

RESILIÊNCIA AMBIENTAL A DESASTRES NATURAIS HIDROCLIMÁTICOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PIRACURUCA, SITUADA ENTRE O CEARÁ E O PIAUÍ

Environmental resilience to hydro-climatic natural disasters in the Piracuruca River Basin, located between Ceará and Piauí

Francílio de Amorim dos Santos

Doutor em Geografia, Instituto Federal do Piauí / Campus Piriapiri, Brasil

francilio.amorim@ifpi.edu.br

Maria Lucia Brito da Cruz

Doutora em Geografia, Universidade Estadual do Ceará / Campus do Itaperi, Brasil

mlbcruz@gmail.com

Lúcia Maria Silveira Mendes

Doutora em Agronomia, Universidade Estadual do Ceará / Campus do Itaperi, Brasil

lucia.mendes@uece.br

Recebido: 02/05/2024

Aceito: 27/10/2024

Resumo

O estudo teve como recorte espacial a Bacia Hidrográfica do rio Piracuruca (BHRP), situada entre os estados do Ceará e do Piauí, Nordeste do Brasil (NEB). Essa Bacia compreende a área de vinte municípios, abrange 7.704 km² e é periodicamente atingida por eventos extremos de precipitação, particularmente as secas e as inundações. Nesse contexto, propôs-se avaliar a suscetibilidade ambiental e a vulnerabilidade socioespacial, como subsídio à avaliação do potencial de resiliência ambiental da BHRP às secas e às inundações. Inicialmente, como forma de operacionalizar o estudo, procedeu-se o levantamento bibliográfico e cartográfico, também, utilizou-se de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) como instrumento para integração dos indicadores ambientais e a construção do índice de resiliência ambiental à secas e à inundações. Esses índices permitiram inferir que a Bacia em estudo apresenta: 58,3% de sua área com média suscetibilidade biofísica a secas e 76,7% com muito baixa resiliência ambiental a secas; ocorrência de 58,9% de baixa suscetibilidade biofísica a inundações e 84,3% com muito baixa resiliência ambiental a inundações; 58,1% com baixa vulnerabilidade socioespacial. Evidencia-se, portanto, a necessidade da elaboração de ações para convivência com o ambiente e investimentos para melhorias das condições socioeconômicas na BHRP.

Palavras-chave: Bacia hidrográfica, Norte do Nordeste do Brasil, Suscetibilidade biofísica, Vulnerabilidade socioespacial, Resiliência ambiental.

Abstract

The study was based on the Piracuruca River Basin (PRB) between Ceará and Piauí, Northeast Brazil (NEB). This sub-basin covers an area of twenty municipalities, 7,704 km², and is periodically affected by extreme precipitation events, particularly droughts and floods. In this context, the study aimed to evaluate the environmental susceptibility and socio-spatial vulnerability as a basis for assessing the potential of environmental resilience of the Piracuruca River Sub-basin to droughts and floods. Initially, to operationalize the study, a bibliographical and cartographic survey was carried out, using Geographic Information Systems (GIS) as an instrument for integrating environmental indicators and constructing the index of environmental resilience to droughts and floods. These indices allowed us to infer that the Sub-basin under study presents 58.3% of its area with medium biophysical susceptibility to droughts, 76.7% with very low environmental resilience to droughts; occurrence of 58.9% with low biophysical susceptibility to floods and 84.3% with very low environmental resilience to floods; 58.1% with low socio-spatial vulnerability. The need to elaborate actions to coexist with the environment and investments to improve the socioeconomic conditions of the area is evidenced.

Keywords: Hydrographic basin, North of the Northeast of Brazil, Biophysical susceptibility, Socio-spatial vulnerability, Environmental resilience.

1. INTRODUÇÃO

O crescimento urbano tem resultado em substanciais modificações na paisagem, afetando a dinâmica e a resiliência dos sistemas ambientais, principalmente devido à necessidade de criação de infraestrutura para crescimento industrial e à expansão dos centros urbanos. Destaca-se que o processo de segregação socioespacial tem sido responsável pela ocupação das áreas de alta suscetibilidade biofísica a desastres naturais, fato que acentua a vulnerabilidade socioespacial dessa população.

Quando integradas essas áreas de alta suscetibilidade e alta vulnerabilidade têm-se um desequilíbrio dos sistemas ambientais, com impacto direto na resiliência ambiental e no potencial dessas áreas para resistir e manter sua estrutura e função após a manifestação de desastres naturais. Os desastres naturais, conforme conceitua Maskrey (1993), constituem fenômenos naturais perigosos que estão associados a determinados condicionantes socioeconômicos e físicos vulneráveis.

De acordo com o Sistema Económico Latinoamericano y del Caribe (SELA, 2011), mais de 130 milhões de latino-americanos vivem em situação de alto risco. Para Lampis *et al.* (2020), o crescimento populacional e a ausência de políticas públicas urbanas para sanar o déficit habitacional resulta na ocupação de áreas de riscos, acentuando a situação de vulnerabilidade da população, fato que tem impacto direto no aumento da ocorrência de

desastres, que resulta em perdas de vidas humanas, impactos nos ecossistemas, na agricultura, nos recursos hídricos e na saúde pública.

Em 2019, 120 milhões de pessoas encontravam-se em situação de risco, segundo Traiano (2019). Conforme destacado no relatório do *Office for the Coordination of Humanitarian Affairs* (OCHA), que documentou os desastres naturais das últimas duas décadas na América Latina e Caribe, as inundações são o tipo de desastre mais comum na região, desde o ano 2000, com prejuízos de 1 bilhão de dólares em danos causados entre 2000 e 2019 (OCHA, 2020). Broetto (2024) assevera que os efeitos da mudança climática têm impactado fortemente a população latino-americana e seus ecossistemas, aumentando o risco de desastres, que considera serem fenômenos sociais.

Nesse cenário, insira-se o semiárido brasileiro, área marcada por irregular distribuição espaço-temporal das precipitações, altas temperaturas e grandes perdas de água por evapotranspiração. Zanella (2014) reitera que a história do Nordeste Brasileiro (NEB) está ligada à ocorrência de secas, escassez e reduzido potencial de águas superficiais apresentadas por sua rede de drenagem. Essa irregular distribuição das chuvas resulta em secas e inundações periódicas, fato que demanda ações para convivência e/ou adaptação da população a esse ambiente (Santos, 2019).

Para estudos dos desastres naturais a pesquisa tomou como recorte espacial a bacia hidrográfica, considerada por Christofletti (1980) como um sistema não isolado e aberto, onde predomina a troca contínua de matéria e energia, perda e recarga. Suertegaray (2009) complementa ao afirmar que, no âmbito da visão sistêmica, a bacia hidrográfica configura-se como o elemento espacial que proporciona a integração.

Foi considerada como possibilidade para a pesquisa a integração da suscetibilidade e vulnerabilidade, para entendimento da resiliência ambiental. A suscetibilidade pode ser entendida como a probabilidade que o espaço geográfico apresenta em relação ao desenvolvimento de um fenômeno ou processo do meio físico (Bitar, 2014). A vulnerabilidade diz respeito à predisposição ou propensão a elementos da sociedade de sofrer danos, perdas e respectivas dificuldades para recuperar-se (Lavell, 2010). Para Broetto (2024), a vulnerabilidade social interage com a exposição física gerada pela construção social desta, associada às características ambientais locais.

Por meio da articulação da suscetibilidade biofísica à vulnerabilidade socioespacial é possível mensurar o potencial de resiliência ambiental. A resiliência é a capacidade diferencial e desigual dos lugares de reagir, responder e lidar com mudanças incertas, voláteis e rápidas (Pike; Dawley; Tomaney, 2010). A resiliência é a possibilidade de um

sistema sócio-ecológico apresentar mudanças e permanecer estável, mudando e adaptando-se continuamente, permanecendo dentro dos limites críticos (Folke *et al.*, 2010).

A pesquisa deu ênfase aos desastres naturais de natureza hidroclimática, secas e inundações, considerando como recorte espacial a Bacia Hidrográfica do rio Piracuruca. O estudo foi relevante devido a possibilidade para produção de conhecimento acerca das componentes ambientais e da promoção de ações voltadas à redução dos desastres naturais hidroclimáticos na bacia em questão, a pesquisa objetivou avaliar a suscetibilidade ambiental e a vulnerabilidade socioespacial, como subsídio à avaliação do potencial de resiliência ambiental da Bacia Hidrográfica do rio Piracuruca às secas e às inundações.

2. LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS BIOFÍSICAS DA ÁREA EM ESTUDO

A Bacia Hidrográfica rio Piracuruca (BHRP) é uma Sub-bacia pertencente à Bacia Hidrográfica do rio Longá (BHRL), que, por sua vez, está ligada à Bacia Hidrográfica do rio Parnaíba (BHRP), conforme segue abaixo na figura 1. A BHRP drena uma área de 7.704 km² e as principais nascentes de seu rio principal se encontram na Serra da Ibiapaba, a altura do município de São Benedito, estado do Ceará, sua foz ocorre à altura do município de São José do Divino, no estado do Piauí. A BHRP drena as áreas de 11 (onze) localizados em território piauiense e 9 (nove) municípios situados no estado do Ceará.

A Bacia estudada compreende 6 (seis) formações geológicas, conforme descrito no quadro 1. O relevo é fruto da atuação de processos erosivos, de dissecação e de acumulação, resultando em áreas planas no topo do Planalto da Ibiapaba, com altitudes que ultrapassam 900 m. Em direção ao território piauiense esse Planalto exhibe vertente com feições oriundas de processos erosivos, cujas formas variam de fortemente a parcialmente dissecadas, devido atuação dos rios consequentes. Segue-se a essas feições o relevo aplainado com formação de extensas superfícies tabulares associado a áreas rebaixadas e periodicamente inundáveis.

A Bacia encontra-se em área de influência do Planalto da Ibiapaba, notadamente pela ocorrência de chuvas orográficas e maior umidade na vertente a barlavento, lado cearense, deixando a vertente a sotavento com reduzido volume pluviométrico, rumo ao Piauí. Na BHRP ocorre precipitação média anual que varia de 860 mm a 1.710 mm, com predomínio de chuvas no intervalo de 1.260 a 1.360 mm anuais, em 51,83% da área (Santos, 2019).

