







Suscetibilidade biofísica a secas da sub-bacia hidrográfica do rio Piracuruca (CE-PI)

Biophysical susceptibility of drying of the Piracuruca river sub-basin (CE-PI)

Suscetibilidad biofísica a secas de la sub-bacia hidrográfica del río Piracuruca (CE-PI)

  **Francílio de Amorim dos Santos**
Instituto Federal do Piauí - Piracuruca - Piauí - Brasil
francilio.amorim@ifpi.edu.br

  **Maria Lúcia Brito da Cruz**
Instituto Estadual do Piauí - Fortaleza - Ceará - Brasil
mlbcruz@gmail.com

  **Lúcia Maria Silveira Mendes**
Instituto Estadual do Piauí - Fortaleza - Ceará - Brasil
lucia.mendes@uece.br

Resumo: O estudo teve como objetivo realizar caracterização biofísica da Sub-bacia Hidrográfica do rio Piracuruca (CE-PI) para diagnosticar e analisar a sua suscetibilidade biofísica às secas da Sub-bacia em questão. Para tal finalidade, propôs-se a criação do índice de suscetibilidade biofísica às secas para estimar a probabilidade da ocorrência de secas a partir da integração de quatro componentes biofísicos, a saber: declividade média do relevo, índice de aridez, temperatura à superfície do solo e índice de vegetação ajustado ao solo. Dessa forma, os resultados evidenciaram que na Sub-bacia Hidrográfica do rio Piracuruca predomina: declividade plana (0 a 3%) em 58,4% da área; aridez alta em 59%; temperaturas da ordem 31,1 a 36°C em 67,2% da Sub-bacia; vegetação com baixa atividade fotossintética em 49% da área. Quando foram integradas as componentes as quatro componente ambientais, constatou-se que predomina uma média suscetibilidade a secas, estendendo-se por 58,3% da área. Dessa forma, deve-se proceder ao monitoramento permanente das condições ambientais de forma integrada ao uso das terras como possibilidade para a elaboração de planejamento ambiental.

Palavras-chave: Bacia Hidrográfica. Álgebra de mapas. Desastre natural.

Abstract: The study aimed to perform biophysical characterization of the Piracuruca River Hydrographic Sub-basin (CE-PI) to diagnose and analyze its biophysical susceptibility to droughts in the Sub-basin in question. For this purpose, it was proposed to create the biophysical susceptibility index to droughts to estimate the probability of drought occurrence from the integration of four biophysical components, namely: average relief gradient, aridity index, temperature at the surface of the soil and vegetation index adjusted to the soil. Thus, the results showed that in the Piracuruca River Hydrographic Sub-basin there is a predominance: flat slope (0 to 3%) in 58.4% of the area; high aridity by 59%; temperatures in the order of 31.1 to 36 ° C in 67.2% of the Sub-basin; vegetation with low photosynthetic activity in 49% of the area. When the four environmental components were integrated, it was found that an average susceptibility to drought predominates, covering 58.3% of the area. Thus, it is necessary to proceed with the permanent monitoring of environmental conditions in an integrated manner with the use of land as a possibility for the preparation of environmental planning.

Keywords: Hydrographic Basin. Map algebra. Natural disaster.

Resumen: El estudio tuvo como objetivo realizar caracterización biofísica de la Subcuenca Hidrográfica del Río Piracuruca (CE-PI) para diagnosticar y analizar su susceptibilidad biofísica a las sequías en la Subcuenca en cuestión. Para ello, se propuso crear el índice de susceptibilidad biofísica a las sequías para estimar la probabilidad de sequías a partir de la integración de cuatro componentes biofísicos, a saber: gradiente medio de relieve, índice de aridez, temperatura en la superficie del suelo. e índice de vegetación ajustado al suelo. Así, los resultados mostraron que en la Subcuenca Hidrográfica del Río Piracuruca hay un predominio: pendiente plana (0 a 3%) en el 58,4% del área; alta aridez en un 59%; temperaturas del orden de 31,1 a 36 ° C en el 67,2% de la Subcuenca; vegetación con baja actividad fotosintética en el 49% del área. Cuando se integraron los cuatro componentes ambientales, se encontró que predomina una susceptibilidad promedio a la sequía, que cubre el 58,3% del área. Por tanto, es necesario proceder con el monitoreo permanente de las condiciones ambientales de manera integrada con el uso del suelo como posibilidad para la elaboración de la planificación ambiental.

Palabras claves: Cuenca Hidrográfica. Álgebras de mapas. Desastre natural.

Introdução

Ao longo do tempo, o Nordeste do Brasil (NEB) ficou conhecido pela ocorrência de secas interanuais, fruto da atuação conjunta de sistemas atmosféricos, particularmente da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e dos fenômenos oceânicos *El Niño* Oscilação Sul (ENOS) e Dipolo do Atlântico. Essa junção de eventos têm causado danos à vida da população, agravados pela ausência de políticas públicas efetivas voltadas à convivência com as características ambientais. Desse modo, Caetano, Lucio e Mendes (2015) destacam que os usos dos recursos hídricos nessas regiões têm sido marcados pelo desperdício e degradação ambiental.

