB, Adami SF. Análise Multicriterial na seleção de bacia hidrográfica para recuperação ambiental. **Ciência Florestal** 2008; 18(1): 1-13.
- IBGE (Brasil). População no último censo: IBGE, Censo Demográfico 2022.
- KAWAKUBO, Fernando Shinji et al. Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento. **Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil**, p. 16-21, 2005.
- LUCENA, R. L.; CABRAL JUNIOR, J. B.; STEINKE, E. T. Comportamento Hidroclimatológico do Estado do Rio Grande do Norte e do Município de Caicó. **Revista brasileira de Meteorologia**, v. 33, p. 485-496, 2018. <https://doi.org/10.1590/0102-7786333008>
- MAPBIOMAS. **Relatório Anual de Desmatamento 2021** - São Paulo, Brasil: MapBiomas, 2022 - 126 páginas - Disponível em [https://s3.amazonaws.com/alerta.mapbiomas.org/rad2021/RAD2021\\_Completo\\_FINAL\\_Rev1.pdf](https://s3.amazonaws.com/alerta.mapbiomas.org/rad2021/RAD2021_Completo_FINAL_Rev1.pdf).
- MEDEIROS, Redy Rocha de; SANTOS, José Yure Gomes dos. CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA DA BACIA DO RIO SERIDÓ, RN/PB. **XXV SBRH - Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**: ABRHidro Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Centro de Convenções AM Malls - Sergipe, ano 2023, ed. 25, p. 1-10, 2023. Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=15293>. Acesso em: 25 nov. 2023.
- MONTEIRO, F.; LUCENA, R. L.; MARIZ FARIA, R.; SANTIAGO REIS, J. Análise espacial das chuvas no Estado do Rio Grande do Norte, Brasil. **Revista Geográfica de América Central**, v. 1, p. 59-78, 2024.
- MORAES, I. C. ; CORREA, E. A. ; CONCEIÇÃO, F. T. . Análise da fragilidade ambiental



utilizando técnicas em SIG: estudo de caso da bacia hidrográfica do Córrego do Desemboque, Pirassununga-SP-Brasil. In: **VIII Simpósio Nacional de Geomorfologia, III Encontro Latino-Americano de Geomorfologia, I Encontro Íbero-Americano do Quaternário**, 2010, Recife-PE.

NETO, MCP; FERNANDES, E. Instabilidade emergente e aspectos de degradação ambiental da bacia hidrográfica do Rio Seridó (RN/PB–Brasil). **Revista de Geografia**, v. 33, n. 1, 2016.

PADILHA DG. **Geoprocessamento aplicado na caracterização da fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Arroio Grande-RS** Dissertação de mestrado Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria/UFSM; 2008.87 p.

PINHEIRO, E.A.R.; METSELAAR, K.; DE JONG VAN LIER, Q.; ARAÚJO, J.C. de. Importance of soil-water to the Caatinga biome, Brazil. **Ecohydrology**. v. 9, p. 1313–1327, 2016

PEREIRA NETO, Manoel Cirício. Fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Seridó (RN/PB Brasil). 2013. 118 f. **Dissertação (Mestrado em Dinâmica e Reestruturação do Território)** - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2013.

RABELO, Davi Rodrigues; DE ARAÚJO, José Carlos. Estimativa e mapeamento da erosão bruta na bacia hidrográfica do rio seridó, Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 20, n. 2, 2019.

RABELO, D. R.; SILVA, N. S. . Proposta Preliminar de Mapeamento Geomorfológico da Bacia do Rio Seridó RN/PB.. **Revista De Geociências Do Nordeste**, V. 2, P. 262-270, 2016.

RAMALHO, M. F. de J. L. A fragilidade ambiental do Nordeste brasileiro: o climasemiárido e as imprevisões das grandes estiagens. **Sociedade e Território**, Natal, v. 25, nº 2, Edição especial, p. 104-115, jul./dez. 2013.

RODRIGUES JBT, Zimback CRL, Piroli EL. Utilização de Sistema de Informação Geográfica na Avaliação do Uso da Terra em Botucatu (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 2001.

ROSS, J. L. S. Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 8, p. 63-74. 1994.

SILVA, A. D. G.; SANTOS, A. L. B.; SANTOS, J. M.; LUNA LUCENA, R. Balanço hídrico climatológico e classificação climática do estado do Rio Grande do Norte. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 30, p. 798-816, 2022.

TRICART J. **Ecodinâmica. Rio de Janeiro**: IBGE; 1977. Série recursos naturais e meio ambiente. SPORL, Christiane; ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos. **GEOUSP-Espaço e Tempo**, v. 15, p. 39-49, 2004.