As temperaturas médias da Bacia decrescem da parte mais alta para a foz, havendo predomínio de temperaturas baixas (20° a 23°C) na área do topo do Planalto da Ibiapaba, particularmente em 10,74%. Enquanto as maiores médias de temperatura (26° a 27°C)

ocorrem no baixo vale, particularmente nos municípios de Piracuruca, Brasileira e São José do Divino, abrangendo área de 34% da Bacia (Santos, 2019).

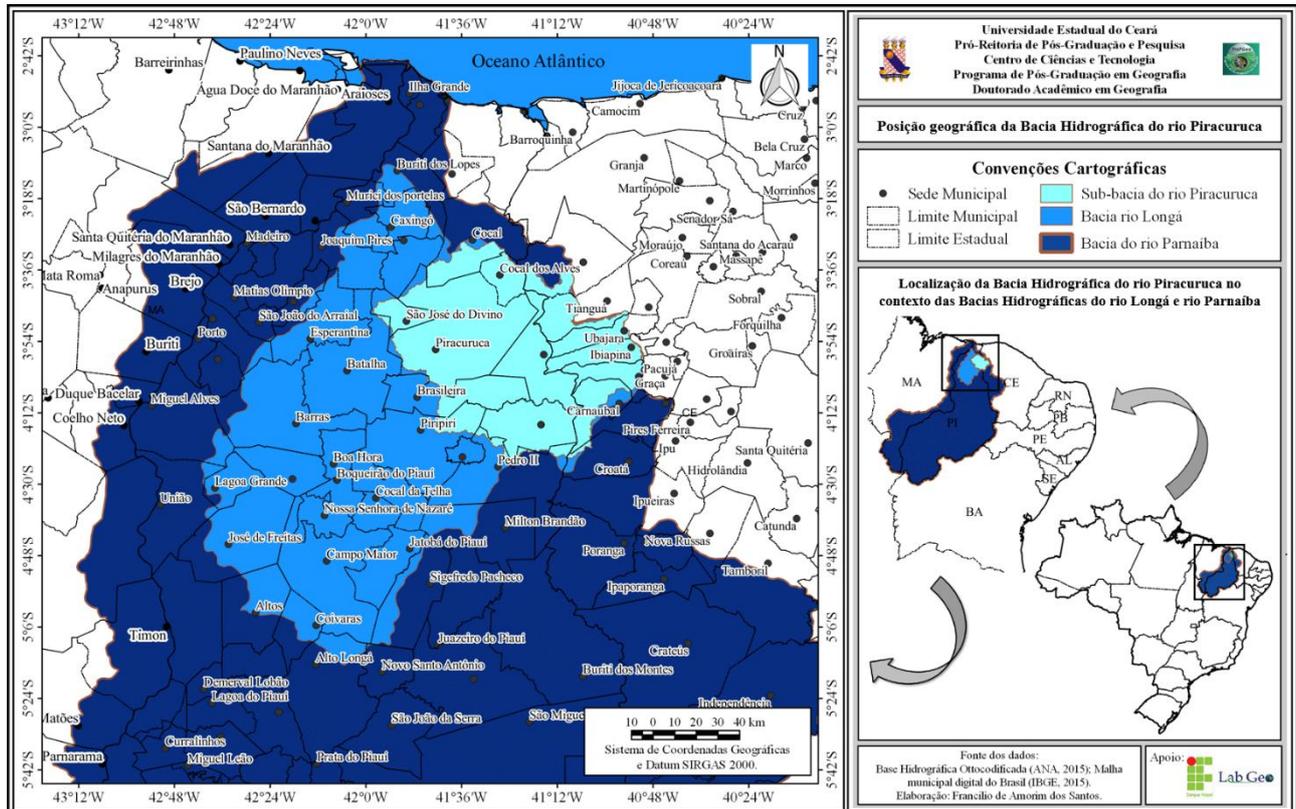


Figura 1 - Situação geográfica da Bacia Hidrográfica do rio Piracuruca em relação às Bacias Hidrográficas do rio Longá e do rio Parnaíba.
Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Quadro 1 - Características geológicas da Bacia Hidrográfica do rio Piracuruca.

Era	Período	Formação	Litologia	%
Cenozoica	Neógeno	Depósitos Colúvio-Eluviais	Sedimentos arenosos, areno-argilosos e conglomeráticos.	12,6
Mesozoico	Cretáceo	Sardinha	Basaltos e diabásios.	4,9
Paleozoica	Devoniano	Longá	Folhelhos e arenitos.	0,1
		Cabeças	Arenitos e siltitos.	21,8
		Pimenteiras	Folhelhos com intercalações de arenitos e siltitos.	23,6
	Siluriano	Grupo Serra Grande	Conglomerados, arenitos e intercalações de siltitos e folhelhos.	37,0

Fonte: BRASIL (1973); CPRM (2006a; 2006b; 2006c); Pfaltzgraff, Torres e Brandão (2010).

No trecho sudeste em direção noroeste da Bacia analisada, que corresponde a 52%, ocorre 3 a 4 meses secos. As maiores perdas de água por evapotranspiração potencial média anual encontra-se na parte central, que representa 52,5% e corresponde 1.203 mm a 1503 mm. As partes sul e centro-oeste exibem os maiores excedentes hídricos, da ordem de 400 a 600 mm, correspondendo a 66,4% da área. Em 71,4% da área da Bacia (setor centro-oeste) ocorrem déficits que variam de 230 a 430 mm anual (Santos, 2019).

Os processos morfodinâmicos atuantes na BHRP resultaram em 8 ordens e 11 subordens, a saber: os Neossolos (63% da área) e apresentam as subordens Neossolos Litólicos e Neossolos Quartzarênicos, sendo recobertos por vegetação do tipo caatinga arbustiva e/ou carrasco; os Argissolos (10,4%), subordem Amarela e Vermelha, são recobertos por caatinga arbustiva; os Latossolos (9,4%), como ocorrência da subordem Latossolo Amarelo, constituindo substrato para vegetação de porte arbóreo (mata plúvio-nebular); os Planossolos (7,9%), subordem Planossolo Háplico, possibilita o desenvolvimento de vegetação de grande porte (mata plúvio-nebular); os Plintossolos (6,0%) apresenta duas subordens, Plintossolo Argilúvico e Plintossolo Pétrico, que propiciaram a presença de carnaubal e caatinga arbustiva aberta; os Vertissolos (2,1%), subordem Vertissolo Ebânico, são recobertos por caatinga arbustiva; os Gleissolos (0,7%), subordem Melânico, são recobertos por mata plúvio-nebular; e os Chernossolos (0,5% da área), subordem Argilúvico, possibilita o desenvolvimento de vegetação do tipo caatinga arbustiva (INDE, 2014; Santos, 2019).

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A pesquisa classifica-se como explicativa quanto ao seu objetivo que, para Gil (2002), tem foco na identificação dos fatores que contribuem para a ocorrência de determinados fenômenos, nesse caso, as secas e as inundações. Foi empregada abordagem qualitativa, associada ao uso de dados biofísicos e socioeconômicos, e quantitativa, ligada à proposição do índice de resiliência ambiental. O estudo configura-se como uma pesquisa aplicada, posto que seu objetivo busca produzir conhecimentos para aplicação prática, voltando-se para a solução de problemas específicos (Prodanov; Freitas, 2013), particularmente reduzir os efeitos dos impactos causados por secas e inundações.

Na sequência foi realizado levantamento cartográfico, onde se adquiriram arquivos – vetoriais, matriciais e alfanuméricos – que associado ao uso de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) subsidiaram a análise da resiliência ambiental, da suscetibilidade

biofísica a secas e a inundações e vulnerabilidade socioespacial da Bacia do rio Piracuruca. A vulnerabilidade foi analisada a partir do modelo de estatística multivariada Análise Fatorial (AF) e do método de estimação Análise de Componentes Principais (ACP).

A estimativa do potencial de resiliência ambiental da Bacia do rio Piracuruca envolveu análise integrada de variáveis biofísicas e sociais, a partir do uso de técnicas de Geoprocessamento. Foram considerados 6 (seis) indicadores biofísicos para estimativa do potencial de resiliência ambiental, sendo: 1 (um) geológico, 2 (dois) geomorfológicos, 2 (dois) climáticos e 1 (um) ligado a cobertura vegetal. Os indicadores foram associados à vulnerabilidade socioespacial, composta pela Criticidade (C) e pela Capacidade de Suporte (CS), a partir do emprego de 18 e 44 variáveis, respectivamente. Os arquivos obtidos e os procedimentos aplicados serão detalhados a seguir.

3.1. Permeabilidade litológica (L)

Esse indicador permitiu estimar a permeabilidade das rochas (L) e sua capacidade de infiltração, contribuindo para a análise das inundações. A identificação da litologia na área pesquisada teve como base o mapa da geodiversidade do Piauí e do Ceará (CPRM, 2006b; 2006c), associado à proposta metodológica de Crepani *et al.* (2001), para classificação da permeabilidade, conforme exposto na tabela 1.

Tabela 1 - Tipos de rochas, classes atribuídas e notas de Permeabilidade litológica (L).

Tipo de rochas	Classes atribuídas	Notas
Basaltos, diabásios	Baixa	2
Arenitos, folhelho e siltito	Média	3
Arenito, conglomerado suportado por matriz, folhelho, siltito arenoso	Alta	4
Areia, argila, cascalho	Muito alta	5

Fonte: Crepani *et al.* (2001). Adaptado pelo autor (2019).

3.2. Declividade média do relevo (Dm)

O referido indicador tomou como base os Modelos Digitais de Elevação (MDEs), da *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)* (USGS, 2017a), relevante para o conhecimento da declividade da área e identificação da suscetibilidade à ocorrência de secas e de inundações. Por meio da declividade é possível identificar as áreas mais planas, que apresentam escoamento superficial mais lento e maior contribuição para desencadear processos de inundação. É possível utilizar a declividade associada a outros elementos da

paisagem para explicar a ocorrência de secas. A determinação dos intervalos de declividade baseou-se nas classes propostas pelo Manual Técnico de Geomorfologia (IBGE, 2009), conforme está exposto na tabela 2.