Dessa forma, pode-se afirmar que as secas dizem respeito à insuficiência do suprimento de umidade oriunda das precipitações ou da água armazenada no solo para atender a demanda hídrica das plantas. Nesse ponto, Ab'Sáber (2003) ressalta que devido às longas estiagens sertanejas o NEB pode ser considerado semidesertos nublados. Por outro lado, Diniz, Santos e Santos (2008) reiteram que as secas têm sido acentuadas em razão da falta de infraestrutura disponibilizada à população nessas áreas.

Nesse cenário, é mister a realização de estudos cujo foco seja o conhecimento da suscetibilidade biofísica dessas áreas à ocorrência de secas. De acordo com Listo (2011), a suscetibilidade está ligada a um conjunto de fatores naturais que o terreno apresenta, com potencial para deflagração de determinados desastres, que quando ocupado inadequadamente geraram riscos à população. Por sua vez, Bitar (2014) aponta que esse conceito está associado à probabilidade que o espaço geográfico possui em relação ao desenvolvimento do fenômeno ou processo do meio físico.

Alguns trabalhos sobre as secas se destacam, são eles: Marques *et al.* (2007); Diniz, Santos e Santos (2008); e Farias (2016). No entanto, há uma ausência de estudos sobre a suscetibilidade biofísica e a possibilidade de identificação das áreas com maior suscetibilidade à ocorrência de secas. Desse modo, tornou-se essencial a realização deste estudo, posto que a Sub-bacia

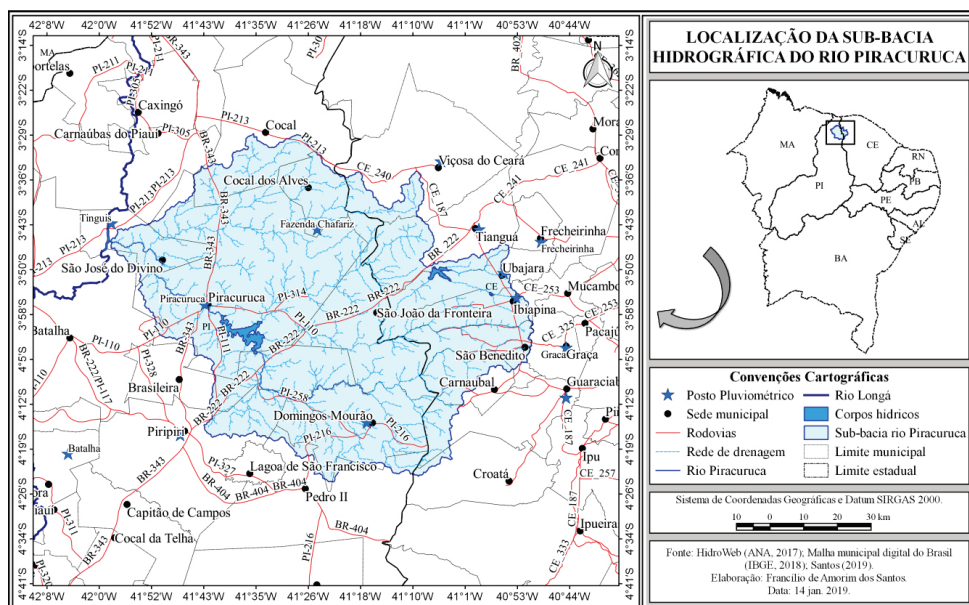
Hidrográfica do rio Piracuruca (SBHRP) está inserida no polígono da seca. A pesquisa teve como objetivos realizar caracterização biofísica para produção de um diagnóstico e analisar a suscetibilidade biofísica a secas da Sub-bacia em questão.

Materiais e métodos

A área em estudo

A SBHRP pertence à Bacia Hidrográfica do rio Longá. A área em estudo está localizada entre os estados do Ceará e do Piauí, e drena uma área de 7.704 km², ao passo que suas principais nascentes se encontram na Serra da Ibiapaba, particularmente no município de São Benedito, estado do Ceará. Sua foz, por sua vez, situa-se no município de São José do Divino, estado do Piauí. Ressalta-se, ainda, que a SBHRP drena as áreas de 11 municípios localizados em território piauiense e nove municípios situados no estado do Ceará (Figura 1).

Figura 1 - Localização da Sub-bacia Hidrográfica do rio Piracuruca, situada entre os estados do Ceará e do Piauí



Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

A SBHRP assenta-se sobre formações geológicas da Bacia Sedimentar do Parnaíba (CPRM, 2006a; 2006b), a saber: Serra

Grande (Período Siluriano), Pimenteiras (Período Devoniano Inferior), Cabeças (Período Devoniano Médio), Longá (Período Devoniano Superior), Sardinha (Período Cretáceo, única de natureza vulcânica) e os Depósitos Colúvio-Eluviais (Período Neógeno). Essas formações estão submetidas a processos erosivos de dissecação e de acumulação, onde se tem o Planalto da Ibiapaba com topo plano, cujas altitudes ultrapassam os 900 m, com decaimento em direção ao estado do Piauí e marcas de dissecação oriundas da rede de drenagem consequente, que tem gerado extensa área aplainada, com formação de superfícies tabulares.

