



Indicadores-guias para avaliação da susceptibilidade à desertificação nos sistemas ambientais da sub-bacia do riacho Juriti, Canindé, Ceará

Guide indicators to assess susceptibility to desertification in the environmental systems of the Juriti creek basin, Canindé, Ceará

1 Elen Karine Forte Pessoa  <https://orcid.org/0009-0001-9126-1171>

1 Universidade Federal do Ceará  Fortaleza, Ceará, Brasil

2 Lígia Maria Silva Pereira Castro  <https://orcid.org/0009-0001-8168-5675>

2 Universidade Federal do Ceará  Fortaleza, Ceará, Brasil

3 Vlândia Pinto Vidal de Oliveira  <https://orcid.org/0000-0001-7756-9009>

3 Universidade Federal do Ceará  Fortaleza, Ceará, Brasil

1. Autor de correspondência: karinefortegeog.7@gmail.com

RESUMO

Para compreender a sensibilidade dos ambientes à desertificação é necessário entender sua estrutura, dinâmica e resposta às interferências externas. Diante disso, o sistema de Indicadores Geobiofísicos de Desertificação (IGBD) é adaptado à pesquisa para analisar a susceptibilidade dos sistemas à desertificação na sub-bacia do riacho Juriti, no município de Canindé, Ceará. O geoprocessamento foi realizado no QGIS, onde o modelo de susceptibilidade foi construído por meio da sobreposição ponderada dos atributos dos indicadores. Averiguou-se que a susceptibilidade dos sistemas varia de baixa a alta conforme as características do ambiente, embora o uso e cobertura, assim como a indicação do estado de conservação da vegetação, mediante Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI), determinem os valores do índice nos diferentes sistemas ambientais, mostrando-se como guias para esse tipo de análise. Observa-se, pois, que a vegetação conservada e determinados usos e coberturas que promovem a estabilidade podem elevar o grau de proteção, levando à diminuição da sensibilidade dos ambientes à desertificação.

Palavras-chave: Desertificação. Semiárido. Indicadores.

ABSTRACT

In order to understand the sensitivity of environments to desertification, it is necessary to understand their structure, dynamics and response to external interference. In view of this, the Geobiophysical Indicators of Desertification (GIDD) system is adapted to this research to analyze the susceptibility of systems to desertification in the Juriti Creek sub-basin, in the municipality of Canindé, Ceará. Geoprocessing was carried out in QGIS, where the susceptibility model was built by weighting the attributes of the indicators. It was found that the susceptibility of the systems varies from low to high according to the characteristics of the environment, although the use and coverage, as well as the indication of the state of conservation of the vegetation, by means of the Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI), determine the values of the index in the different environmental systems, showing themselves to be guides for this type of analysis. It can therefore be seen that conserved

vegetation and certain uses and covers that promote stability can increase the degree of protection, leading to a reduction in the sensitivity of environments to desertification.

Keywords: Desertification. Semi-arid. Indicators.

Introdução

A conservação e degradação da natureza é uma questão de entrada, armazenamento, dispersão e concentração de energia e matéria. Desta forma, a susceptibilidade dos sistemas ambientais aos processos de degradação e desertificação, dependem em parte, da dinâmica natural do ambiente, que é ditada pelos fluxos de matéria e energia que ativam a estrutura composta por subsistemas e componentes em constante inter-relação. Embora os sistemas físicos sejam fenômenos naturais, todos os fatores humanos que influenciam sua estrutura devem ser levados em consideração em estudos e análises ambientais.

Dito isto, compartilha-se da visão sistêmica e funcionalista que Tricart (2003) aplica aos estudos de ordenamento do espaço quando responsabiliza a ação antrópica por alterações na morfogênese que se faz sentir em todo o sistema. Assim como da abordagem integrativa – estudos integrados da paisagem – de Ross (1992; 1994) que propõe determinados procedimentos para analisar a fragilidade natural dos ambientes.

Ross (1992) e Tricart (2003) colocam que são duas premissas tomadas neste estudo como fundamentais para orientar a pesquisa sobre desertificação: o meio tem uma dinâmica e gênese imanente constituído de elementos que se inter-relacionam; existe um equilíbrio que é posto em estado antagônico quando há intervenções antrópicas. Aqui se coloca que os ambientes respondem diferentemente às intervenções humanas dependendo das suas estruturas e elementos componentes, assim como do tipo e intensidade das ações a eles induzidas.