Tabela 2 - Intervalos, classes atribuídas e notas de Declividade média do relevo (Dm).

Intervalos de Dm (%)	Classes atribuídas	Notas
0 a 3	Plano	1
3 a 8	Suave Ondulado	2
8 a 20	Ondulado	3
20 a 45	Forte Ondulado	4
45 a 75	Montanhoso	5

Fonte: EMBRAPA (2009). Adaptado pelo autor (2019).

3.3. Índice de circularidade (Ic)

O indicador foi usado para avaliar a probabilidade das Sub-bacias (SBs) à ocorrência de inundações e baseou-se no MDE *SRTM* (USGS, 2017a) para extração das SBs. Foi aplicado a cada SB a equação 1 do *Ic*, que relaciona a área e o perímetro da bacia, logo quanto mais próximo a 1 for o resultado da equação mais arredondada será a bacia e mais sujeita à ocorrência de inundações, considerando-se a classificação proposta de Shumm (1956) para cada SB, conforme está representado na tabela 3.

$$Ic = 12,57 \frac{A}{p^2} \quad [Eq. 1]$$

Onde: *A* = área da bacia em km^2 ; e *p* = perímetro da bacia em km^2 .

Tabela 3 - Intervalos, classes atribuídas e notas ao Índice de circularidade (Ic).

Intervalos de Ic	Classes atribuídas	Notas
< 0,51	Baixa	1
0,51	Média	2
> 0,51	Alta	3

Fonte: Schumm (1956).

3.4. Índice de aridez (Ia)

O Índice de aridez (*Ia*), que foi inicialmente desenvolvido por Thornthwaite (1941) e aperfeiçoado por Penman (1953), foi elaborado a partir do quociente entre a pluviometria anual média e a evapotranspiração potencial anual média. Esse indicador possibilita identificar áreas com alta aridez e maior predisposição à ocorrência de secas. Para

conhecimento da aridez da BHRP foi empregada a equação 2. Realizou-se o processo de fatiamento das classes para o Ia , como se observa na tabela 4, considerando 5 (cinco) classes e intervalos de 0,26.

$$Ia = \frac{P}{Etp} \quad [Eq. 2]$$

Onde: Ia = Índice de aridez; P = Pluviometria anual média; Etp = Evapotranspiração potencial anual média.

Tabela 4 - Intervalos, classes atribuídas e notas ao Índice de aridez (Ia).

Ia	Classes atribuídas	Notas
0,60 -- 0,86	Muito alta	5
0,86 -- 1,12	Alta	4
1,12 -- 1,38	Média	3
1,38 -- 1,64	Baixa	2
1,64 -- 1,90	Muito baixa	1

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

3.5. Índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI)

Foram obtidas cenas do imageador *Operational Land Imager (OLI)*, do satélite Landsat 8, considerando a menor quantidade de nuvens e as seguintes características: órbita/ponto 219/62 e 219/63 e data de passagem 08/08/2016; órbita/ponto 218/63 e data de passagem 01/08/2016. As cenas passaram por refinamento, de tal modo que foi possível aplicar a equação 3, referente ao índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI, do inglês *Soil-adjusted vegetation index*), que considera os efeitos do solo exposto nas imagens selecionadas, a partir do ajuste do índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI, do inglês *Normalized Difference Vegetation Index*), quando a superfície não está totalmente coberta pela vegetação (Boratto; Gomide, 2013).

$$SAVI = \frac{(NIR - R)}{(NIR + R + L)} * (1 + L) \quad [Eq. 3]$$

Onde: $SAVI$ = Índice de vegetação ajustado ao solo;

NIR = Fluxo radiante no infravermelho próximo;

R = Fluxo radiante na região do vermelho visível;

L = Fator de ajuste do índice SAVI, que nesse estudo assumiu o

valor de 0,5, que é aplicado à vegetação com densidade intermediária.

O procedimento para fatiamento e geração das classes do SAVI resultou em 6 (seis) intervalos e classes, considerando que quanto mais densa a cobertura vegetal maior a atividade fotossintética e mais absorção da radiação solar, o que explica as notas apresentadas na tabela 5.

Tabela 5 - Intervalos, classes atribuídas e notas ao Índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI).

Intervalos do SAVI	Classes atribuídas	Notas
0,6 a 0,8	Vegetação com alta atividade fotossintética	1
0,4 a 0,6	Vegetação com média atividade fotossintética	2
0,2 a 0,4	Vegetação com baixa atividade fotossintética	3
0,1 a 0,2	Área urbana / Vegetação com muito baixa atividade fotossintética	4
0 a 0,1	Solo exposto	5
< 0,1	Corpo hídrico	-

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

3.6. Temperatura à superfície do solo (Ts)

Utilizou-se as mesmas cenas empregadas para obtenção do SAVI, porém foi aplicado o cálculo da radiância monocromática aparente e de emissividade para obtenção da temperatura à superfície do solo. Foi utilizado o *software* SPRING para conversão dos valores iniciais dos dados das imagens em radiância espectral, que diz respeito à conversão da radiação espectral em temperatura de brilho (NASA, 2019), seguiu-se à derivação dos valores a Fração de Cobertura Vegetal (F_c), proposto por Zhang *et al.* (2012), permitindo calcular os valores de emissividade da superfície (ϵ) usando o método sugerido por Valor e Caselles (1996). Foi realizado cálculo da temperatura de superfície com correção atmosférica, usando as constantes Planck e Boltzmann conforme está representado na equação 4 (Artis; Carnahan, 1982).

$$T_s = \frac{T_b}{1 + \left[\lambda * \frac{T_b}{\rho} \right] * \ln(\epsilon)} \quad [Eq. 4]$$

Onde: λ = Comprimento de onda do brilho emitido;

$$\rho = h * \frac{c}{\sigma} \left(1.438 * \frac{10^{-2}m}{K} \right);$$

σ = constante de Boltzmann ($1.38 * 10^{-23}J/K$);

h = constante de Planck ($6.26 * 10^{-34}J/s$);

c = velocidade da luz ($2.998 * 10^8m/s$).

Após os procedimentos, supracitados, pode-se realizar a reclassificação da imagem resultante da aplicação das equações e efetivação do processo de fatiamento dos intervalos, classes e notas referentes à variável T_s , conforme está exposto na tabela 6. As notas foram definidas considerando que quanto mais altas forem as temperaturas mais ressecado ou árido é o ambiente.

Tabela 6 - Intervalos, classes atribuídas e notas à Temperatura à superfície do solo (T_s).

Intervalos de T_s	Classes atribuídas	Notas
21,1 a 26°C	Muito baixa	1
26,1 a 30°C	Baixa	2
30,1 a 36°C	Média	3
36,1 a 40°C	Alta	4
40,1 a 47°C	Muito alta	5

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

3.7. Índices biofísicos

Os Índices de Suscetibilidade Biofísica a Secas ($ISBio_s$) e a Inundações ($ISBio_I$) foram construídos a partir das componentes biofísicas conforme está expresso nas equações 5 e 6, permitindo estimar a probabilidade da Bacia do rio Piracuruca à ocorrência de secas e de inundações.

$$ISBio_s = Dm + Ts + Ia + SAVI \quad [Eq. 5]$$

Onde: $ISBio_s$ = Índice de Suscetibilidade Biofísica a Secas;

Dm = Declividade média do relevo;

T_s = Temperatura à superfície do solo;

Ia = Índice de aridez;

$SAVI$ = Índice de vegetação ajustado ao solo.

$$ISBio_I = L + Dm + Ic + SAVI \quad [Eq. 6]$$

Onde: $ISBio_I$ = Índice de Suscetibilidade Biofísica a Inundações

L = Permeabilidade litológica;

Dm = Declividade média do relevo;

Ic = Índice de circularidade;

$SAVI$ = Índice de vegetação ajustado ao solo.

Foi possível classificar o produto dos índices por meio da opção graduado e método quebra naturais (*jenks*), funções encontradas no QGIS. A operação de fatiamento tomou como base a delimitação dos índices em 5 (cinco) classes, tanto para o $ISBio_s$ quanto para o $ISBio_l$, como pode ser observado nas tabelas 7 e 8. As classes foram definidas através do método intervalo igual, com intervalo 2 (dois) para secas e 4 (quatro) para inundações.

Tabela 7 - Intervalos, classes atribuídas e notas do $ISBio_s$ da Bacia Hidrográfica do rio Piracuruca.

Intervalos de $ISBio_s$	Classes atribuídas	Notas
7 a 9	Muito baixa	1
9 a 11	Baixa	2
11 a 13	Média	3
13 a 15	Alta	4
15 a 18	Muito alta	5

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Tabela 8 - Intervalos, classes atribuídas e notas do $ISBio_l$ da Bacia Hidrográfica do rio Piracuruca.

Intervalos de $ISBio_l$	Classes atribuídas	Notas
5 a 7	Muito baixa	1
7 a 9	Baixa	2
9 a 11	Média	3
11 a 13	Alta	4
13 a 15	Muito alta	5

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

3.8. Índice de vulnerabilidade socioespacial (IVSE)

Para obtenção dos resultados ligados ao Índice de Vulnerabilidade Socioespacial (IVSE) foram obtidos arquivos vetoriais (setores censitários utilizados para realização do Censo de 2010, pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)) e alfanumérico (planilhas de dados demográficos, de infraestrutura, do saneamento básico, ambiental, econômico e social da população por setores censitários, obtidos dos microdados do universo do Censo Demográfico 2010 (IBGE, 2018)).

O IVSE integrou a Criticidade (C) das populações à Capacidade de Suporte (CS) do sistema, para os 296 setores censitários inseridos no interior da BHRP, conforme metodologia proposta por Cunha *et al.* (2011), que empregou o modelo de estatística multivariada Análise Fatorial (AF) e o método de estimação Análise de Componentes Principais (ACP). Para a identificação dos fatores de C e de CS e avaliação da vulnerabilidade socioespacial foram utilizados os testes de *Kaiser-Meyer-Olkin* (KMO), que

varia de 0 e 1, e de esfericidade de *Bartlett*, que deve apresentar valor de significância $<0,05$. Foi usada a AF/ACP como metodologia para redução das variáveis redundantes e possibilitar o agrupamento das remanescentes em fatores, a partir da execução de 8 (oito) etapas, como propõe Cunha *et al.* (2011), conforme expresso na figura 2.

