

Análise da vulnerabilidade natural à perda do solo do médio curso da bacia hidrográfica do Rio Apodi-Mossoró/RN/Brasil

Analysis of natural vulnerability to soil loss of the medium course of Apodi-Mossoró River Basin (RN, Brazil)

Franklin Roberto da Costa
Universidade do Estado Rio Grande do Norte, Brasil

Victor Elias Leite
Universidade do Estado Rio Grande do Norte, Brasil

Paula Ravenna de Figueiredo Gomes
Universidade do Estado Rio Grande do Norte, Brasil

Maria Daniele de Queiroz
Universidade do Estado Rio Grande do Norte, Brasil



RESUMO

Objetivo da Investigação: Analisar a vulnerabilidade natural à perda do solo do médio curso da bacia hidrográfica do Rio Apodi Mossoró.

Metodologia: Realizou-se a média aritmética das variáveis do meio físico em ambiente SIG.

Resultados: O resultado mostrou que a bacia se encontra na classe Medianamente Estável/Vulnerável, com valor médio de 2,04, na escala de 1,0 a 3,0. Cerca de 25% da área apresentou classe considerável entre medianamente vulnerável a vulnerável. Sugere-se que, para essas áreas, sejam criados critérios que limitem o uso e ocupação, tendo como suporte as legislações ambientais em vigor, visando a conservação e/ou restauração dos sistemas naturais ainda existentes.

Originalidade/Valor: O artigo apresenta um método visando identificar a vulnerabilidade natural em bacias hidrográficas de regiões semiáridas, tendo como suporte o uso de geotecnologias. A partir desse método, é possível identificar quais condicionantes do meio físico mais influenciam na vulnerabilidade natural, identificando áreas mais propícias à preservação/conservação do ambiente.

Palavras-chave: Vulnerabilidade, SIG, Bacia Hidrográfica, Meio Físico, Mapas.

ABSTRACT

Research Purpose: To analyse the natural vulnerability to soil loss of the middle course of the Apodi Mossoró River watershed/RN.

Methodology: The arithmetic mean of the variables of the physical environment was performed in a GIS environment.

Findings: The result showed that the basin is in the Moderately Stable/Vulnerable class, with a mean value of 2.04, on a scale of 1.0 to 3.0. About 25% of the area presented considerable class between moderately vulnerable to vulnerable. It is suggested that, for these areas, to create criteria be created that limit the use and occupation, having as support the environmental legislation in force, aiming at the conservation and/or restoration of the natural systems that still exist.

Originality/Value: The article presents a method aimed at identifying the natural vulnerability in watersheds of semi-arid regions, supported by the use of geotechnologies. From this method, it is possible to identify which conditioning factors of the physical environment most influence the natural vulnerability, identifying areas more conducive to the preservation/conservation of the environment.

1. Introdução

De acordo com Hollanda et al. (2012), a realização do manejo integrado de bacias hidrográficas (MIBH) pode ser considerado como uma das unidades geográficas ideal para se caracterizar, diagnosticar, avaliar e planejar o uso dos recursos naturais ali presentes. Neste sentido, os autores entendem que a análise dos recursos naturais ganha destaque, uma vez que são nessas complexidades que se constituem as principais formas de uso do solo, consumindo-os, exaurindo-os ou conservando-os.

Estes recursos, segundo Grisi (2000), podem ser entendidos como componentes bióticos e abióticos que permitam à manutenção, crescimento e reprodução dos seres vivos. Esses componentes, segundo o autor, devem ser utilizados pela sociedade, com a meta do desenvolvimento econômico e social.

Uma das formas de se analisar como esses recursos se comportam no meio, identificando suas fragilidades naturais para determinado fenômeno, é a partir do mapeamento sob da vulnerabilidade natural, servindo de subsídio para gestão/ordenamento territorial. Assim, para a análise da vulnerabilidade natural, são necessários conhecimentos voltados às potencialidades do meio físico (solos, relevos, rochas, hidrografia e clima), avaliados de forma integrada, pois esses elementos funcionam conjuntamente, constituindo-se em fluxos de matéria e energia.

Uma das metodologias mais utilizadas para a realização da vulnerabilidade natural é a utilizada por Crepani et al. (2001). Para tanto, são realizados levantamentos de campo, serviços de laboratório, cujo objetivo é criar um banco de dados geográficos tendo como referência as variáveis do meio físico Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Climatologia e Vegetação.

Após o mapeamento, é associado um valor de vulnerabilidade que varia de acordo com seu estado ecodinâmico, seguindo a metodologia utilizada por Tricart (1977), que está baseado no fluxo de matéria e energia para demonstrar que, na natureza, há relações de equilíbrio dinâmico tendo como referência a Teoria dos Sistemas. No entanto, esse equilíbrio é alterado pelas intervenções antrópicas no meio natural, podendo gerar desequilíbrios temporários e/ou permanentes. Nestas situações, Tricart (1977) afirma que os ambientes em equilíbrio são considerados estáveis e, em desequilíbrio, instáveis.

Esse valor de vulnerabilidade é atribuído com intervalos que variam de 1 a 3, sendo as áreas estáveis com valores próximos a 01 (um); as áreas intermediárias com valores próximos a 2 (dois) e, em áreas instáveis, valores próximos a 03 (três). Crepani et al. (2001), além de realizarem a classificação dos graus de vulnerabilidade à erosão do solo, também orientaram o uso das cores para a representação de cada uma delas, como pode ser visto na Figura 1.

Figura 1

Escala de vulnerabilidade natural a perda do solo.

UNIDADE DE PAISAGEM	MÉDIA	GRAU DE VULNERAB.	GRAU DE SATURAÇÃO			
			VERM.	VERDE	AZUL	CORES
U1	3,0	VULNERÁVEL	255	0	0	
U2	2,9		255	51	0	
U3	2,8		255	102	0	
U4	2,7		255	153	0	
U5	2,6		255	204	0	
U6	2,5	MODERADAM. VULNERÁVEL	255	255	0	
U7	2,4		204	255	0	
U8	2,3		153	255	0	
U9	2,2	MEDIANAM. ESTÁVEL/ VULNERÁVEL	102	255	0	
U10	2,1		51	255	0	
U11	2,0		0	255	0	
U12	1,9		0	255	51	
U13	1,8	MODERADAM. ESTÁVEL	0	255	102	
U14	1,7		0	255	153	
U15	1,6		0	255	204	
U16	1,5	MODERADAM. ESTÁVEL	0	255	255	
U17	1,4		0	204	255	
U18	1,3	ESTÁVEL	0	153	255	
U19	1,2		0	102	255	
U20	1,1		0	51	255	
U21	1,0		0	0	255	

Fonte: Crepani et al., (2001).