A área compreendida pela SBHRP está sob a influência direta da atuação conjunta da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), responsável pelas chuvas entre fevereiro a maio, e dos fenômenos oceânicos *El Niño* Oscilação Sul (ENOS) e Dipolo do Atlântico, que cooperam para a ocorrência das anomalias pluviométricas interanuais. Cabe ressaltar, ainda, que na Sub-bacia ocorrem chuvas orográficas, particularmente na vertente a barlavento do Planalto da Ibiapaba, lado cearense. De acordo com o estudo de Santos (2019), a SBHRP apresenta as seguintes características médias anuais: precipitações que variam de 860 a 1.710 mm anuais; temperaturas oscilando entre 20 a 27°C; ocorrência de 1 a 7 meses secos; evapotranspiração potencial da ordem de 903 a 1.643 mm; excedentes hídricos da ordem de 100 a 1.000 mm; e déficits que variam de 0 a 730 mm.

As condições climáticas atuais geraram processos morfodinâmicos que resultaram na formação de oito ordens e 11 subordens de solos (INDE, 2014), quais sejam: os Neossolos (subordens Neossolos Litólicos e Neossolos Quartzarênicos); os Argissolos (subordem Amarela e Vermelha); os Latossolos (subordem Amarelo); os Planossolos (subordem Háplico); os Plintossolos (subordens Plintossolo Argilúvico e Plintossolo Pétrico); os Vertissolos (subordem Vertissolo Ebânico); os Gleissolos (subordem Melânico); e os Chernossolos (subordem Argilúvico). Por sua vez, as condições edáficas possibilitaram o desenvolvimento de distinta cobertura vegetal, onde se tem o platô da Ibiapaba vegetação de grande porte (mapa

plúvio-nebular), ao passo que em direção ao estado do Piauí, devido ao aumento do rigor climático, a vegetação muda, passando desde a mata seca para o complexo vegetacional carrasco até à caatinga arbórea e arbustiva (SANTOS, 2019).

Procedimentos metodológicos

Inicialmente, ressalta-se que o emprego do índice de suscetibilidade biofísica a secas (ISBio_s) à Sub-bacia do rio Piracuruca foi de fundamental importância para estimativa da probabilidade da ocorrência de secas, considerando o disposto no estudo de Santos (2019). Nesse sentido, foram elencadas e integradas quatro componentes biofísicas, conforme está apresentado na Equação 1.

$$ISBio_s = Dm + Ts + Ia + SAVI \quad (1)$$

Onde: ISBio_s = índice de suscetibilidade biofísica a secas; Dm = declividade média do relevo; Ts = temperatura à superfície do solo; Ia = índice de aridez; SAVI = índice de vegetação ajustado ao solo.

Na sequência, foi possível realizar a classificação da suscetibilidade a secas da SBHRP por meio do emprego das ferramentas do Sistema de Informação Geográfica (SIG) QGIS, versão 2.14. Desse modo, a operação para delimitação das classes (Tabelas 1) para o ISBio_s foi executado utilizando-se a opção graduado e método quebra naturais (*jenks*), pertencentes ao QGIS.

Tabela 1 – Intervalos, classes atribuídas e notas do ISBio_s da Sub-bacia 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: ANA (2017)

A seguir serão detalhados os arquivos utilizados e os procedimentos empregados no manuseio, refinamento e geração do produto final para cada componente ambiental da construção do ISBio_s.

Declividade média do relevo (Dm)

A declividade média do relevo (Dm) considerou o emprego dos Modelos Digitais de Elevação (MDEs) e da Missão Topográfica Radar *Shuttle* (SRTM) (USGS, 2017a). A delimitação dos intervalos de Dm baseou-se nas classes estimadas pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2009), conforme está exposto na Tabela 2.

Tabela 2 - Intervalos, classes atribuídas e notas de declividade média do relevo (Dm) da Sub-bacia Hidrográfica do rio Piracuruca

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 pelos autores (2019)

Índice de aridez (Ia)

O Índice de aridez (Ia), desenvolvido por Thornthwaite (1941) e aperfeiçoado por Penman (1953), foi construído a partir do quociente entre a pluviometria anual média (P) e a evapotranspiração potencial anual média (Etp), considerando-se a Equação 2.

$$Ia = \frac{P}{Etp} \quad (2)$$

Onde: Ia = índice de aridez; P = pluviometria anual média; Etp = evapotranspiração anual média.

Forma delimitados cinco níveis de aridez para a SBHRP, considerando-se os dados de precipitação de quatorze postos pluviométrico da Agência Nacional de Águas (ANA, 2017), como está exposto na Figura 1, associado do método de intervalo igual que integra o SIG QGIS, conforme se observa na Tabela 3.

Tabela 3 - Intervalos, classes atribuídas e notas ao Índice de aridez (Ia) da Sub-bacia Hidrográfica do rio Piracuruca

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: Santos (2019)

Índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI)

Inicialmente, foram adquiridas imagens do satélite *Landsat 8* OLI, com resolução espacial de 30 m, disponíveis no site do United States Geological Service (USGS, 2017b). As cenas foram selecionadas considerando-se a menor quantidade de nuvens e possuem as seguintes características: órbita/ponto 219/62 e 219/63 e data de passagem de 08 de agosto de 2016; órbita/ponto 218/63 e data de passagem de 01 de agosto de 2016. Ressalta-se que as imagens passaram pelo cálculo da reflectância aparente, correção atmosférica e conversão dos níveis de cinza da imagem (NC) para radiância espectral e, em seguida, radiância espectral para reflectância.

Em seguida, foi aplicada a Equação 3, referente ao índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI), considerando-se os efeitos do solo exposto nas imagens selecionadas a partir do ajuste do índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI), quando a superfície não está totalmente coberta pela vegetação (BORATTO; GOMIDE, 2013).