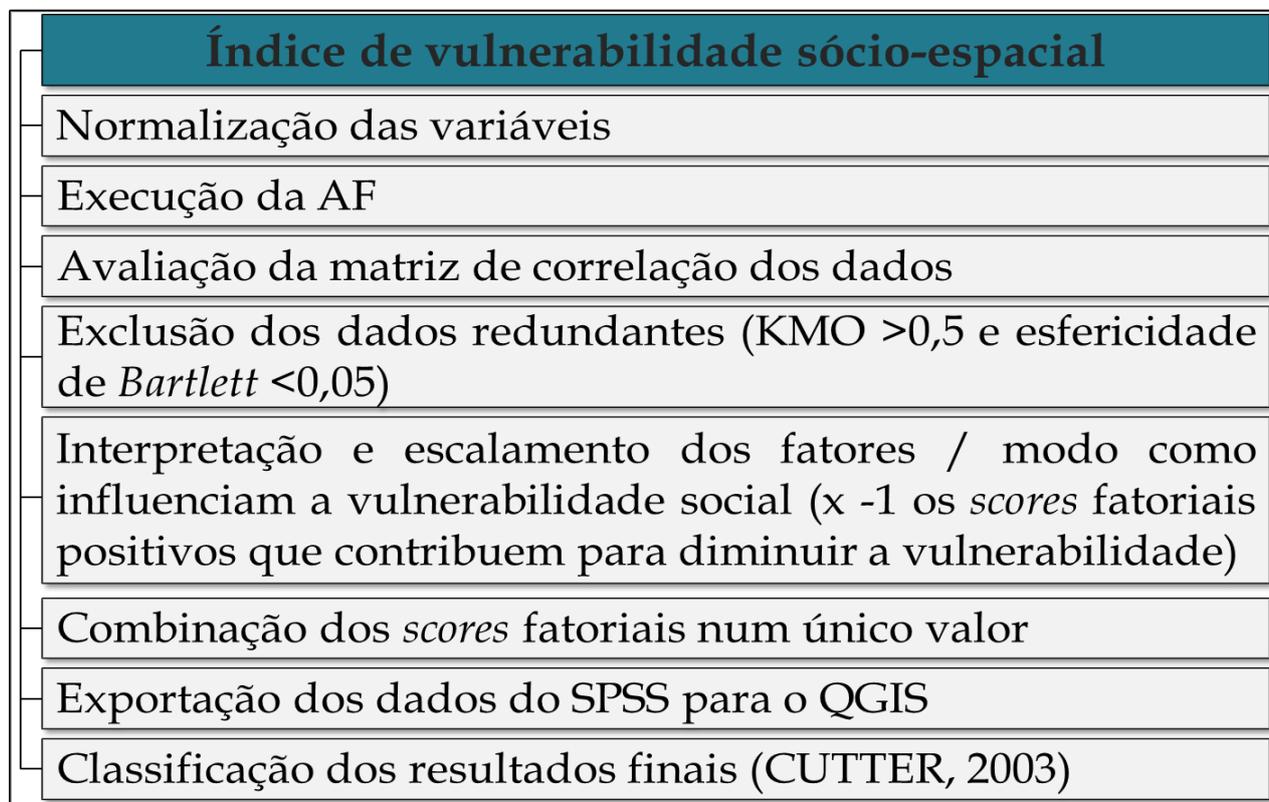


Figura 2 - Etapas executadas para Análise Fatorial (AF)/Análise de Componentes Principais (ACP).

Fonte: Cunha *et al.* (2011).

Para obtenção dos resultados para C e CS foi utilizada a soma ponderada, considerando adaptações à metodologia de Cunha *et al.* (2011). Para a obtenção do valor de C e CS para cada setor censitário considerou-se a soma do produto da comunalidade de cada variável por seu valor padronizado.

3.9. Criticidade (C)

A Criticidade (C) diz respeito ao conjunto de características e comportamentos dos indivíduos que podem romper o sistema e, ainda, os seus recursos que lhes possibilitam responder ou lidar com cenários de desastre (Mendes *et al.*, 2011). Foi utilizado um grupo inicial de 18 (dezoito) variáveis para a análise da C, que após análise fatorial resultou na exclusão de 1 (uma) variável. A C para os setores censitários da BHRP foi calculada com

base no fator principal, a partir de sua influência positiva ou negativa nos resultados obtidos na análise, conforme está apresentado na equação 7:

$$C = (-F_1) + (-F_2) + F_3 + F_4 \quad [Eq. 7]$$

Onde: F_n = Fatores de Criticidade resultantes da AF/ACP;

$n = 1$ a 4 .

Os valores de C para cada setor censitário da BHRP, a partir da equação 7, foram exportados no formato excel (*.csv), para a plataforma de trabalho no QGIS. Em seguida, realizou-se o processo de classificação por meio do método quebra naturais (*jenks*) no referido SIG, resultando em 5 (cinco) classes de C, conforme é apresentado na tabela 9.

Tabela 9 - Intervalos, classes atribuídas e notas de Criticidade (C) para os 296 setores censitários inseridos na Bacia Hidrográfica do rio Piracuruca, para o ano de 2010.

Intervalos de C	Classes atribuídas	Notas
-28,05840740 a -11,93914040	Muito baixa	1
-11,93914041 a -4,44841431	Baixa	2
-4,44841432 a 0,69792666	Média	3
0,69792667 a 4,84258660	Alta	4
4,84258661 a 11,44525901	Muito alta	5

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

3.10. Capacidade de Suporte (CS)

A Capacidade de Suporte (CS) é o conjunto das infraestruturas disponíveis para a população para reagir a eventuais desastres naturais (Mendes *et al.*, 2011). Para a análise da CS foi selecionado um grupo de 44 (quarenta e quatro) variáveis, cujos procedimentos inerentes à análise fatorial excluíram 18 delas. Para obtenção da CS para os setores censitários da Bacia estudada, considerou-se o fator principal e sua influência positiva ou negativa nos resultados alcançados, a partir da equação 8:

$$CS = (-F_1) + (-F_2) + (-F_3) + F_4 + F_5 + (-F_6) + F_7 \quad [Eq. 8]$$

Onde: F_n = Fatores de Capacidade de Suporte resultantes da AF/ACP;

$n = 1$ a 7 .

Na sequência, os valores identificados para a CS por setor censitário da BHRP, considerando-se a Equação 14, foram exportados no formato excel (*.csv) e manuseados

no QGIS. Nesse SIG efetuou-se a classificação desses dados via opção graduado e método quebras naturais (*jenks*), onde se geraram 5 classes de CS, apresentadas na Tabela 10.

Tabela 10 - Intervalos, classes atribuídas e notas de Capacidade de Suporte (CS) para os 296 setores censitários inseridos na Bacia Hidrográfica do rio Piracuruca, para o ano de 2010.

Intervalos de C	Classes atribuídas	Notas
-66,42206630 a -29,59488850	Muito baixa	5
-29,59488851 a -12,85094580	Baixa	4
-12,85094581 a -1,80323566	Média	3
-1,80323567 a 5,66628248	Alta	2
5,66628249 a 17,74679925	Muito alta	1

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

3.11. Mapeamento do índice de vulnerabilidade socioespacial (IVSE)

Para o cálculo do Índice de Vulnerabilidade socioespacial (IVSE) dos setores censitários, considerando-se o ano de 2010, aplicou-se a equação 9:

$$IVSE = C \times CS \quad [Eq. 9]$$

Onde: *IVSE* = Índice de vulnerabilidade sócio – espacial;

C = Criticidade;

CS = Capacidade de Suporte.

A espacialização das classes definidas, anteriormente, para a Criticidade e para a Capacidade de Suporte subsidiou a delimitação das classes de Vulnerabilidade Socioespacial para a Bacia do rio Piracuruca, conforme é apresentado no quadro 2, cujos valores foram obtidos através do produto da Criticidade pela Capacidade de Suporte.

Quadro 2 - Intervalos, classes atribuídas e notas do Índice de vulnerabilidade socioespacial (IVSE) da Bacia Hidrográfica do rio Piracuruca.

Intervalos do IVSE	Classes atribuídas	Notas
1 a 3	Muito baixa	1
4 a 6	Baixa	2
8 a 10	Média	3
12 a 16	Alta	4
20 a 25	Muito alta	5

		Criticidade				
		1	2	3	4	5
Capacidade de Suporte	1	1	2	3	4	5
	2	2	4	6	8	10
	3	3	6	9	12	15
	4	4	8	12	16	20
	5	5	10	15	20	25

Fonte: Adaptado de Mendes *et al.* (2011).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Quando integrada a suscetibilidade biofísica e a vulnerabilidade socioespacial foi possível estimar o potencial de resiliência ambiental da Bacia Hidrográfica do rio Piracuruca frente a secas e a inundações. A seguir será apresentada discussão acerca das variáveis utilizadas para compor o Índice de Suscetibilidade Biofísica, de Vulnerabilidade Socioespacial e de Resiliência Ambiental a secas e a inundações da Bacia em questão.

4.1. Suscetibilidade biofísica da Bacia Hidrográfica do rio Piracuruca

O Índice de Suscetibilidade Biofísica a secas e a inundações constitui uma perspectiva integrativa em relação a indicadores ambientais, pois exibem capacidade para influenciar a resiliência ambiental da BHRP em relação a secas e a inundações. Serão discutidas informações relacionadas à permeabilidade litológica (L), a declividade média do relevo (Dm), ao índice de circularidade (Ic) das Bacias, ao índice de aridez (Ia), a temperatura à superfície do solo (Ts) e ao índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI).