Esse método vem sendo aplicado, desde então, em vários estudos, com diferentes recortes espaciais de análise. Dentre os trabalhos analisados, exemplificaremos alguns destes a seguir.

Mesquita, Assis e Souza (2010) elaboraram um estudo da vulnerabilidade natural à perda de solos da bacia hidrográfica do rio Sagrado/PR, através da análise integrada das características do meio físico. As classes de vulnerabilidade foram aplicadas nos elementos de clinografia, geologia, pedologia e uso e cobertura da terra. Concluiu que o uso e cobertura da terra é um indicador de exposição das unidades em relação aos processos erosivos.

Barbosa e Lorandi (2012) apresentaram um estudo de vulnerabilidade à perda do solo na bacia hidrográfica do ribeirão do Pântano, sub bacia do rio Mogi-Guaçu, localizado na área central do Estado de São Paulo. Geraram cartas de vulnerabilidade com base nos temas geomorfologia, geologia, solo, vegetação, uso do solo e clima, elaboradas com auxílio das geotecnologias e fundamentada na abordagem metodológica proposta por Crepani et al. (2001). Como resultado, a bacia apresentou duas classes preponderantes: a moderadamente estável-vulnerável e a moderadamente vulnerável, sendo as maiores classes de erosão identificadas nas áreas periféricas às margens dos rios da bacia.

Mota e Valadares (2011) elaboraram um mapa de vulnerabilidade à degradação dos solos da bacia hidrográfica do rio Acaraú/CE, através do Sistema de Informações Geográficas e de metodologia multicritério aditivo. Foram avaliados os temas geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e clima, a partir da metodologia adotada por Crepani et al. (2001). Como resultado, observaram que a classe medianamente estável/vulnerável foi a mais representativa, representando 67,8% da bacia, seguida da classe moderadamente estável com mais de 28% da bacia. Concluíram que os resultados obtidos mostraram a

viabilidade da aplicação do método para a elaboração do mapa de vulnerabilidade ambiental que pode ser utilizado na gestão territorial da bacia.

Tavares, Romão e Oliveira (2020) analisaram a vulnerabilidade ambiental à perda de solos, no município de São Domingos (GO), a partir da adaptação da metodologia adotada por Crepani et al. (2001). A mudança da nomenclatura se deu pela inserção do tema uso e cobertura da terra. Como resultado, observou-se que a maior vulnerabilidade foi encontrada em regiões com maior declividade, em solos do tipo Neossolo Litólico, utilizados para a agropecuária. Grande parte do município foi classificado como medianamente estável ou medianamente vulnerável.

Ribeiro e Campos (2007) elaboraram um banco de dados com informações cadastrais e um mapa temático de vulnerabilidade natural à erosão para zoneamento ecológico da bacia hidrográfica do Alto Rio Pardo, município de Pardinho, SP, através do SIG SPRING, tendo como fonte de dados os mapas de solos, cartas topográficas, geológicas e geomorfológicas e dados de precipitação. O mapa de vulnerabilidade à erosão foi elaborado a partir de regiões homogêneas, sendo os pesos médios para cada tema associados a um valor de vulnerabilidade, gerando uma grade resultante da média zonal que, fatiada em termos de vulnerabilidade, resultou no mapa de vulnerabilidade à erosão. Os resultados mostraram que 95% da bacia apresenta grau de vulnerabilidade mediana e moderadamente estável, pela presença de solos de média jovialidade, em relevo suave ondulado e coberto por pastagem (49,27%) e cultura anual (29,88%).

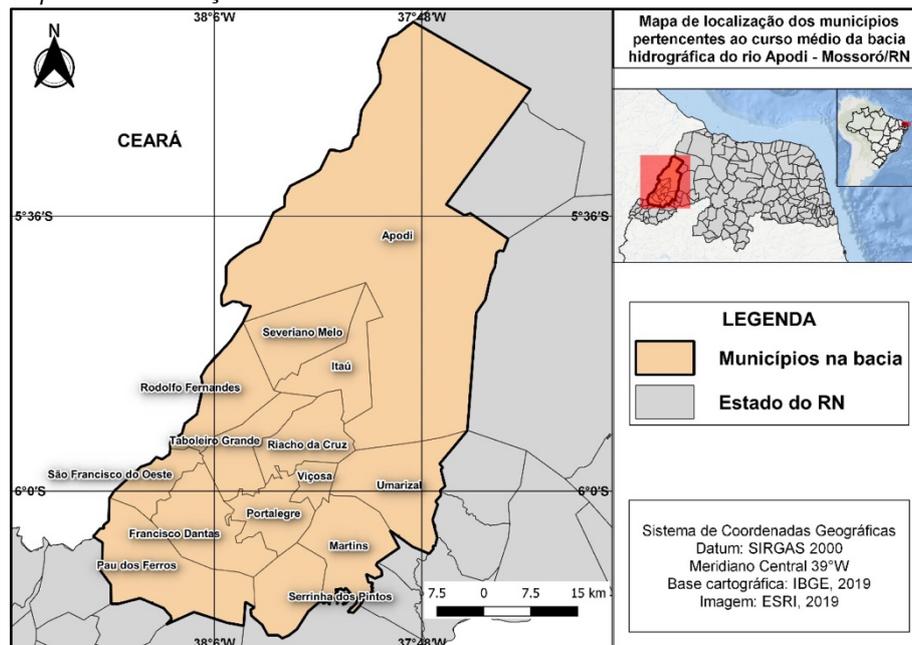
Observou-se que, em comum, estes trabalhos apresentaram bons resultados, disponibilizando mapas de vulnerabilidade natural à erosão do solo, que poderão servir como fonte de dados para a execução de planejamentos e gestões regionais, em diferentes recortes espaciais, entre eles, as bacias hidrográficas.

Neste sentido, o presente artigo teve como objetivo a elaboração de mapas base de vulnerabilidade do meio físico do curso médio da bacia hidrográfica do Apodi Mossoró que serviram de base para a elaboração dos mapas de vulnerabilidade natural, tendo como suporte o uso das Geotecnologias.

2. Materiais e Métodos

De acordo com os dados do Instituto de Gestão das Águas do Estado do Rio Grande do Norte – IGARN (2015), existem 618 açudes, que correspondem a 10,7% do volume de água do Estado (Figura 2).