Mesmo havendo uma definição guarda-chuva para o fenômeno da desertificação estabelecida pela Convenção de Combate à Desertificação das Nações Unidas (UNCCD) que a traz como a degradação das terras secas áridas, semiáridas e subúmidas secas, consequente das ações humanas e variações climáticas (BRASIL, 2004), considera-se demais abrangente, apresentando-se mais como uma delimitação conceitual. Isso abre

um leque de possibilidades de estudo desse fenômeno a partir de distintas abordagens e aplicação de diferentes procedimentos. Por se tratar de algo complexo, o que se observa é o caminho epistemológico da desertificação sendo construído.

O clima, porém, é elemento indispensável à delimitação das áreas desertificadas. Em 1977, na Conferência das Nações Unidas sobre Desertificação (UNCOD), houve uma primeira tentativa de formulação de um sistema de indicadores. Tendo por base as classes climáticas definidas pelo Índice de Aridez, a UNCOD apresentou o primeiro Mapa Mundial de Desertificação classificando as áreas susceptíveis à desertificação. O mapa foi elaborado pela FAO, PNUMA e UNESCO e foi um instrumento estratégico do plano de ação de combate à desertificação (CHERLET *et al.*, 2018).

No que diz respeito ao Índice de Aridez, a Convenção de Combate à Desertificação convencionou que os valores compreendidos entre 0,05 e 0,65 caracterizam as regiões enquadradas no escopo de sua aplicação. O grau de aridez de uma região é a razão entre a precipitação (P) e a perda máxima de água possível pela evapotranspiração (ETP), cuja fórmula foi elaborada por Thornthwaite em 1948 (AYOADE, 1996). A atuação da Convenção se dá, portanto, às áreas áridas, semiáridas e subúmidas secas do mundo, somando cerca de 1/3 de toda a superfície do planeta, ou mais de 5 bilhões de ha (51.720.000 km²), afetando direta e indiretamente mais de 100 países, excluindo desse total os desertos, que somam 9.780.000 km², ou 16% da superfície do globo (MIRZABAEV *et al.*, 2022).

Em uma pesquisa de revisão bibliográfica sobre sistemas de indicadores nos estudos de desertificação Souza *et al.* (2023) apontam que há uma presença significativa do sistema biofísico de indicadores aplicados em sistemas ambientais da paisagem. Essas análises se aproximam dos estudos de fragilidade natural dos ambientes, o que não abarca a totalidade da manifestação do fenômeno, embora esboce uma primeira aproximação.

Assumindo a ideia desta leitura holística, os métodos dialéticos e funcionalistas precisam dialogar na construção de uma metodologia mais completa e profunda, não cabe neste artigo assumi-los. Por conseguinte, adota-se o sistema de indicadores geobiofísicos fundamentado em uma perspectiva funcionalista de abordagem sistêmica

como fizeram Oliveira (2011), Costa (2014), Araújo (2016) Costa; Oliveira (2017), Barreto (2018) e Silva (2018), para analisar a susceptibilidade de geossistemas à desertificação na sub-bacia do riacho Juriti, no município de Canindé, Ceará.

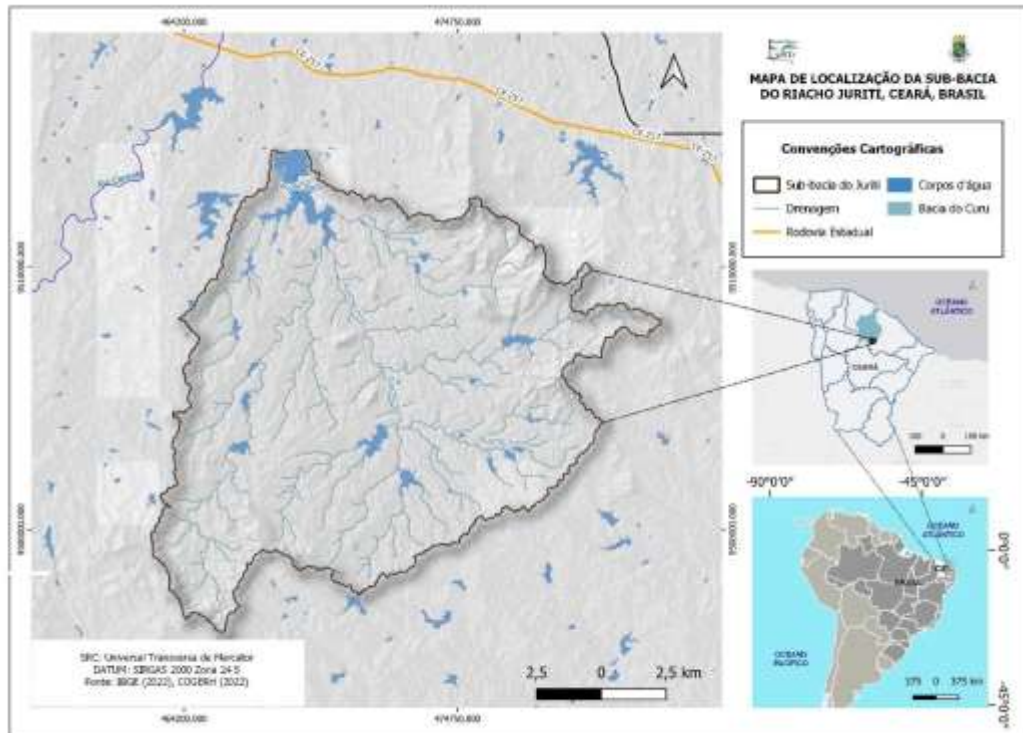
Certamente, para compreender a susceptibilidade dos ambientes à desertificação é necessário entender sua estrutura, dinâmica e resposta às interferências externas. Por isso, os procedimentos analisados por Sporn e Ross (2004) sobre a geração de graus de fragilidade ambiental serão adaptados para demonstrar a susceptibilidade do meio. Ademais, à luz da Teoria Ecodinâmica, parte-se do pressuposto que há componentes que exercem papéis cruciais no percurso da matéria e energia na morfodinâmica atual.