4.1.1. Permeabilidade litológica (L)

Na Bacia estudada observa-se predominância de permeabilidade alta, com ocorrência em 58,8% de sua área, devido à presença de arenitos, de espessura média a grosseira (BRASIL, 1973). A classe de permeabilidade média distribui-se por 23,7% da área da Bacia e está associada aos folhelhos, com intercalações de arenitos e siltitos (BRASIL, 1973). A permeabilidade muito alta ocupa 12,6% da área estudada e está atrelada aos sedimentos arenosos, areno-argilosos e conglomeráticos (CPRM, 2006c). A permeabilidade litológica baixa tem ocorrência em 4,9% da BHRP e vincula-se aos basaltos e diabásios, que apresentam maior escoamento superficial em detrimento do processo de infiltração, logo, maior probabilidade à ocorrência de inundações.

4.1.2. Declividade média do relevo (Dm)

Na BHRP predomina o relevo de classe plana (0 a 3%) em 58,4% de sua área, na parte central-oeste. Em 28,3% dessa Bacia se encontra declividade suave ondulado (3 a 8%), que se estende pela borda sul a sudoeste. O relevo ondulado (8 a 20%), forte ondulado (20 a 45%) e montanhoso (45 a 75%), ocorre em 9,9%, 3,2% e 0,2% da Bacia estudada, respectivamente. A suscetibilidade à inundação ocorre nas áreas mais planas, onde a água oriunda das concentradas e intensas precipitações apresentam fluxo lento, resultando na saturação dos

solos e inundações das planícies e áreas de inundações periódicas. As áreas de menor declividade são suscetíveis às secas, pois apresentam concomitância com aquelas de mais rigorosas condições climáticas, rede de drenagem intermitente e aspectos edáficos mais suscetíveis à ocorrência desse tipo de desastre.

4.1.3. Índice de circularidade (Ic) das Bacias

A Bacia Hidrográfica do rio Piracuruca foi subdividida em cinco Bacias (SB), a saber: SB do rio Jacareí (23% - 1.770,2 km²), SB do rio Catarina (13,8% - 1.060 km²), SB do rio Pejuaba (17,7% - 1.367,3 km²), SB do rio Arabé (31% - 2.389,4 km²) e SB do rio Piracuruca (14,5% - 1.117,1 km²). Todas as SBs apresentam forma alongada e baixa probabilidade à ocorrência de inundações, sendo a SB do rio Catarina aquela com maior Ic, que foi de 0,35. A SB do rio Arabé apresentou Ic de 0,31, segundo maior valor encontrado para o Ic, enquanto as SB do rio Jacareí, Pejuaba e Piracuruca apresentaram Ic no valor de 0,29, 0,28 e 0,25, respectivamente. Deve-se atentar para a integração dos demais fatores ambientais e, sobretudo, os socioeconômicos e a localização da população que reside próximos aos cursos fluviais, posto que sejam naturalmente áreas de risco a inundações.

4.1.4. Índice de aridez (Ia)

A Bacia do rio Piracuruca apresenta níveis diferenciados de umidade, onde predomina a classe de alta aridez, que ocorre por 59% de sua área. De forma representativa ocorrem duas outras classes de aridez, notadamente média com 18,1% e muito alta com 16%, enquanto as duas classes de menor aridez, muito baixa e baixa, ocorrem em 7% da BHRP. O nível de aridez alto contribui para acentuar os efeitos das secas, particularmente quando sua ocorrência dá-se em áreas com solo exposto ou em ambientes com rios temporários.

4.1.5. Temperatura à superfície do solo (Ts)

Inicialmente, reitera-se a relevância da temperatura à superfície do solo como elemento ligado ao processo de desenvolvimento da cobertura vegetal, seja ela natural ou os cultivos humanos. A temperatura da superfície do solo da Bacia do rio Piracuruca, para o ano de 2016, teve predomínio de temperaturas situadas entre 31,1 a 36°C em 67,2% da área. A segunda classe de temperatura com maior ocorrência na Bacia está localizada entre 26,1 a 30°C, que corresponde a 20,6%. As temperaturas mais baixas, 21,1 a 26°C representam 1,6% da área da BHRP, enquanto as temperaturas mais elevadas de 36,1 a

40°C e 40,1 a 47°C estão presentes em 10,5% e 0,1% de sua área, respectivamente. Estas estão ligadas à vegetação de baixo porte e esparsada, além da presença de áreas urbanizada e locais com ocorrência de queimadas.

4.1.6. Índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI)

É importante destacar que a cobertura vegetal tem papel importante na manutenção dos ambientes, absorvendo parte da água das chuvas, reduzindo o potencial de inundações, absorvendo parte da radiação solar, diminuindo a temperatura local e contribuindo para minimizar os efeitos das secas. A Bacia do rio Piracuruca apresenta vegetação com diferentes atividades fotossintéticas, contudo prevalece a vegetação com baixa atividade fotossintética, estendendo-se por 49% da área e está ligada, particularmente ao complexo vegetacional denominado carrasco e a caatinga de porte arbustivo.

A segunda fisionomia com maior representatividade diz respeito à vegetação com atividade fotossintética média, cuja extensão dá-se por 40,9% da área estudada e é representada pelo cerrado e a caatinga de porte arbóreo. A terceira classe está associada à área urbanizada e vegetação de muito baixa atividade fotossintética, representada por uma vegetação herbácea e/ou esparsada, identificada em 8,7% da Bacia. As classes de alta atividade fotossintética (mata plúvio-nebular), corpos hídricos e solo exposto apresentam pouca representatividade, sendo encontradas em 1,1%, 0,3% e 0,1%, respectivamente. Em relação às secas a cobertura vegetal reduz a temperatura local, devido captura da radiação solar pela copa das árvores, diminui a possibilidade de ocorrência de inundações, devido redução dos impactos das chuvas, fixação dos solos, absorção da água escoada das áreas mais altas e redução da erosão provocada pelas enxurradas.

4.1.7. Suscetibilidade biofísica a secas

O índice de suscetibilidade biofísica a secas (ISBios) considerou a soma de 4 (quatro) indicadores – Dm, Ia, Ts e SAVI – e permitiu identificar que a Bacia do rio Piracuruca possui suscetibilidade a secas que varia de muito baixa a muito alta, conforme se observa na figura 3. Na BHRP prevalece a classe de média suscetibilidade a secas, distribuindo-se por 58,3%, principalmente na parte central, onde ocorre relevo plano, moderada a muito alta aridez, temperaturas entre 30,1 a 36°C e caatinga arbustiva aberta. As classes de suscetibilidade a secas alta e muito alta, identificadas em 25,7% e 1% da área, respectivamente, ocorrem devido a presença de relevo plano, alta a muito alta aridez, temperaturas localizadas entre 30,1 a 36°C e presença de caatinga arbustiva aberta. As classes de suscetibilidade a secas muito baixa e

baixa somam 15%, devido à presença de relevo suave a forte ondulado, temperaturas de 26,1 a 30°C, muito baixa a moderada aridez e vegetação arbustiva densa a arbórea.

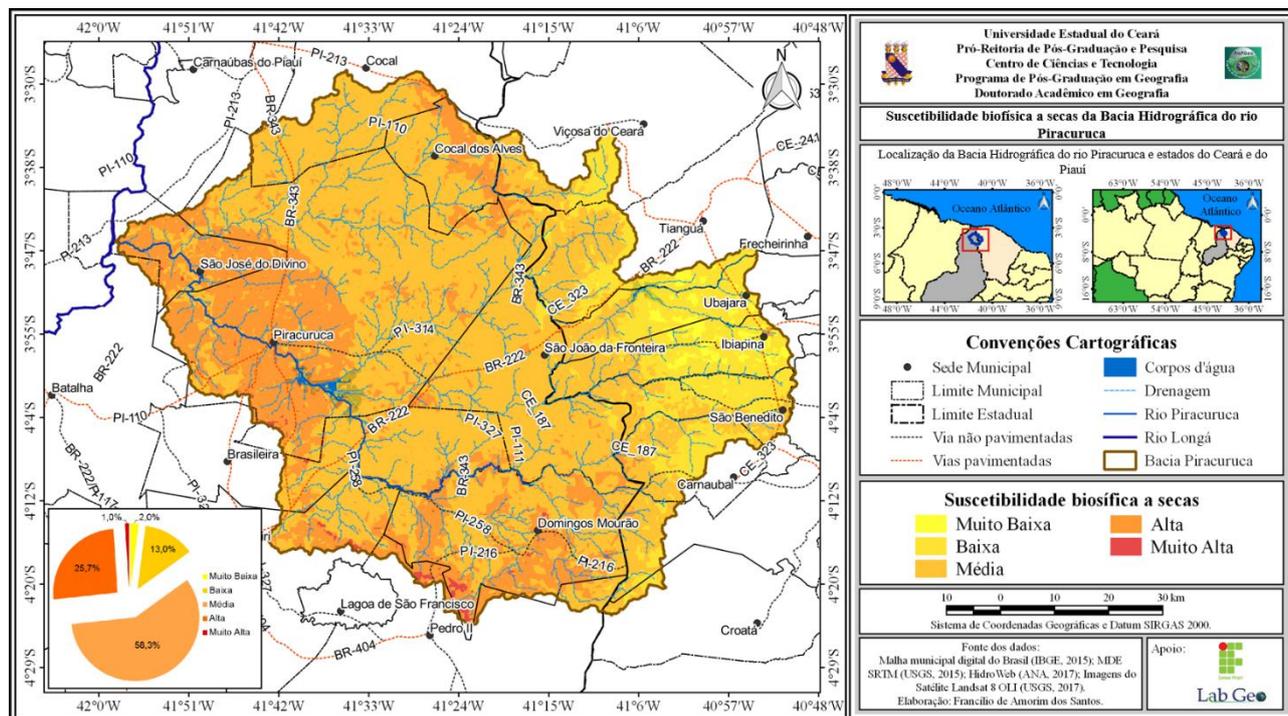


Figura 3 - Índice de suscetibilidade biofísica a secas (ISBioS) da Bacia Hidrográfica do rio Piracuruca. Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Evidencia-se que a predominância de média a alta suscetibilidade biofísica a secas está associada a relevo plano, temperaturas médias altas, altos níveis de aridez e vegetação predominantemente de caatinga arbustiva aberta, fato que predispõem e/ou acentuam a probabilidade da população residente nas referidas áreas a serem periodicamente atingidas por eventos de estiagens/secas.