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

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

Na sequência foram definidas cinco classes para o SAVI (Tabela 5), efetivado via extensão *Spatial Analyst Tool* e ferramenta *Reclassify* do ArcGIS, versão 10.2, cuja licença foi adquirida pela Universidade Federal do Piauí (UFPI).

Tabela 4 - Intervalos, classes atribuídas e notas ao Índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI) da Sub-bacia Hidrográfica do rio Piracuruca

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 pelos autores (2019)

Temperatura à superfície do solo (Ts)

Foram utilizadas as mesmas cenas do satélite *Landsat 8* OLI mencionadas anteriormente. Contudo, para a Ts realizou-se o cálculo da radiância monocromática aparente e de emissividade, considerando-se o sistema imageador Thermal Infrared Sensor (TIRS), do satélite *Landsat 8*, referente às Bandas 10 (Infravermelho Termal/TIRS 1/10.6 - 11.19 µm) e 11 (Infravermelho Termal/TIRS 2/11.5 - 12.51 µm). Posteriormente, foi utilizado o *software* SPRING para conversão dos valores iniciais dos dados das imagens em radiância espectral e, em seguida, para temperatura de brilho (NASA, 2019).

Realizada essa etapa, procedeu-se à derivação da Fração

de Cobertura Vegetal (F_c), a partir do SAVI (ZHANG *et al.*, 2012) e, em seguida, ao cálculo dos valores de emissividade da superfície (ϵ), usando o método proposto por Valor e Caselles (1996). Desse modo, foi possível aplicar a Equação 4, que diz respeito ao cálculo da temperatura à superfície do solo (T_s) com correção atmosférica, onde se utilizaram as constantes Planck e Boltzmann proposta por Artis e Carnahan (1982).

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

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 ($2.998 * 10^8 m/s$); T_b = temperatura de brilho, em Kelvin; ϵ = emissividade; $\rho = h * \frac{c}{\sigma} \left(1.438 * \frac{10^{-2}m}{K} \right)$; k = constante de conversão térmica para as bandas 10 e 11.

Spatial Analyst Tool e ferramenta *Reclassify* do ArcGIS para reclassificação da imagem resultante da aplicação das equações e a partir daí foi executada a delimitação dos intervalos, classes e notas referentes à variável T_s (Tabela 5).

Tabela 5 - Intervalos, classes atribuídas e notas à Temperatura à superfície do solo (T_s) da Sub-bacia Hidrográfica do rio Piracuruca

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)

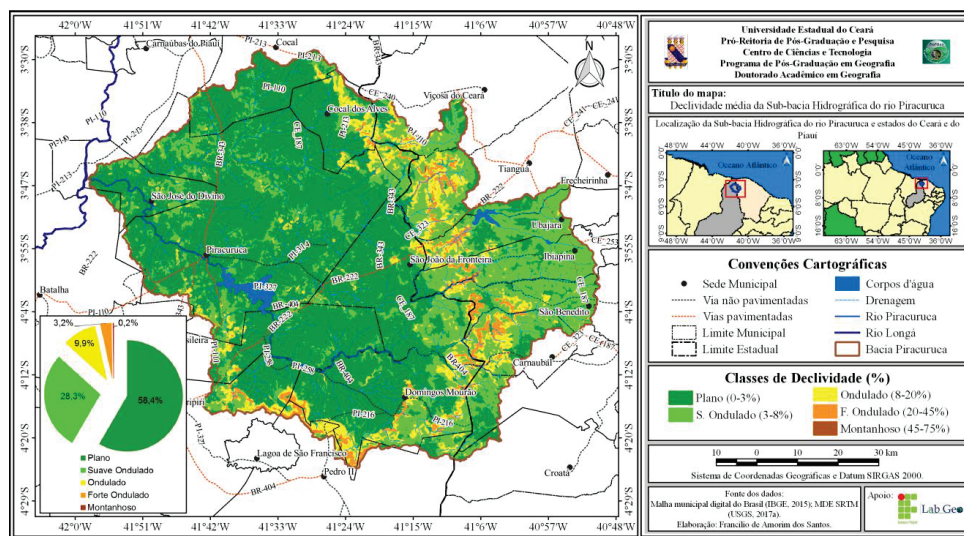
Resultados e discussão dos dados

Declividade média do relevo (Dm)

No que diz respeito ao relevo da SBHRP, pode-se observar na Figura 1 que predomina a classe de declividade plana (0 a 3%), em 58,4% da área, principalmente, na parte central-oeste, ao passo que o relevo suave ondulado (3 a 8%) ocorre em 28,3%, particularmente na parte centro-leste. Ressalta-se que a classe relevo ondulado (8 a 20%) a forte ondulado (20 a 45%) se distribui

por 13,1% da área pesquisada. Cabe destacar que 0,2% da Sub-bacia estudada apresenta relevo montanhoso (45 a 75%), notadamente ligado às bordas do planalto da Ibiapaba. Reitera-se que essas últimas constituem áreas de preservação permanente (APP), conforme aponta o Código Florestal vigente (BRASIL, 2012), e devem ser preservadas como forma de assegurar principalmente a preservação das nascentes do rio Piracuruca.