Figura 2
Mapa de localização da área de estudo.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2020.

Nesta pesquisa, os resultados e conclusões foram apresentados a partir da atualização e elaboração de mapas do meio físico, com suporte de geotecnologias, tendo como norteadora a metodologia proposta por Crepani et al. (2001). Segundo o autor, para a realização do mapa de vulnerabilidade natural à perda do solo, é necessário a criação de indicadores ligados às características do meio físico (geologia, geomorfologia, solos, vegetação e clima).

Para o presente trabalho, foram obtidos dados de bases secundárias, em escalas variadas, provenientes da Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – SEMARH/RN e do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE.

Os dados obtidos foram integrados e processados no SIG QGIS Essen 2.14.18, para a realização do mapeamento da Vulnerabilidade Natural da área em estudo. O processamento se deu pela valoração das características da área de estudo, classificando-as de acordo com o predomínio da morfogênese (modificam a paisagem) ou da pedogênese (formação dos solos);

Os dados foram classificados em uma escala de 1,0 a 3,0, segundo metodologia adotada por Crepani et al. (2001).

Com os mapas produzidos, o passo seguinte foi realizar a álgebra de mapas, que consiste em realizar a sobreposição de mapas transformados de formato vetorial (.shp) para o formato raster (geotiff), em que é feita uma média aritmética simples na calculadora raster, existente no software QGIS. Foram trabalhados os mapas de Geologia, Geomorfologia, Solos, Vegetação e Clima (Intensidade Pluviométrica) para a execução da álgebra.

Após elaboração dos mapas por tema, executou-se o mapa da vulnerabilidade natural à perda de solo da

área em estudo. Com os mapas temáticos elaborados, foi possível extrair a quantidade de áreas existentes para cada variável e identificar quais os graus de vulnerabilidade existentes para o médio curso da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró.

3. Resultados e discussões

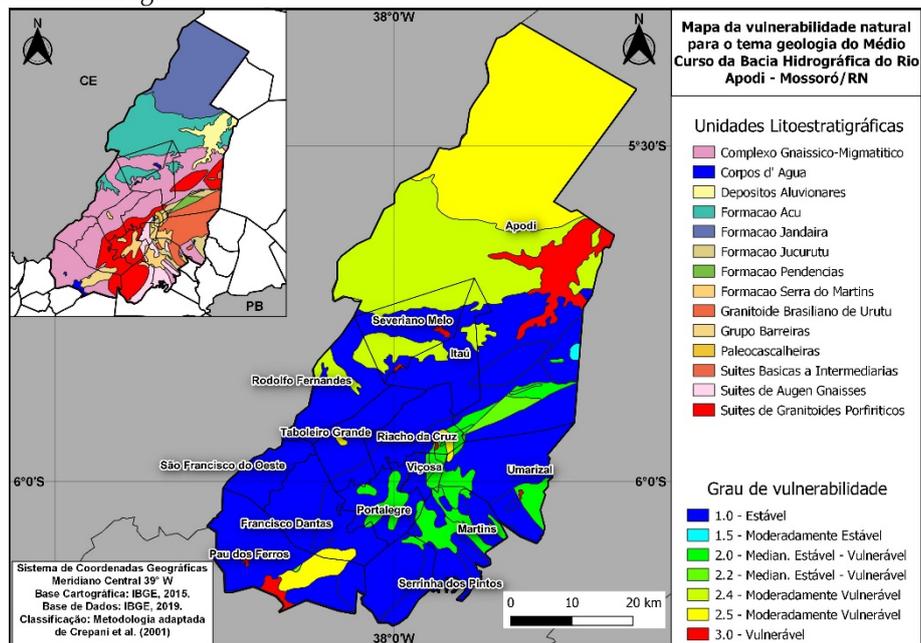
Os valores de vulnerabilidade e os tipos de variáveis existentes para cada tema foram organizados separadamente em mapas e tabelas, com o objetivo de apresentar maiores e menores estabilidades e vulnerabilidades naturais à perda do solo, seguindo a metodologia adotada por Crepani et al. (2001).

3.1 Geologia

Na Geologia, observou-se uma maior estabilidade na parte centro-sul da bacia, onde predomina uma geologia mais antiga, que data do proterozóico, com rochas mais duras e menos vulneráveis, como pode ser visto na Figura 3 e Tabela 1.

Figura 3

Mapa das unidades litoestratigráficas e o grau de vulnerabilidade para o tema Geologia.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2020.

Tabela 1*Variáveis e níveis de vulnerabilidade para o tema Geologia*

Geologia	Área km	Grau vulnerabilidade	%
Complexo Gnáissico-Migmatítico	1059,24	1,0	30,12
Suites de Granitoides Porfíricos	395,83	1,0	11,26
Granitoide Brasileiro Urutu	241,51	1,0	6,87
Suites de Augen Gnaisses	125,85	1,0	3,58
Suites Básicas a Intermediárias	3,83	1,0	0,11
Formação Jucurutu	104,04	2,0	2,96
Formação Serra de Martins	102,16	2,0	2,91
Formação Pendências	25,44	2,2	0,72
Formação Açú	602,07	2,4	17,12
Formação Jandaíra	672,22	2,5	19,12
Grupo Barreiras	48,29	2,5	1,37
Paleocascalheiras	7,46	2,5	0,21
Depósitos aluvionares	113,84	3,0	3,24
Corpos de água	14,81	3,0	0,42
Total/Média	3.450,54	1,9	100,00

Fonte: Elaborado pelos autores, 2020.