4.1.8. Suscetibilidade biofísica a inundações

A construção do índice de suscetibilidade biofísica a inundações (ISBioI) é fruto da soma dos indicadores Dm, L, Ic e SAVI, onde se constata a predominância da classe de suscetibilidade baixa a inundações na Bacia, conforme representado na figura 4, com ocorrência em 58,9% da área, fruto principalmente de Bacias com forma alongada e alta permeabilidade litológica. A classe de baixa suscetibilidade distribui-se por 22% da área da Bacia e sua ocorrência pode ser associada à presença de alta permeabilidade litológica, relevo plano e caatinga arbustiva aberta. A classe de média suscetibilidade a inundações estende-se por 18,4% da Bacia, fato explicado por sua baixa a média permeabilidade, relevo plano e

presença de caatinga arbustiva aberta. As classes de alta a muito alta suscetibilidade foram encontradas em 0,7% da Bacia do rio Piracuruca, com ocorrência ligada a baixa permeabilidade, relevo plano e caatinga arbustiva aberta.

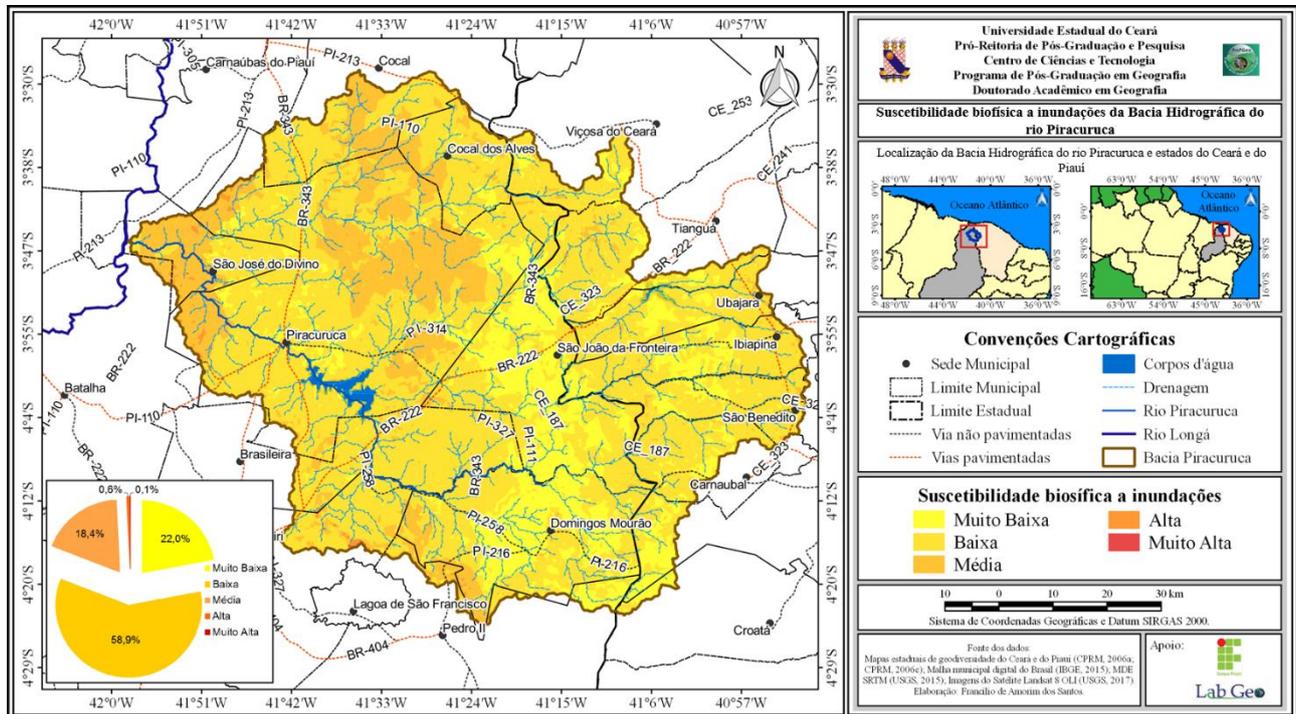


Figura 4 - Índice de suscetibilidade biofísica a inundações (ISBio₁) da Bacia Hidrográfica do rio Piracuruca.
Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Infere-se que a prevalência da classe de média suscetibilidade a inundações está ligada à ocorrência de permeabilidade baixa a média, presença de relevo plano, Bacias com formas alongadas e vegetação que exibe relativa proteção, cuja caatinga varia de arbustiva aberta à densa. Embora predomine a classe de média suscetibilidade, é preciso atentar-se para o fato de que a localização da população, particularmente próximo aos principais canais fluviais, e a forma como são desenvolvidas suas atividades geram risco com níveis diferenciados.

4.1.9. Análise fatorial da Criticidade (C) dos setores censitários

Para simplificar a interpretação dos fatores produzidos, realizou-se a rotação ortogonal por meio do método Varimax, onde cada variável foi associada ao fator que melhor se correlacionou após a rotação Varimax com a normalização Kaiser. Os 4 (quatro) fatores selecionados respondem por 86,209% da variância acumulada no que diz respeito às variáveis elencadas para análise da Criticidade.

Em relação à Criticidade da BHRP, observa-se a preponderância da classe alta, frequente em 87 (29,4%) setores, seguida da classe média que se distribui por 83 (28,0%) setores, enquanto a classe muito alta, baixa e muito baixa situa-se em 67 (22,6%), 43 (14,5%) e 16 (5,4%) setores da Bacia pesquisada, respectivamente. A predominância das classes alta e muito alta na Bacia estudada justifica-se pela presença do maior aporte de pessoas com faixa etária extrema (0 a 5 anos e com 65 anos ou mais), que demanda mais atenção e cuidado quando ocorrem eventos pluviométricos extremos, além da presença de pessoas responsáveis sem rendimento ou com renda até 1 salário mínimo, que reduz o potencial dessas pessoas à aquisição de bens e/ou medicamentos quando da ocorrência de inundações ou secas.

4.1.10. Análise fatorial da Capacidade de Suporte dos setores censitários

Após 4 (quatro) rodadas de testes resultou em 7 (sete) fatores, que respondem por 86,371% da variância acumulada em relação às variáveis selecionadas para a análise da Capacidade de Suporte da BHRP. Há predomínio da classe muito alta, que está distribuída por 137 (46,3%) setores, seguida pela classe alta, identificada em 69 (23,3%) setores. Por outro lado, as classes média, baixa e muito baixa tiveram ocorrência em 44 (14,9%), 36 (12,2%), 10 (3,4%) dos setores, respectivamente.

Deve-se ressaltar que embora a BHRP apresente preponderantemente alta a muito alta capacidade para suportar secas e inundações periódicas, seus setores exibem Capacidade de Suporte distinta, devendo-se criar adequado planejamento, considerando a melhoria dos indicadores ambientais como condição fundamental para redução da vulnerabilidade à ocorrência de secas e inundações.

4.1.11. Vulnerabilidade socioespacial

O Índice de Vulnerabilidade Socioespacial (IVSE) é produto da integração da Criticidade e da Capacidade de Suporte. Nesse produto nota-se a preponderância da classe de vulnerabilidade baixa, como se observa na figura 5, cuja distribuição deu-se por 172 (58,1%) setores da Bacia pesquisada. A essa classe segue-se a vulnerabilidade média, que ocorre em 56 (18,9%) setores da BHRP, enquanto as demais classes têm ocorrência pontual, onde a classe alta foi identificada em 36 (12,2%) setores, a classe muito baixa ocorreu em 31 (10,5%) setores e a classe muito alta que apareceu em apenas 1 (0,3%).

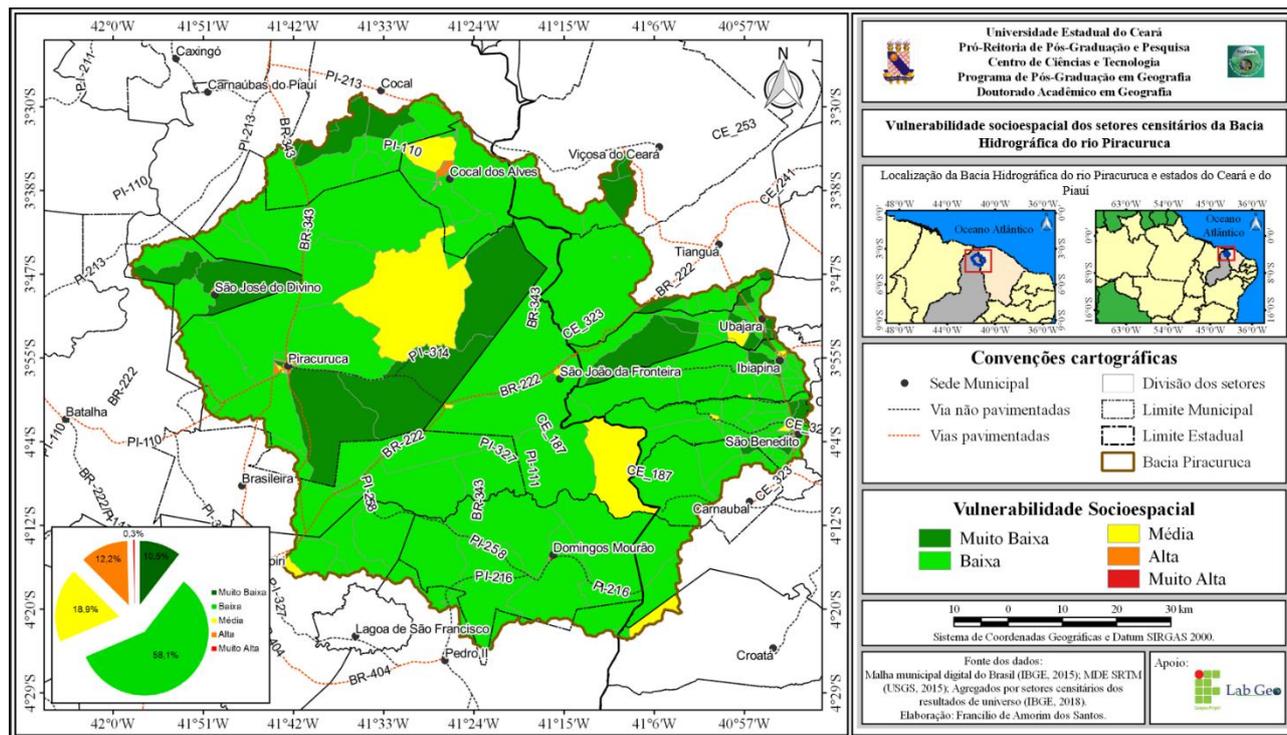


Figura 5 - Índice de vulnerabilidade socioespacial (IVSE) da Bacia Hidrográfica do rio Piracuruca, para o ano de 2010. **Fonte:** Elaborado pelo autor (2019).