Figura 2 - Declividade média do relevo (Dm) da Sub-bacia Hidrográfica do rio Piracuruca



Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

Diante do contexto apresentado, as áreas de menor declividade estão situadas no topo do Planalto da Ibiapaba e das Superfícies Aplainadas da Bacia do Parnaíba, enquanto que as declividades mais acentuadas estão localizadas na borda. Desse modo, é relevante pensar em elaborar estratégias voltadas à instalação de famílias nessas áreas e/ou propor ações para a população já instalada nas áreas mencionadas, como forma de mitigar os efeitos das secas.

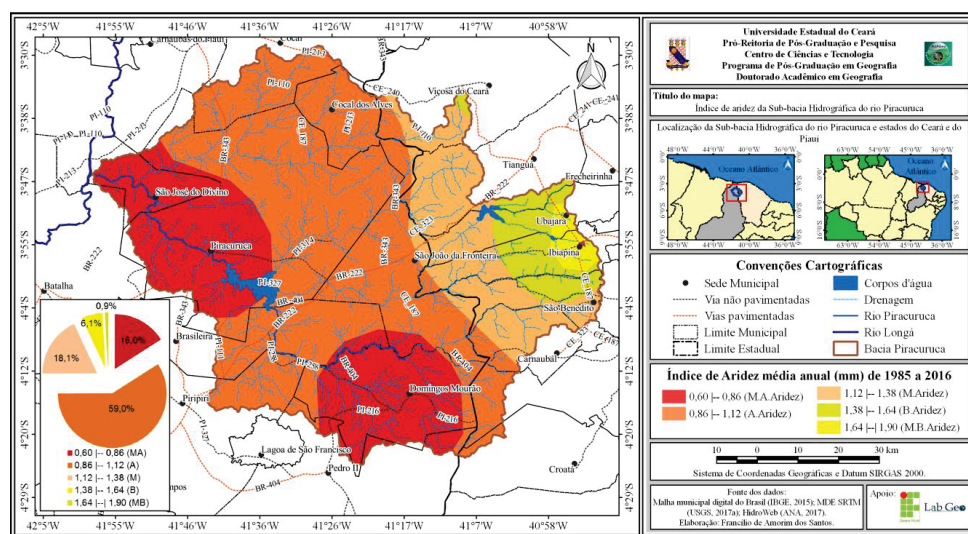
Índice de aridez (Ia)

No que se refere às condições de aridez, a SBHRP apresenta influência do Planalto da Ibiapaba, de tal modo que se observa na Figura 3 o predomínio da classe de aridez alta (parte centro-oeste)

em 59% de sua área, compreendendo as sedes municipais dos municípios de Cocal dos Alves e São João da Fronteira. Por sua vez, as classes de aridez média, com 18,1%, e muito alta, com 16%, respectivamente, ocorrem na borda do Planalto da Ibiapaba e engloba a sede municipal de São Benedito, e também o setor sul e oeste (próximo a foz do rio Piracuruca), compreendendo a sede municipal de Domingos Mourão, Piracuruca e São José do Divino. Por seu turno, a classe muito baixa e baixa somam juntas 7%, e abrangem o setor mais alto e úmido da SBHRP, onde se localizam as sedes dos municípios de Ibiapina e Ubajara. Desse modo, infere-se que se tenha na parte mais alta menor severidade, enquanto que em direção à parte mais baixa os níveis de aridez vão se acentuando.

De acordo com o que foi exposto, a SBHRP evidencia que a maior parte de sua área, particularmente o setor centro-oeste, apresenta maior rigor climático e, como tal, está mais suscetível à ocorrência de secas. Fato que justifica dizer que se demandam ações voltadas à mitigação dos efeitos das secas periódicas, notadamente melhoria das condições de conservação da vegetação e uso racional no que diz respeito aos recursos hídricos na área.

Figura 3 - Índice de aridez (Ia) da Sub-bacia do rio Piracuruca

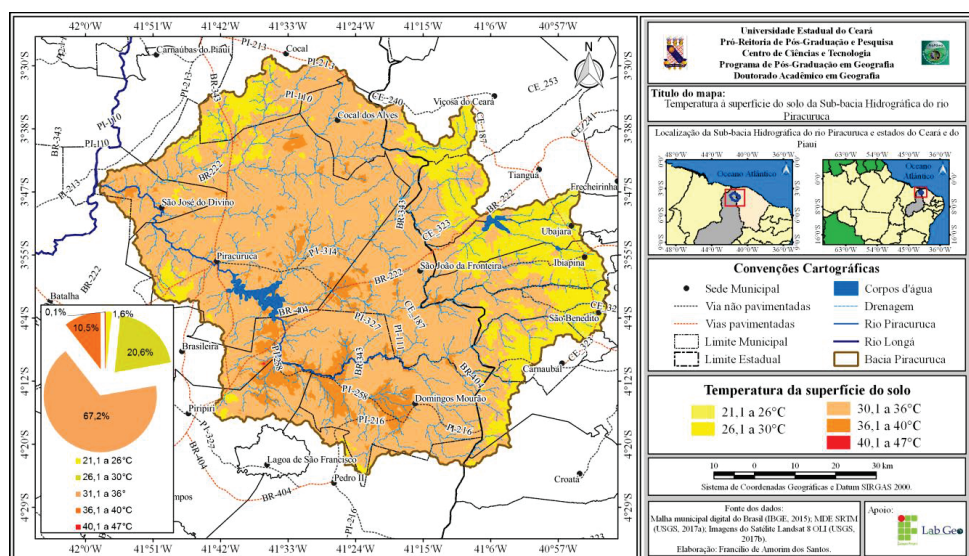


Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

Temperatura à superfície do solo (Ts)