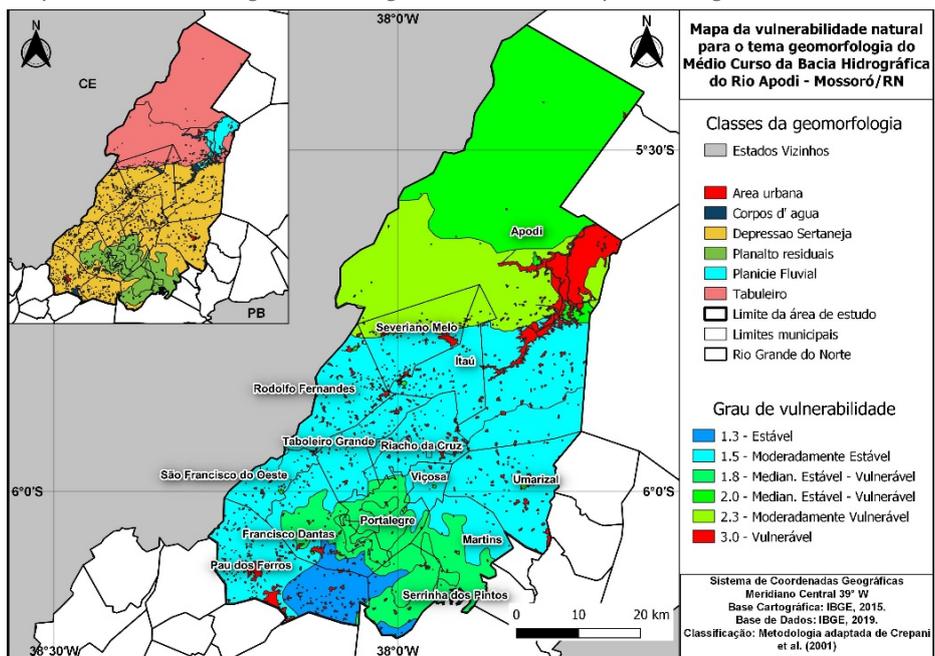
Observa-se que 51,94% da área em estudo (1187,89 km²) é dominada por rochas ígneas e metamórficas, com predominância do Complexo Gnáissico-Migmatítico (30,12%), seguido das Suítes de Granitoides Porfíricos (11,26%), Granitoide Brasileiro Urutu (6,87%) e a Suítes de Augen Gnaisses (3,58%). Essas áreas foram classificadas como áreas estáveis, com grau de vulnerabilidade 1,0.

As áreas intermediárias, classificadas como medianamente estável/vulnerável, foram representadas pelas Formação Jucurutu, Serra do Martins e Pendências, com uma área total de 231,64 km², totalizando 6,59% da bacia. O grau de vulnerabilidade para a Geologia nessa área ficou entre 2,0 e 2,2. As Formações Açú (17,12%) e Jandaíra (19,12%), o Grupo Barreiras (1,37%) e o Paleocascalheiras (0,21%) foram classificadas com nível moderadamente vulnerável, classificados com os níveis 2,4 e 2,5. Por fim, os depósitos aluvionares, representando 3,24% da área e os corpos d'água (0,42%), foram classificados como vulneráveis de nível 3,0.

3.2. Geomorfologia

A Geomorfologia da área em estudo apresenta a Depressão Sertaneja como predominante, que corresponde a 2.244,4 km², o equivalente a 54,93% da área total (Figura 4) (Tabela 2). Essas áreas são caracterizadas, segundo Pfaltzgraff e Torres (2010), por um conjunto de padrões de relevo com amplo domínio de superfícies aplainadas, com relevo plano a suavemente ondulado. Nesse sentido, apresentam baixa vulnerabilidade, sendo caracterizadas como vulnerabilidade de nível 1,5, considerável estável para processos erosivos, segundo a classificação de Crepani et al. (2001).

Figura 4
 Mapa das unidades geomorfológicas e os seus respectivos graus de vulnerabilidade.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2020.

Tabela 2
 Variáveis e níveis de vulnerabilidade para o tema Geomorfologia

Geomorfologia	Unidade Geomorfológica	Vulnerabilidade	Área km ²	% total
Área urbana	Área urbana	2	9,81	0,24
Corpos d' água	Corpos d' água	3	87,78	2,15
Depressão Sertaneja	Depressão sertaneja - Formas convexas	1,5	1017,75	24,91
Depressão Sertaneja	Depressão sertaneja - Formas tabulares	1,5	1218,11	29,81
Depressão Sertaneja	Depressão sertaneja - Formas aguçadas	1,5	8,54	0,21
Planalto residuais	Planaltos residuais - Formas aguçadas	1,8	277,07	6,78
Planalto residuais	Planaltos residuais - Superfície tabular erosiva	1,8	100,07	2,45
Planície Fluvial	Planície de inundação fluvial	3	90,71	2,22
Tabuleiro	Tabuleiros - Formas tabulares	2,3	536,42	13,13
Tabuleiro	Tabuleiros - Superfície pediplanada	2	739,15	18,09
Total		2,04	3.450,54	100

Fonte: Elaborado pelos autores, 2020.

Os Planaltos residuais se apresentam na área em estudo, conforme Pfaltzgraff e Torres (2010), como fragmentos de uma pretérita superfície cimeira capeada por arenitos lateralizados de idade Terciária da Formação Serra dos Martins, com cotas que variam entre 700 e 800 metros de altitude, abruptamente delimitadas por escarpas erosivas, tais como as Serras de Martins e Portalegre. Nessa unidade, o nível de vulnerabilidade foi classificado como medianamente estável, com valor de 1,8 na intensidade do grau de erosividade.

Os Tabuleiros Costeiros são formas de relevos tabulares esculpidas em rochas sedimentares. Segundo Pfaltzgraff e Torres (2010), são pouco litificadas e dissecadas por uma rede de canais com baixa a moderada

densidade de drenagem, com formação de solos espessos e bem drenados, com baixa suscetibilidade à erosão. Nesse sentido, foi classificado como vulnerabilidade medianamente estável, com grau de vulnerabilidade de nível 1,8.

As demais unidades geomorfológicas existentes na área estudada da bacia são os Tabuleiros (Formas tabulares e de superfície pediplanada), a planície fluvial e as áreas urbanas. Com exceção da planície de inundação fluvial, classificada como área vulnerável (3,0), com uma área de 90,71 km², as demais áreas foram classificadas como áreas medianamente estáveis/vulneráveis (2,0) a moderadamente vulneráveis (2,3), representando 31,22%.