Reafirma-se que a diversidade dos setores da Bacia, também, tem relação com o índice de vulnerabilidade socioespacial. Devem-se tomar como ponto de partida os dados dos setores censitários e buscar investir naqueles setores com maior Criticidade e menor Capacidade de Suporte, gerando-se a possibilidade de aumentar a resiliência humana e, também, ambiental à ocorrência de secas e inundações, desastres naturais recorrentes na área onde se situa a Bacia do rio Piracuruca.

4.1.12. Resiliência ambiental a secas e a inundações

A resiliência ambiental a secas e a inundações da Bacia do rio Piracuruca diz respeito ao potencial que a mesma exibe para manter a funcionalidade e a estrutura de seus sistemas quando atingida pelos referidos desastres naturais. A análise da resiliência a secas aponta predominância da classe muito baixa, como observado na figura 6, que se distribui por toda a Bacia, ocupando área de 76,7%, e está ligada a média e muito alta vulnerabilidade socioespacial e a espaços de média a muito alta suscetibilidade a secas. A classe baixa (ocorre em 10,5%) e média (distribui-se por 12,6%) é frequente na parte central da Bacia e sua presença deve-se a média a alta suscetibilidade biofísica a secas e vulnerabilidade média. As classes alta e muito alta somam 0,3% e estão localizadas

próximas às sedes dos municípios de Piracuruca e São José do Divino, que exibem alta a muito alta suscetibilidade a secas e alta a muito alta vulnerabilidade socioespacial.

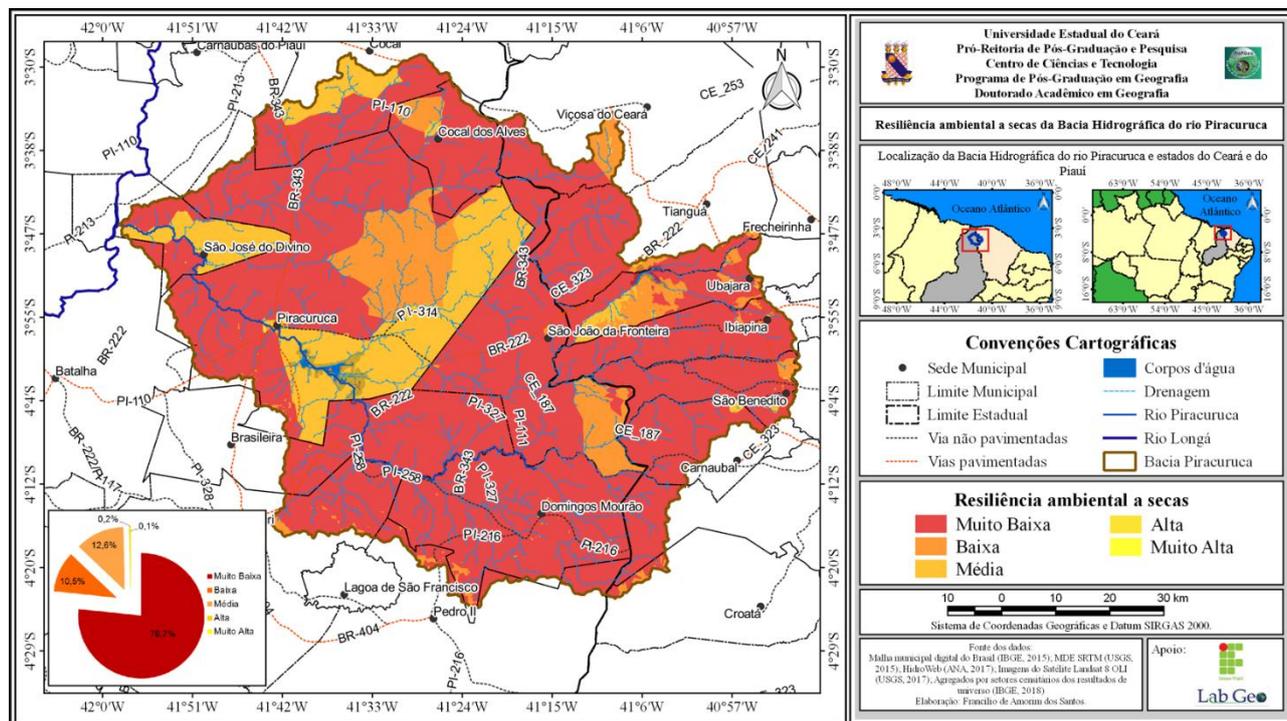


Figura 6 - Índice de resiliência ambiental a secas (IRAs) da Bacia Hidrográfica do rio Piracuruca.
Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Em relação à resiliência ambiental a inundações, a Bacia do rio Piracuruca exibe preponderância da classe muito baixa, como segue abaixo na figura 7, que se estende por 84,3% de sua área, fato explicado pela presença de áreas com suscetibilidade média e vulnerabilidade média a alta, que associado ao relevo plano, permeabilidade litológica média a alta e vegetação do tipo caatinga arbustiva aberta e a presença de relativo contingente populacional próximo aos cursos fluviais acentuam, ainda, mais o risco a ocorrência de inundações. A classe baixa, média e alta de resiliência a inundações frequentes em 12,2%, 3,4% e 0,1%, respectivamente, têm sua distribuição associada à presença de suscetibilidade e vulnerabilidade média a alta, cuja localização dá-se nos municípios de Piracuruca, São José do Divino e Ubajara.

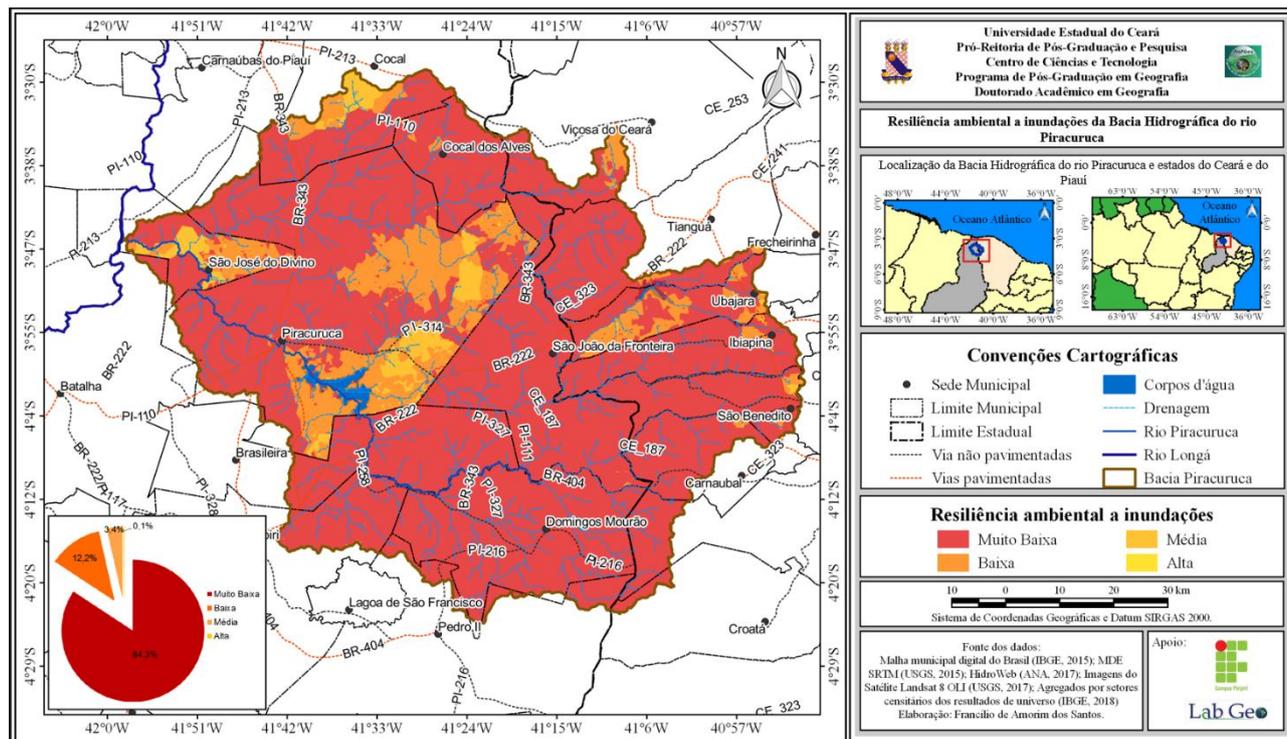


Figura 7 - Índice de resiliência ambiental a inundações (IRA₁) da Bacia Hidrográfica do rio Piracuruca.

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

5. CONCLUSÕES

O estudo foi relevante, posto que permitiu o agrupamento de informações de diferentes fontes governamentais em um banco de dados. O resultado da aplicação da proposta metodológica, produto da associação de distintos procedimentos e emprego de diversos índices, foi satisfatório e com as devidas adequações sua aplicabilidade pode ser expandida para outras áreas que não a semiárida, gerando a possibilidade de realizar estudos voltados à análise socioespacial.