Enfatiza-se que há influência do Planalto da Ibiapaba no que tange à temperatura e à superfície do solo (Ts), pois na Sub-bacia estudada, considerando-se o ano de 2016, houve variação da temperatura entre 21,1 a 47°C (Figura 4). Desse modo, para o referido ano houve predomínio de temperaturas entre 31,1 a 36°C, identificadas em 67,2% da SBHRP, parte centro-oeste da Sub-bacia. As temperaturas situadas entre 26,1 a 30°C ocorrem em 20,6% da SBHRP, sendo mais frequentes na parte mais alta da área, enquanto as temperaturas localizadas entre 21,1 a 26°C, 36,1 a 40°C e 40,1 a 47°C dispersam-se pela Sub-bacia e ocupam, respectivamente, 1,6%, 10,5% e 0,1% de sua área. Destaca-se que essa variação deu-se particularmente devido às distintas formações vegetais, presença de áreas urbanizadas e locais com ocorrência de queimadas.

Figura 4 - Temperatura à superfície (Ts) do solo da Sub-bacia Hidrográfica do rio Piracuruca



Fonte: Elaborado pelo autores (2019)

Reafirma-se a necessidade de planejamento quando se trata do desenvolvimento das atividades humanas, considerando as temperaturas como fator importante para o desenvolvimento, principalmente, dos cultivos agrícolas e da adaptação animal, no que diz respeito à prática da pecuária. Destaca-se, ainda, que as

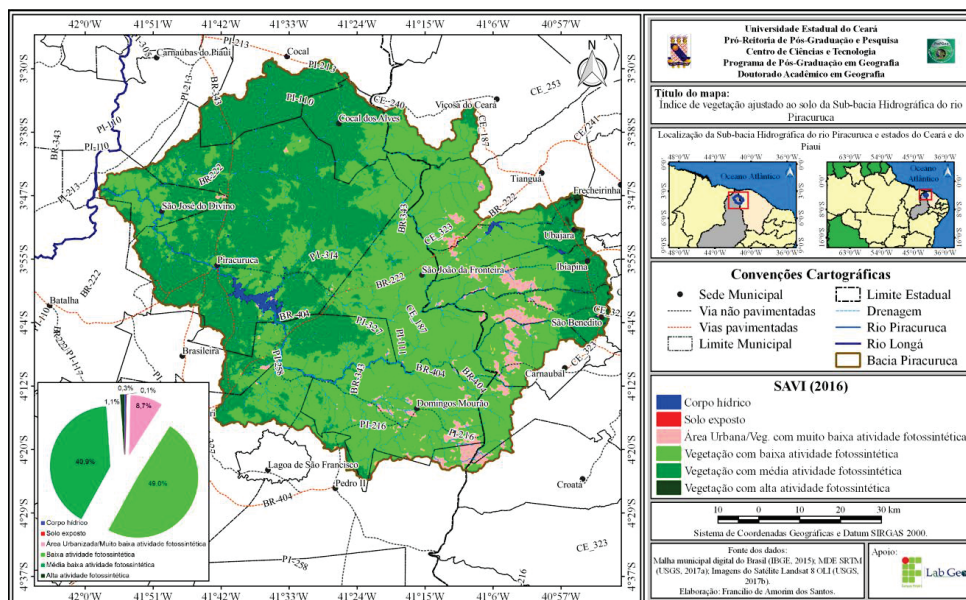
temperaturas elevadas, particularmente, em áreas desprovidas de vegetação, promovem o ressecamento do solo e inibem o processo de germinação e desenvolvimento das plantas e, conseqüentemente, cooperam para aumentar a suscetibilidade às secas na Sub-bacia pesquisada.

Índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI)

Os procedimentos aplicados às imagens do satélite *Landsat 8* possibilitaram evidenciar que a SBHRP apresenta vegetação com diferentes atividades fotossintéticas, porém ocorre predomínio de vegetação com baixa atividade fotossintética (Figura 5), classe que se estende por 49%, principalmente no setor centro-leste e pode ser associada ao complexo vegetacional carrasco e à catinga arbustiva (SANTO, 2019). Segue-se a essa classe a de vegetação com atividade fotossintética média, que se dispersa por 40,9% da área estudada e sua presença dá-se principalmente na parte oeste e associa-se ao cerrado e à caatinga arbórea. Por sua vez, as classes área urbanizada e vegetação de muito baixa atividade fotossintética, vegetação herbácea e/ou esparsada, distribui-se por 8,7% da Sub-bacia. As classes de alta atividade fotossintética (mata plúvio-nebular), corpos hídricos e solo exposto foram identificadas em 1,1%, 0,3% e 0,1% da área estudada, respectivamente.

Neste sentido, a cobertura vegetal tem papel fundamental na redução das secas, pois reduz a temperatura local a partir da captura da radiação solar pela copa das árvores. Desse modo, reitera-se a relevância da conservação e/ou manutenção da vegetação para a redução das secas, pois sua retirada aumenta a exposição dos solos à radiação solar e, como tal, acentua a aridez e suscetibilidade a processos erosivos, principalmente nas margens dos canais fluviais.