3.3. Pedologia

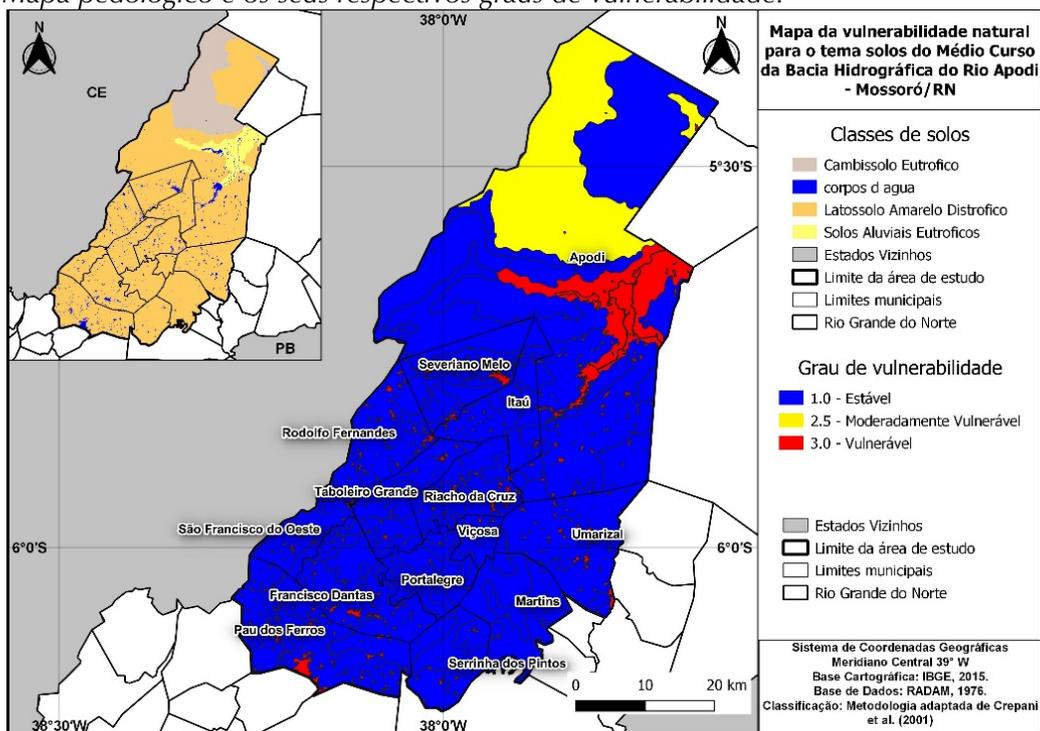
No tocante à pedologia, de acordo com o IBGE (2014), a área em estudo apresenta 3 classes de solos. Estes podem ser visualizados na Figura 5, além da sua extensão, percentual de área e grau de vulnerabilidade na Tabela 3.

Segundo Crepani et al. (2001), os Latossolos possuem estabilidade em relação à vulnerabilidade do solo pois são desenvolvidos, têm grande profundidade e porosidade. Além de possuírem permeabilidade à água e ao ar, bem como são friáveis e de baixa plasticidade.

São considerados poucos susceptíveis aos processos erosivos e ocorrem em topografias mais suaves. Na área em estudo, se encontram na porção centro-sul, sendo a unidade mais presente na área, com o total de 2861,33 km², o que representa 81,46% da bacia.

De acordo com Jarbas et al. (2018), os Cambissolos estão localizados em relevo plano, com pouca alteração do material de origem, formando solos rasos a profundos, tendo boa reserva de nutrientes e capacidade de armazenamento de água. Em relação a produção agrícola, pode ser utilizado para culturas de ciclo curto e/ou perene, pastagens e reflorestamento.

Figura 5
 Mapa pedológico e os seus respectivos graus de vulnerabilidade.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2020, tendo como base IBGE (2019).

Tabela 3
 Variáveis e níveis de vulnerabilidade para o tema Pedologia (Solos).

Solos	Área (km ²)	Grau de vulnerabilidade	% da área
Cambissolo Eutrófico	419,96	2,5	11,96
Corpos de água	89,13	3,0	2,54
Latossolo Amarelo Distrófico	2861,33	1,0	81,46
Solos Aluviais Eutróficos	142,23	3,0	4,05
Total	3.450,54	2,4	100,00

Fonte: Elaborado pelos autores, 2020.

Os autores afirmam que suas limitações estão ligadas ao risco de erosão, rochiosidade e espessura menor que 50 cm. Por essa razão, apresenta vulnerabilidade de grau 2,5, considerado moderadamente vulnerável. Na bacia, localiza-se na porção norte, com uma área de 419,96 km², equivalente a 11,96% do total.

Os solos aluviais possuem grande potencialidade agrícola, apesar da baixa saturação por bases, localizados em áreas de várzea. Os solos que apresentam muito silte na composição textural requerem atenção especial quanto a problemas de compactação. Nesse sentido, Crepani et al. (2001) consideram esse tipo de solo vulnerável. Corresponde a 4,05% da área em estudo, localizado na porção centro-leste da área em estudo.

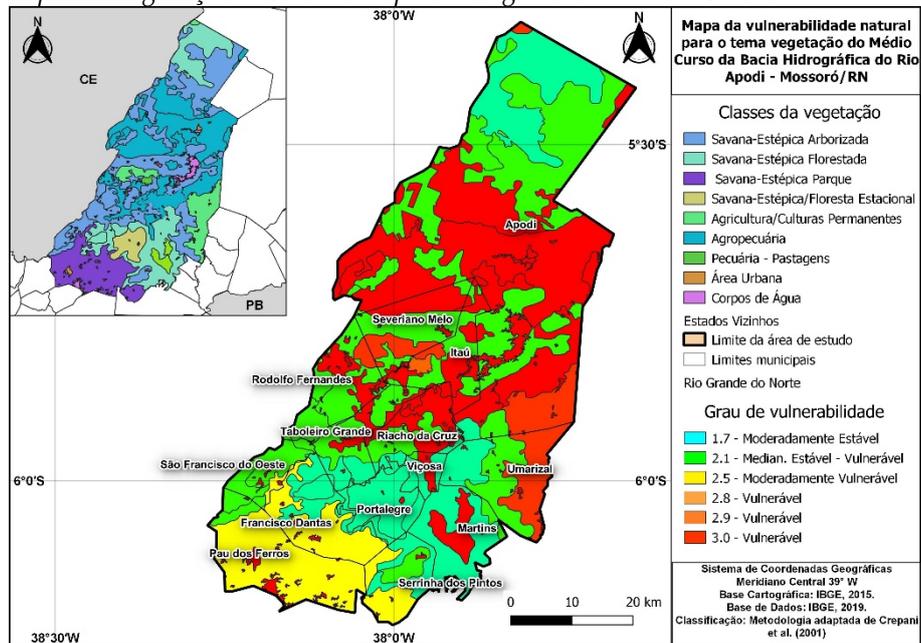
3.4. Vegetação

A vegetação da área em estudo foi classificada de acordo com os dados obtidos no IBGE (2014), e retratam

as características naturais da flora local, assim como as produções agrícolas e da pecuária, além do percentual e área existente na bacia estudada (Figura 6 e Tabela 4).

Figura 6

Mapa da vegetação e os seus respectivos graus de vulnerabilidade.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2020.