Partindo da realidade do semiárido cearense, e especificamente do recorte espacial definido, a cobertura vegetal, naturalmente interceptadora e amortecedora das forças energéticas e o uso e cobertura do solo são esses componentes fundamentais pelas suas capacidades de ativação ou minimização de processos morfogenéticos diante das características do modelado do relevo e dos solos. As inter-relações entre essas componentes produzem um meio estável ou instável, neste último manifestando a desertificação que é tratada neste artigo como a expressão espacial da instabilidade do meio.

Localização da área de estudo

A sub-bacia do riacho Juriti está inserida na porção meridional da bacia hidrográfica do Rio Curu. É uma das sub-bacias que se encontram no município de Canindé, localizado no estado do Ceará, na região Nordeste do país. Canindé possui uma área de aproximadamente 1.468,5 km² e está situado a uma altitude média de 200 metros acima do nível do mar com coordenadas geográficas aproximadas de 4°21'34.2"S e 39°18'24.7"Wgr. Sua população, de acordo com estimativas do IBGE para 2022, é de cerca de 74.174 habitantes. O município faz parte da microrregião de Canindé e da mesorregião do Norte Cearense. É limitado pelos municípios de Caridade, Madalena, Itatira, Paramoti, Itapiúna, Choró, Ibareta e Boa Viagem, sendo cortado pelas rodovias BR-020 e CE-257.

Figura 1 - Mapa de localização da sub-bacia do Riacho Juriti, Canindé, Ceará



Digitalização: Autoras (2024)

A região apresenta clima tropical semiárido, com temperaturas médias anuais em torno de 27°C e precipitação média anual em torno de 756 mm, concentrada principalmente nos meses de fevereiro a maio (FUNCEME, 2023). A vegetação predominante é a caatinga, caracterizada por arbustos e árvores de pequeno porte adaptados às condições de escassez de água.

A sub-bacia do riacho Juriti foi escolhida como recorte espacial da pesquisa devido a variedade de paisagens em uma pequena extensão, que corresponde a 204 km². Isso permite aplicar a metodologia escolhida e verificar se o processo de desertificação pode ser analisado a partir da aplicação dos indicadores em cada sistema ambiental. Soma-se a isso o fato de a sub-bacia está localizada no Núcleo Configurado de Áreas Suscetíveis à Desertificação Irauçuba/Centro-Norte, no Ceará (IPECE, 2009).

Metodologia

Pressupostos da teoria Ecodinâmica e da Ecologia da Paisagem orientam a perspectiva deste trabalho. Da mesma forma que a leitura de Tricart (1977) associa os estudos da paisagem ao conceito de ecossistema, entendendo o sistema como uma unidade dinâmica composta por um conjunto de fenômenos que se inter-relacionam por fluxos. É sabido que

as mudanças ocorrentes no fornecimento dos fluxos podem ultrapassar o espectro da resiliência do sistema, desestabilizando-o e promovendo readaptações até que seja alcançado outro estado de equilíbrio.