Figura 5 - Índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI) da Sub-bacia Hidrográfica do rio Piracuruca

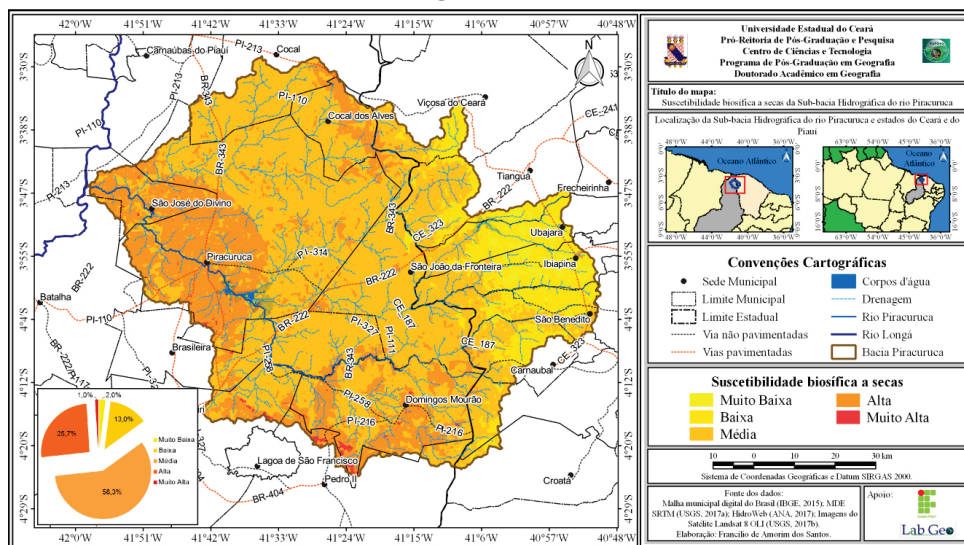


Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Índice de suscetibilidade biofísica a secas (ISBio_s)

O índice de suscetibilidade biofísica a secas (ISbio_s) é fruto da soma dos mapa da Dm, Ia, Ts e SAVI, cuja integração permitiu reconhecer que na SBHRP predomina média suscetibilidade a secas (Figura 6), cuja ocorrência dá-se em 58,3% de sua área, principalmente em sua parte central, que apresenta relevo plano, moderada a muito alta aridez, temperaturas situadas entre 30,1 a 36°C e caatinga arbustiva aberta. As classes de suscetibilidade a secas alta e muito alta, frequentes em 25,7% e 1% da área, respectivamente, estão ligadas à 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 distribuem-se ao longo da parte cearense da SBHRP, somando 15% e sua presença deve-se 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 6 - Índice de suscetibilidade biofísica a secas (ISBIOS)
Sub-bacia Hidrográfica do rio Piracuruca



Em síntese, observa-se que na SBHRP há predominância de média a alta suscetibilidade biofísica a secas, e isto está associado à presença de relevo plano, temperaturas médias altas, altos níveis de aridez e vegetação predominantemente de caatinga arbustiva aberta. Desse modo, reafirma-se a ligação das componentes ambientais que cooperam e integram a predisposição da SBHRP à ocorrência de secas periódicas e, como tal, acometendo a população residente nessas áreas. Nesse sentido, deve-se proceder ao monitoramento constante das condições ambientais, as informações aqui apresentadas devem ser tomadas como ponto de partida para orientação da população quando da ocupação do espaço e desenvolvimento de suas atividades.

Considerações finais

Os resultados encontrados a partir da aplicação da metodologia proposta foram satisfatórios, já que foi possível caracterizar a biofísica da SBHRP e analisar a sua suscetibilidade a secas. Salienta-se que nessa Sub-bacia predomina declividade plana (0 a 3%) em 58,4%, aridez alta em 59%, temperaturas situadas entre 31,1 a 36°C em 67,2% e vegetação com baixa

atividade fotossintética em por 49% da área da SBHRP.

Assim, quando integradas as variáveis foi possível identificar que predomina em 58,3% média suscetibilidade a secas na SBHRP. Esse percentual pode ser explicado devido à presença de relevo plano, moderada a muito alta aridez, temperaturas situadas entre 30,1 a 36°C e caatinga arbustiva aberta, que cooperam para acentuar a maior parte da área estudada com média suscetibilidade a secas, particularmente sua área central.

Nesse cenário, torna-se relevante tomar as informações apresentadas como suporte ao desenvolvimento do monitoramento contínuo das condições ambientais, bem como promover estudos futuros voltados à construção de estratégias para convivência com as condições ambientais encontradas, particularmente nos municípios de São José do Divino e Piracuruca, ambos no estado do Piauí.

Ressalta-se, ainda, a necessidade de criação de unidades de conservação em observação à legislação pertinente, principalmente no que diz respeito às áreas de preservação permanente, a exemplo dos topos de morros, áreas de nascentes e margens de rios. Tais ações poderão ajudar na mitigação dos efeitos oriundos das secas periódicas, (re)orientar a expansão do espaço urbano e auxiliar na recuperação de áreas degradadas.

Considerações finais

ANA. Agência Nacional de Águas. **Hidro Web:** Sistema de Informações Hidrológicas. Séries históricas: 1985 a 2016. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/>. Acesso em: 11 fev. 2017.

AB'SABER, A.N. **Os domínios de natureza do Brasil:** potencialidades paisagísticas. São Paulo: Ateliê Editorial. 2003. 151p.