Tabela 4

Variáveis e níveis de vulnerabilidade para o tema Vegetação

Tipo vegetação	Área (km ²)	Vulnerabilidade	% de área
Savana Estéptica Florestada	591,48	1,7	17,06
Contato Savana-Estéptica/Floresta Estacional – Ecótono	95,08	1,7	2,74
Savana Estéptica Arborizada	1084,45	2,1	31,28
Savana Estéptica Parque	388,61	2,5	11,21
Pecuária	8,62	2,8	0,25
Agricultura com culturas permanentes	215,76	2,9	6,22
Agropecuária	1000,49	3,0	28,86
Influência Urbana	7,85	3,0	0,23
Corpo de água	74,53	3,0	2,15
Total/Média	3.450,54	2,5	100

Fonte: Adaptado de IBGE (2014)

De modo geral, a bacia se apresenta com uma área que possui cobertura de terra distribuída entre a produção agropecuária, a ocupação urbana e a savana estéptica parque (46,81%), que representam uma vulnerabilidade moderada a alta; Savanas Estépticas Arborizada e Florestada e o Contato Savana Estéptica/Floresta Estacional, com vulnerabilidade média, tendendo à estabilidade (53,19%).

A Savana Estéptica Arborizada representa 31,28% da área em estudo e está distribuída em toda a bacia. A agropecuária se concentra, em maior área, na parte central da área em estudo, apresentando uma vulnerabilidade alta. Destaca-se a produção de grãos, culturas permanentes, e de animais para subsistência.

A Savana Estépica Florestada e o Contato Savana Estépica/Floresta Estacional localizam-se na porção central da bacia, com as maiores altitudes, entre as Serras de Martins e Portalegre. Nelas estão as áreas mais preservadas da bacia, representando as áreas com menor risco de erosão (19,80% do total), apresentando um grau de vulnerabilidade variando entre 1,7 e 2,1, respectivamente.

As áreas antropizadas estão localizadas em toda a bacia, principalmente a produção agropecuária, representando cerca de 36% de toda a área em estudo. Para tais áreas, o grau de vulnerabilidade, segundo Crepani et al. (2001), é considerado alto, uma vez que não há proteção do solo, sendo classificado com os maiores valores de vulnerabilidade (entre 2,8 e 3,0).

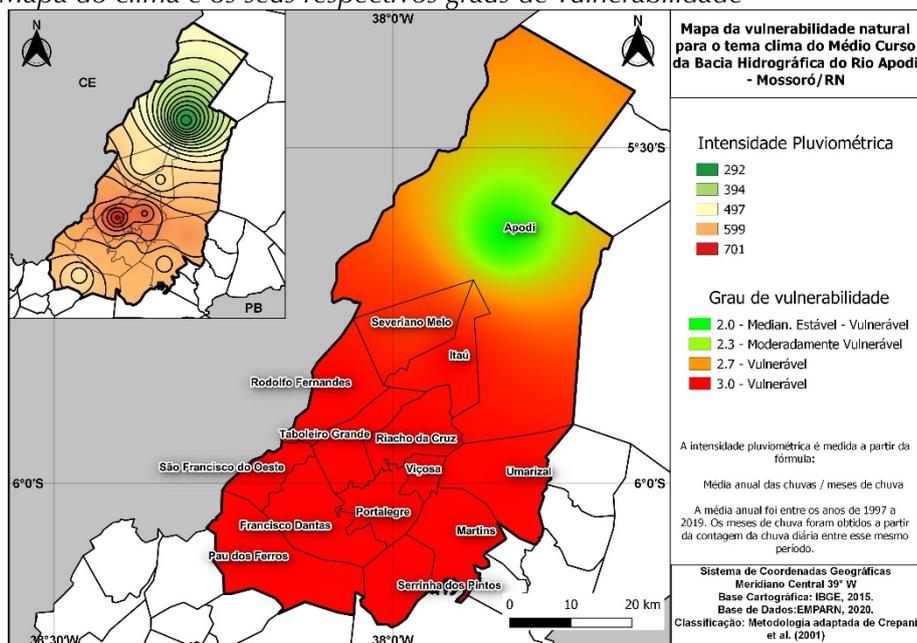
3.5. Clima

Segundo Crepani et al. (2001), a precipitação pluviométrica é a principal variável responsável pela erosão dos solos. Isso ocorre, pois, a ação da chuva age sobre as rochas provocando o intemperismo e, mais tarde, sobre o solo removendo-o pela erosão hídrica. Ratificam ao afirmarem que “A erosão, produto final desta interação chuva/solo é, portanto, uma resultante do poder da chuva em causar erosão e da capacidade do solo em resistir à erosão. A capacidade da chuva em causar erosão é chamado erosividade e é função das características físicas da chuva” (Crepani et al. 2001, p.95).

Nesse sentido, os autores supracitados adotam o uso da intensidade pluviométrica como fator de análise climática. A intensidade pluviométrica representa uma relação entre a quantidade e o período das chuvas, determinando a quantidade de energia potencial disponível para transformar-se em energia cinética. O valor da intensidade pluviométrica pode ser obtido dividindo-se o valor da pluviosidade média anual (em mm) pela duração do período chuvoso (em meses).

Observa-se, na Figura 7, como se deu a classificação da vulnerabilidade da classe clima para a área em estudo (Tabela 5).

Figura 7
 Mapa do clima e os seus respectivos graus de vulnerabilidade



Fonte: Elaborado pelos autores, 2020.

Tabela 5
 Variáveis Climáticas (1997 - 2019) e níveis de vulnerabilidade para o tema Clima

Municípios	Média anual	Dias de chuva	Número de Meses	Intensidade Pluviométrica	Vulnerabilidade
Apodi	681,42	70	2,33	292	1,3
Severiano Melo	641,94	37	1,23	520	3
Pau dos Ferros	704,27	40	1,33	528	3
Itaú	734,28	41	1,37	537	3
Martins	1204,31	63	2,1	573	3
Portalegre	1042,35	53	1,77	590	3
Riacho da Cruz	751,44	34	1,13	663	3
Taboleiro Grande	748,7	32	1,07	702	3
Média	813,59	46,25	1,54	550,63	2,79

Fonte: Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte S/A - EMPARN, 2020.

A intensidade pluviométrica na área de estudo foi distribuída a partir da inserção de um ponto central para cada município, visando uma melhor distribuição das informações da área. Nesse sentido, observa-se 3 níveis de vulnerabilidade no mapa e na Tabela 2, uma vez que este segundo se deu em virtude da média geral.