Os indicadores ambientais quando integrados possibilitaram identificar que em 58% da Bacia do rio Piracuruca predomina média suscetibilidade biofísica a secas, fato justificado pelo predomínio de relevo plano, ocorrência de moderada a muito alta aridez, temperaturas situadas entre 30,1 a 36°C e caatinga arbustiva aberta. Em 58,9% dessa Bacia prevalece baixa suscetibilidade biofísica a inundações, devido à ocorrência de Bacias com forma alongada e alta permeabilidade litológica.

Foi possível inferir que na Bacia do rio Piracuruca predomina a classe baixa de vulnerabilidade socioespacial, com ocorrência em 58,1% de sua área, enquanto 12,5% da área da Bacia possui vulnerabilidade alta a muito alta. Quando integrado os índices

suscetibilidade biofísica e vulnerabilidade socioespacial foi possível estimar o potencial de resiliência ambiental a secas e a inundações da Bacia do rio Piracuruca.

Constatou-se que predomina na Bacia resiliência ambiental muito baixa, seja para secas (76,7%) ou para inundações (84,3%). O potencial muito baixo ligado às secas resulta da média a muito alta vulnerabilidade socioespacial associada a áreas com média a muito alta suscetibilidade. Enquanto a classe de muito baixa resiliência a inundações é fruto da preponderância de relevo plano, permeabilidade litológica média a alta e caatinga arbustiva aberta e ocupação inadequada de áreas próximas a cursos fluviais.

Evidencia-se a necessidade de criação de estratégias para convivência com as condições ambientais na Bacia do rio Piracuruca, aumento dos investimentos na melhoria das condições socioeconômicas da área, fato que resultará na redução da vulnerabilidade socioespacial e aumento do potencial de resiliência ambiental a secas e a inundações. É necessária a elaboração de um plano para gestão e redução dos riscos à ocorrência de inundações, que deve tomar como base a suscetibilidade da Bacia e o monitoramento sistêmico e contínuo das precipitações, mapeamento das áreas de risco, (re)orientação da expansão do espaço urbano e recuperação de áreas degradadas.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Hidro Web - Sistema de Informações Hidrológicas. **Séries históricas**: ano de 1985 a 2016. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/>. Acesso em: 11 fev. 2017.

ARTIS, D.A.; CARNAHAN, W.H. Survey of Emissivity Variability in Thennography of Urban Areas. **Remote Sensing of Environment**, v.12, p.313-329, 1982.

BITAR, O.Y. (Coord.). Serviço Geológico do Brasil. **Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações**: 1:25.000 (livro eletrônico): nota técnica explicativa. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Brasília, 2014.

BORATTO, I.M.P.; GOMIDE, R.L. **Aplicação dos índices de vegetação NDVI, SAVI e IAF na caracterização da cobertura vegetativa da região Norte de Minas Gerais**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16., 2013, Foz do Iguaçu, **Anais...** Foz do Iguaçu: SBSR, 2013, p.7.345-7.352.

BRASIL. Ministério de Minas e Energias. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Projeto RADAM** - Levantamento dos Recursos Naturais, Vol. 02, Folha SB. 23 / 24 - Teresina / Jaguaribe; geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro. 1973.

BROETTO, V.A. **aportes da litigância climática latino-americana para a redução do risco de desastre na região**. 197f. 2024. Dissertação (Mestrado em Direito) – Universidade de São Paulo. São Paulo, 2024.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. C. F. **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento Territorial**. São José dos Campos: INPE, 2001.

CUNHA, L.; MENDES, J.M.; TAVARES, A.; FREIRIA, S. Construção de modelos de avaliação de vulnerabilidade social a riscos naturais e tecnológicos: o desafio das escalas. **O processo de Bolonha e as reformas curriculares da geografia em Portugal**. Presented at the. Coimbra, Portugal, 2011.

CUTTER, S.L. The vulnerability of science and the science of vulnerability. **Annals of the Association of American Geographers**, n. 93, p.1-12, 2003.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. -- São Paulo: Editora Blucher, 1980.

EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2009.

FOLKE, C.; CARPENTER, S.R.; WALKER, B.; SCHEFFER, M.; CHAPIN, T.; ROCKSTRÖM, J. Resilience thinking: integrating resilience, adaptability and transformability. **Ecology and Society**, v.15, n.4, Artigo 20. 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Agregados por setores censitários dos resultados de universo**. Censo 2010. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/defaulttab_agregado.shtm. Acesso em: 25 jun. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Malha municipal digital do Brasil: situação em 2015**. Rio de Janeiro: IBGE, 2014. Disponível em: ftp://geoftp.ibge.gov.br/malhas_digitais/. Acesso em: 04 abr. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico de Geomorfologia**. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2009.

INFRAESTRUTURA NACIONAL DE DADOS ESPACIAIS. **Mapa de Solos da Folha SB.24 - Jaguaribe**. Disponível em: <http://www.visualizador.inde.gov.br/>. 2014. Acesso em: 13 set. 2018.

LAMPIS, A.; TORRES, P.H.C.; JACOBI, P.R.; LEONE, A.L. A produção de riscos e desastres na América Latina em um contexto de emergência climática. **O Social em Questão**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 48, p. 75-96, 2020.

LAVELL, A. **Gestión Ambiental y Gestión del Riesgo de Desastre en el Contexto del Cambio Climático**: Una Aproximación al Desarrollo de un Concepto y Definición Integral

para Dirigir la Intervención a través de un Plan Nacional de Desarrollo. Departamento Nacional de Planeación-DNP. Subdirección de Desarrollo Ambiental Sostenible. 2010.

MASKREY, A. **Los desastres no son naturales**. Red de estudios sociales en prevención de desastres en América Latina. 1993.

MENDES, J.; TAVARES, A.O.; CUNHA, L.; FREIRIA, S. A vulnerabilidade social aos perigos naturais e tecnológicos em Portugal. **Revista Crítica de Ciências Sociais**, n.93, p.95-128, jun. 2011.

MOLION, L.C.B.; BERNARDO, S.O. Dinâmica das Chuvas no Nordeste Brasileiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA (CD-Rom), 11., 2000, Rio de Janeiro, **Anais...** Rio de Janeiro: 2000, p.1.334-1.342.

OFFICE FOR THE COORDINATION OF HUMANITARIAN AFFAIRS. **Natural Disasters in Latin America and the Caribbean 2000-2019**. Balboa, Ancon (Panama): OCHA, 2020.

PENMAN, H.L. The Physical Bases of Irrigation Control, in Report 13th Int. **Hort. Congr.**, 2, 11 pages, Royal Horticultural Society, London, 1953.

PFALTZGRAFF, P.A.S.; TORRES, F.S.M.; BRANDÃO, R.L. (Org.). **Geodiversidade do estado do Piauí**. – Recife: CPRM, 2010.

PIKE, A.; DAWLEY, S.; TOMANEY, J. Resilience, adaptation and adaptability. **Cambridge Journal of Regions, Economy and Society**, v.3, p.59-70, 2010.

PRODANOV, C.C.; FREITAS, E.C. **Metodologia do trabalho científico [recurso eletrônico]**: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

SCHUMM, S.A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands of Perth Amboy. **Geological Society of America Bulletin**, New York, v.67, n.5, p.597-646, May 1956.

SISTEMA ECONÓMICO LATINOAMERICANO Y DEL CARIBE. Lineamentos para la cooperación entre gobiernos y el sector privado en la reducción de riesgo de desastres. Enfoques, avances y retos. In: **Seminario Regional “Cooperación entre gobiernos y sector privado para a reducción del riesgo de desastres en América Latina y el Caribe: Enfoques, avances y retos”**. SP/SR-CGSPRRD/DT nº 2-11. Ciudad de Panamá, Panamá. 2011.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Mapa Geológico do Estado do Piauí**. 2ª Versão. Teresina, 2006a.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Mapas estaduais de geodiversidade**: Ceará. Rio de Janeiro: CPRM. 2006b. Documento cartográfico em arquivo vetorial. Disponível em: <http://geobank.sa.cprm.gov.br>. Acesso em: 14 jan. 2014.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Mapas estaduais de geodiversidade**: Piauí. Rio de Janeiro: CPRM. 2006c. Documento cartográfico em arquivo vetorial. Disponível em: <http://geobank.sa.cprm.gov.br>. Acesso em: 14 jan. 2014.

SUERTEGARAY, D.M.A. Geografia física e geomorfologia: tema para debate. **Revista da ANPEGE**, Dourados, MS, v.5, n.1, número especial, p.17-26, 2009.

THORNTHWAITE, C.W. Atlas of Climatic Types in the United States. **Miscell Publ.** n.421. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, 1941.

TRAIANO, H. **Na América Latina, mais de 120 milhões de pessoas correm risco de voltar à pobreza**. Publicado em: 15 jun 2019. Atualizado em: 27 jun 2019. Disponível em: <https://oglobo.globo.com/mundo/na-america-latina-mais-de-120-milhoes-de-pessoas-correm-risco-de-voltar-pobreza-23741716>. Acesso em: 23 out. 2024.

UNITED STATES GEOLOGICAL SERVICE (SERVIÇO GEOLÓGICO DOS ESTADOS UNIDOS). **Earth Explorer**. Digital Elevation: SRTM 1 Arc-Second Global. 2017. Disponível em: <http://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 23 nov. 2017a.

UNITED STATES GEOLOGICAL SERVICE (SERVIÇO GEOLÓGICO DOS ESTADOS UNIDOS). **Earth Explorer**. Collection: Landsat Archive. Disponível em: <http://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 23 nov. 2017b.

VALOR, E.; CASELLES, V. Mapping Land Surface Emissivity from NDVI: Application to European, African, and South American Areas. **Remote Sensing of Environment**, v.57, p.167-184, 1996.

ZANELLA, M.E. Considerações sobre o clima e os recursos hídricos do semiárido nordestino. **Caderno Prudentino de Geografia**, Presidente Prudente, n.36, p.126-142, 2014.

ZHANG, X.; LIAO, C.; LI, J.; SUN, Q. Fractional vegetation cover estimation in arid and semi-arid environments using HJ-1 satellite hyperspectral data. **Int. J. Appl. Earth Observ. Geoinf.**, p.1-7, 2012.

Recebido: 02/05/2024

Aceito: 27/10/2024