ARTIS, D.A.; CARNAHAN, W.H. Survey of Emissivity Variability in Thennography of Urban Areas. **Remote Sensing of Environment**, v.12, n.4, p.313-329, 1982.

BITAR, O.Y. (Coord.). **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. Novo Código Florestal. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 25 maio 2012. Seção 1, p.1.

CAETANO, D.A.; LUCIO, P.S.; MENDES, A.C. Capacidade adaptativa das populações: percepção ambiental dos desastres naturais e a previsibilidade das chuvas. In: WORKSHOP INTERNACIONAL SOBRE ÁGUA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO, I, 2015, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: Realize Eventos Científicos e Editora, 2015.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. Ministério de Minas e Energia. **Mapas estaduais de geodiversidade: Ceará.** Rio de Janeiro: CPRM. 2006a. (Documento cartográfico em arquivo vetorial). Disponível em <http://geobank.sa.cprm.gov.br>. Acesso em: 14 jan. 2014.

_____. **Mapas estaduais de geodiversidade: Piauí.** Rio de Janeiro: CPRM. 2006b. (Documento cartográfico em arquivo vetorial). Disponível em: <http://geobank.sa.cprm.gov.br>. Acesso em: 14 jan. 2014.

DINIZ, A.F.; SANTOS, R.L.; SANTOS, S.M. Avaliação dos riscos de seca para o município de Feira de Santana-BA associado à influência do El niño no semi-árido do nordeste brasileiro. **+Geografia's**, Feira de Santana, n.1, p.18-24, maio/nov. 2008.

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

FARIAS, A.A. **Caracterização e análise das secas na sub-bacia hidrográfica do Rio Taperoá e avaliação dos impactos e ações de convivência com a seca de 2012-2014 no município de Taperoá - PB.** 2016. 185 f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) – Universidade Federal de Campina Grande. Paraíba, 2016.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Malha municipal digital do Brasil: situação em 2015.** Rio de Janeiro: IBGE, 2015. Disponível em: ftp://geoftp.ibge.gov.br/malhas_digitais/. Acesso em: 04 abr. 2016.

INDE. Infraestrutura Nacional de Dados Especiais. **Mapa de Solos da Folha SB.24 - Jaguaribe**. 2014. Disponível em:

<http://www.visualizador.inde.gov.br/>. Acesso em: 13 set. 2018.

LISTO, F.L.R. **Análise da suscetibilidade e do grau de risco a escorregamentos rasos na Bacia do Alto Aricanduva, RMSP (SP)**.

2011. 151 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

PENMAN, H.L. The Physical Bases of Irrigation Control. In: International Horticultural Congress, 13., 1953, London. **Report...** London: Royal Horticultural Society, 1953, p.2-11.

MARQUES, L.C.P.; CAIAVI, F.A.C.; CAMBAMBI, C.A.C.; COSTA, A.C.

Identificação e caracterização de secas para a Grande Bacia Hidrográfica no semiárido brasileiro. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 20., 2007, Florianópolis. **Anais...**

Florianópolis: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2007. p.1-8.

NASA. National Aeronautics and Space Administration. **Landsat Science**.

Disponível em: <https://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-8/landsat-8-bands/>. Acesso em: 23 jan. 2019.

SANTOS, F.A. **Resiliência ambiental a secas e a inundações na Sub-bacia Hidrográfica do rio Piracuruca (CE-PI)**. 2019. 268 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2019.

THORNTHWAITE, C.W. **Atlas of Climatic Types in the United States**. Washington: U.S. Government Printing Office, 1941.

USGS. **United States Geological Service**. Earth Explorer. SRTM 1 Arc-Second Global. 2017a. Disponível em:

<http://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 23 nov. 2017.

_____. 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, n.3, p.167-184, 1996.

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.**, v.21, n.7, p.1-7, 2012.

Declaração de contribuição individual

Todos os autores ofereceram substanciais contribuições científicas e intelectuais ao estudo. As tarefas de concepção e design do estudo, preparação e redação do manuscrito, bem como, revisão crítica foram desenvolvidas pelos três autores.

Francílio de Amorim dos Santos - Graduado em Ciências Biológicas pelo Instituto Federal do Piauí, Graduado em Geografia pela Universidade Estadual do Piauí. Mestre em Geografia pela Universidade Federal do Piauí, Doutor e Pós-Doutor em Geografia pela Universidade Estadual do Ceará. Atualmente, é docente do Instituto Federal do Piauí. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0415-6673>.

Maria Lúcia Brito da Cruz - Graduada em Geografia pela Universidade Estadual do Ceará. Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente pela Universidade Federal do Ceará. Doutora em Geografia pela Universidade Federal de Pernambuco e Pós-Doutora em Geografia pela Universidade Federal do Pará. Atualmente, é docente da Universidade Estadual do Ceará. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2202-923X>.

Lúcia Maria Silveira Mendes - Graduada em Agronomia pela Universidade Federal do Ceará. Mestre em Agronomia pela Universidade Federal do Ceará. Doutora em Agronomia pela Universidade de São Paulo. Atualmente, é pesquisadora do Laboratório de Geoprocessamento e Docente permanente do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual do Ceará. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2079-6651>.

Recebido para publicação em 22 de agosto de 2020

Aceito para publicação em 2 de outubro de 2020

Publicado em 31 de dezembro de 2020