No mapa da Figura 6, percebe que, na parte norte da bacia, apresenta-se a área com menor intensidade pluviométrica. Isso ocorre, pois, o município de Apodi foi o que apresentou a maior quantidade de dias de chuvas e a segunda menor pluviometria. Essa relação fez com que o valor de intensidade fosse considerado baixo, tendendo à estabilidade. Já os demais municípios apresentaram uma intensidade pluviométrica alta, uma vez que a precipitação é baixa em mm anuais e concentrada em poucos meses. Esse fato se comprova pela cor vermelha apresentada na porção centro-sul do mapa da Figura 6.

3.6. Vulnerabilidade Natural à perda do solo

Para fins de análise, a área em estudo foi dividida em 03 (três) partes distintas, classificadas como porção sul, central e norte.

Na primeira área, porção sul, predomina uma geologia mais antiga, que data do proterozóico, com rochas mais duras e menos vulneráveis. A Geomorfologia é marcada pela depressão sertaneja, juntamente com Planaltos Residuais. Este último responsável pela divisão da área sul da área central. O solo predominante é o latossolo amarelo distrófico (Santos, 2018), em toda sua porção sul e central. É um solo antigo, com grau de vulnerabilidade moderadamente vulnerável, com valor de 2,5. O clima da porção sul e central é característico de clima semiárido, com poucas chuvas e concentradas em poucos meses, ao longo do ano, o que dá para toda a porção centro-sul da área em estudo uma vulnerabilidade alta para essa variável.

A porção central tem características semelhantes à porção sul, no que se refere à geologia e geomorfologia, com algumas particularidades na parte leste dessa área. Em alguns pontos, como nos municípios de Portalegre, Martins, Viçosa e Riacho da Cruz, o grau de vulnerabilidade é considerado medianamente estável (2,0), enquanto o restante da área apresenta estabilidade (1,0). A Geomorfologia se apresenta moderadamente estável (1,5).

Os solos são considerados moderadamente vulneráveis, tendendo à possível morfogênese, de acordo com a classificação adotada por Crepani et al. (2001). Em relação à vegetação, a porção central apresenta vulnerabilidade que varia entre medianamente estável-vulnerável (2,1), em áreas preservadas, à vulnerável (3,0), principalmente nas áreas de agricultura e culturas permanentes e de agropecuária.

A porção norte, terceira área escolhida para análise, apresenta uma geologia mais recente, composta, principalmente, pela Formação Açu e a Formação Jandaíra, cujo grau de vulnerabilidade é de 2,4 e 2,5, respectivamente, considerado moderadamente vulnerável, além dos depósitos aluvionares, que são considerados de grau 3,0, ou seja, vulnerável.

A geomorfologia também se apresenta vulnerável, formado pelo Tabuleiro e pela planície fluvial, com grau de vulnerabilidade entre 2,3 e 3,0. Os solos aluviais e o cambissolo eutrófico foram considerados os mais vulneráveis da área em estudo, com valores entre 2,5 e 3,0, além de uma pequena área na parte norte do município de Apodi com estabilidade (1,0) para o tema solos.

Para o tema vegetação, a predominância é de áreas vulneráveis decorrentes da agropecuária. A parte mais ao norte do município de Apodi tem uma vulnerabilidade natural menor, pela influência da savana estépica arborizada e florestada.

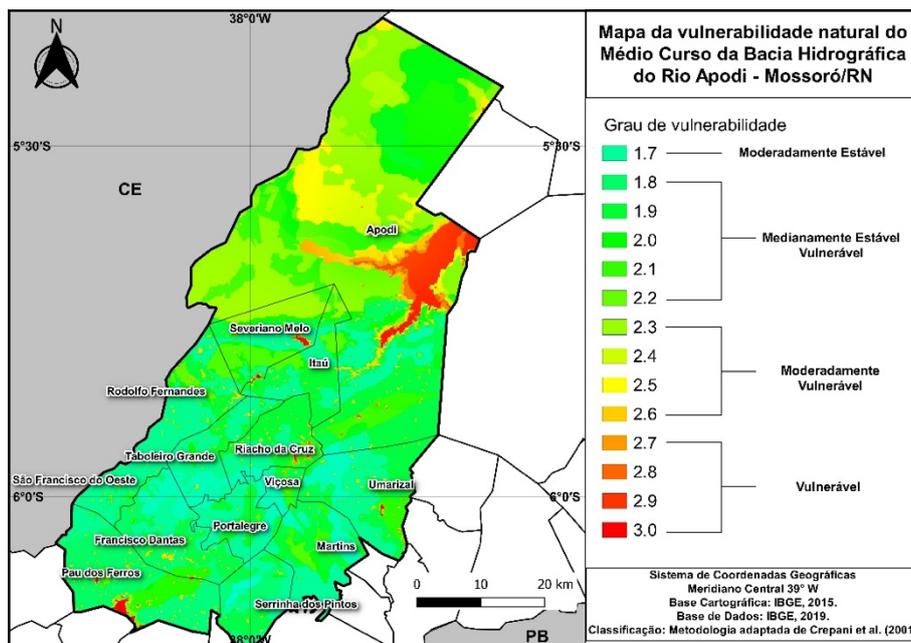
Por fim, a intensidade pluviométrica da porção norte se deu pela distribuição das chuvas nos municípios de Apodi e Severiano Melo, que apresentaram uma distribuição mais regular da chuva, tendo o município de

Apodi, por exemplo, 70 dias de chuvas (o maior da área em estudo). Isso fez com que o grau de vulnerabilidade fosse de 2,0 a 2,7, o que a deixa como moderadamente vulnerável.

As demais áreas se apresentaram vulneráveis. A álgebra dos 05 (cinco) mapas deram como resultado o mapa síntese da vulnerabilidade natural à perda do solo (Figura 7).

Na Figura 7, observa-se que a porção centro-sul do curso médio da bacia hidrográfica do rio Apodi – Mossoró – CMBHRAM se apresenta entre moderadamente estável a medianamente estável/vulnerável. Em alguns pontos, como o extremo sul, onde está localizado o açude de Pau dos Ferros, assim como outros corpos d’água representativos, observou-se áreas classificadas como vulnerável, de acordo com a Tabela 6.

Figura 7
Mapa da vulnerabilidade natural da área em estudo.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2020.

As áreas, em km², para cada grau de vulnerabilidade, pode ser visto na Tabela 6.

Tabela 6
Vulnerabilidade natural da área em estudo

Média	Grau de Vulnerabilidade	Área (km ²)	%
1,6 – 1,7	Moderadamente Estável	860,05	24,93
1,8 – 2,2	Median. Estável/Vulnerável	1.728,94	50,11
2,3 – 2,6	Moderadamente Vulnerável	740, 17	21,45
2,7 – 3,0	Vulnerável	121,18	3,51
Total		3.450, 34	100,0

Fonte: Elaborado pelos autores, 2020.

Já a parte centro norte do CMBHRAM se apresentou com maior grau de vulnerabilidade, com valores que variaram entre 2,2 e 3,0. As maiores áreas vulneráveis estão na parte nordeste da bacia, onde está localizada a barragem de Santa Cruz, no município de Apodi.

A média geral da vulnerabilidade da área em estudo foi de 2,04, o que a coloca como um grau Medianamente Estável/Vulnerável.

4. Conclusões

O CMBHRAM se apresenta como uma área com vulnerabilidade natural tendendo para estabilidade pedogênese/morfogênese. Na porção nordeste, onde se localiza o principal corpo d'água da região e os sistemas naturais mais frágeis, se mostrou mais preocupante, com elevado grau de vulnerabilidade (3,0).

A metodologia de análise adotada no presente artigo se mostrou satisfatória e revelou que a bacia se encontra na classe Medianamente Estável/Vulnerável, com valor médio de 2,04, na escala de 1,0 a 3,0. O resultado obtido se deu pela grande área de estabilidade e medianamente estável/vulnerável, representando uma área de 2.588,99 km² (75,04% da área total da bacia).

Nesse sentido, é possível afirmar que a vulnerabilidade natural da área em estudo preocupa, principalmente nas áreas que apresentam corpos d'água e geologia mais recente, uma vez que são nelas que se apresentou mais elevada. No entanto, vale salientar que, ao adicionar atividades antrópicas, será possível determinar, com mais clareza, as áreas de maior vulnerabilidade ambiental. Existem outras metodologias capazes de gerar essa análise.

Ainda assim, sugere-se que, para essas áreas, sejam criados critérios que limitem o uso e ocupação, tendo como suporte as legislações ambientais em vigor, visando a conservação e/ou restauração dos sistemas naturais ainda existentes. Com estudos complementares, é possível propor áreas de proteção para vegetação nativa e o uso sustentável do solo, principalmente na porção centro-norte do CMBHRAM.

Informação Suplementar

Autores

Franklin Roberto da Costa - Departamento de Geografia, Campus Pau dos Ferros, Universidade do Estado Rio Grande do Norte, Brasil
franklincosta@uern.br

Victor Elias Leite – Bolsheiro de iniciação científica (PIBIC), Universidade do Estado Rio Grande do Norte, Brasil
victorleite@alu.uern.br

Paula Ravenna de Figueiredo Gomes – Departamento de Geografia, Campus Pau dos Ferros, Universidade do Estado Rio Grande do Norte, Brasil
ravenna630@gmail.com

Maria Danielle de Queiroz – Departamento de Geografia, Campus Pau dos Ferros, Universidade do Estado Rio Grande do Norte, Brasil
danyellequeiroz21@gmail.com

Data de submissão: 2021-03-03

Data de aceitação: 2023-06-16

Data de publicação: 2023-07-31

Referências

- Barbosa, Y.B. & Lorandi, R. (2012) Geoprocessamento aplicado ao estudo da vulnerabilidade à erosão na bacia hidrográfica do Ribeirão do Pântano nos municípios de São Carlos, Analândia e Descalvado (SP). *Revista Geografia (Londrina)*, 21(1), 103-123.
- Crepani, E., de Medeiros, J. S., Hernandez, P.; Florenzano, T.G., Duarte, V. & Barbosa, C. C. F. (2001) *Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento territorial*. SAE/INPE. (INPE-8454-RPQ/722).
- Grisi, B. M. (2000). *Glossário de ecologia e ciências ambientais* (2ª Ed.). Ed. Universitária - UFPB.
- Hollanda, M. P., Campanharo, W. A. & Cecílio, R. A. (2012). Manejo de bacias hidrográficas e a gestão sustentável dos recursos naturais. Em L. D. Martins, T. R. Hannas, R. C. M. O Ventura, A. K. Alvim-Hannas, J.A. Mendonça, L. H. Fúcio, L. B. F. Longo, L. P. A Lamas, L. B. Silva, L. B. Furtado, M. O. Costa & R. C. S. Silva (Org.), *Atualidades em desenvolvimento sustentável*, 1 (pp. 57-66). FACIG.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (n.d.). *Malhas municipais*. Acedido a 10 de junho, 2020 em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>
- Instituto de Gestão das Águas do Rio Grande do Norte (IGARN) (2020). *Bacia Apodi/Mossoró*. Acedido a 7 de outubro, 2020, em <http://adcon.rn.gov.br/ACERVO/IGARN/doc/DOC00000000028892.PDF>
- Jarbas, T., Sá, I. B., Petreire, V. G. & Taura, T. A. (n.d). *Árvore do Conhecimento – Bioma Caatinga – Cambissolos*. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/bioma_caatinga/arvore/CONT000g798rt3o02wx5ok0wtedt3n5ubswf.html#
- Justo, A., Santos, W.L.A. & Souza, F.C.S. (2016). A bacia do Rio Apodi Mossoró (RN) como objeto de pesquisa em programas de pós-graduação. *Revista Principia*, 31 (edição especial), 97-105.
- Mesquita, C., Assis, A.Q.S. & Souza, R.M. (2010). Vulnerabilidade natural à perda de solos da bacia hidrográfica do rio Sagrado – Morretes/PR. *Revista de Geografia*, 2, 249-264.
- Mota, L. H. S. O. & Valladares, G. S. (2011). Vulnerabilidade à degradação dos solos da Bacia do Acaraú, Ceará. *Revista Ciência Agronômica*, Fortaleza, 42(1), 39-50.
- Oliveira, A. & Ferreira, E. (2001). Caracterização de sub-bacias hidrográficas. UFLA/FAEPE.
- Pfaltzgraff, P. A. S. & Torres, F.S.M. (2010). Geodiversidade do estado do Rio Grande do Norte. CPRM.
- Ribeiro, F. & Campos, S. (2007). Vulnerabilidade à erosão do solo da região do Alto Rio Pardo, Pardino, SP. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 11(6), 628–636.
- Santos, H. G. (2018). Sistema brasileiro de classificação de solos. EMBRAPA.
- Tavares, K.S.R., Romão, P.A. & Oliveira, I.J. (2020). Vulnerabilidade Ambiental no Município de São Domingos – Go. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 13(5), 2212 – 2232.
- Tricart, J. (1977) *Ecodinâmica*. IBGE