A desertificação, por exemplo, é a manifestação do desequilíbrio de um sistema por interferências no balanço energético. Por isso, optou-se por estudá-la à luz dessa teoria que contribui no entendimento da intensificação e expansão desse fenômeno em escala local e regional. Partindo da abordagem que utiliza o sistema como espaço de concepção da análise do fenômeno, cada um tem uma dinâmica que lhe é própria dada pelo conjunto de mecanismos que se processam mediante fluxos de matéria e energia. Entende-se, pois, por sistema ambiental entidades compostas por elementos físicos e biológicos que interagem entre si e se organizam em unidades espaciais delimitáveis.

Essas unidades são caracterizadas pela sua complexidade e pela dinâmica das interações entre seus componentes. Esses sistemas são recortes da superfície terrestre que possuem relevância para compreensão dos processos ecológicos e dos impactos das atividades humanas sobre o meio. Assim a sub-bacia do riacho Juriti é dividida em sistemas físicos definidos com base na sobreposição da geologia, forma de relevo e tipo de solo.

Procedimentos operacionais

A linha teórica e metodológica adotada na pesquisa procura orientar para um melhor entendimento do processo de desertificação. Para isso, os procedimentos adotados fundamentais para atingir os objetivos propostos são baseados nos trabalhos

desenvolvidos por Tricart (1977), Ross (1992, 1994), Souza (2000), Abraham; Beekman (2006), Oliveira, (2011), Barreto (2018) e Silva (2018), mas adaptados ao objeto de investigação.

Para alcançar os objetivos algumas etapas foram seguidas. A primeira engloba o levantamento bibliográfico inicial e a definição dos conceitos e dos autores e autoras a serem consultados. Desertificação e Ecodinâmica foram estabelecidos como corpo conceitual que orientou a aplicação dos Indicadores Geobiofísicos.

A coleta e organização de dados referentes aos componentes físicos e ecológicos, o levantamento de material cartográfico e trabalho de campo foram necessários para gerar informações, constituindo-se elementos da segunda etapa. Após a conclusão das primeiras etapas, as informações foram interpretadas, o que possibilitou a delimitação dos sistemas ambientais, a definição dos indicadores e a elaboração do mapa de susceptibilidade à desertificação.

As consultas a dados secundários foram realizadas em sites de órgãos públicos como Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Instituto de Planejamento e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE), Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME) e Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Para elaboração da base cartográfica (mapas de geologia, relevo, solos, vegetação e uso e ocupação do solo) usou-se a Copernicus Digital Surface Model (DSM) extraída do Sistema de Acesso a Dados de Componentes Espaciais Copernicus (CSCDA); dados do Serviço Geológico do Brasil (CPRM); e acesso à plataforma de banco de dados geoespaciais Infraestrutura de Dados Espaciais (INDE), disponibilizados arquivos na escala de 1:250.000.

Por considerar a perda de cobertura vegetal um dos principais fatores que contribuem para a desertificação, avaliar os seus aspectos constitui-se como um elemento essencial para este estudo. Dessa forma, as imagens orbitais de sensoriamento remoto foram as principais fontes utilizadas, pois a extração das informações das imagens de satélites serviu à elaboração dos mapas de SAVI e uso e cobertura do solo.

A seleção dos indicadores geobiofísicos se baseou nos trabalhos de Ross (1992, 1994), diferindo do seu modelo na escolha da variável guia, porque neste trabalho se

considera a vegetação a variável mais expressiva para determinar o grau de susceptibilidade e não o relevo ou a declividade. Baseou-se também na metodologia de Abraham; Beekman (2006) de aplicação de indicadores de desertificação na América do Sul, e a aplicabilidade e adaptação destes para o Ceará nos trabalhos de Oliveira (2011).

A avaliação da susceptibilidade à desertificação da sub-bacia do riacho Juriti foi realizada por meio da análise ponderada das variáveis geoespaciais que constituem o sistema de indicadores geobiofísicos. Todo o processamento foi realizado no QGIS. Alguns autores e autoras já mencionados utilizam a sobreposição ponderada de dados de estrutura raster para gerar um novo produto que especialize a intensidade do fenômeno em estudo.

Neste caso, optou-se por utilizar a atribuição hierárquica de valores apresentada por Martins; Rodrigues (2012) em que os atributos dos indicadores de geologia, relevo, solo, vegetação e uso e cobertura foram classificados em função de sua maior ou menor contribuição para estabilidade/instabilidade do meio frente aos processos erosivos, de modo que suas classificações seguissem uma progressão de susceptibilidade muito baixa, baixa, média, alta e muito alta, acompanhadas de números que variam de 1 a 5. Quanto mais próximo de 5 maior a contribuição do atributo na susceptibilidade do meio.

O modelo de susceptibilidade foi construído por meio da sobreposição ponderada dos atributos dos indicadores, isto é, além dos códigos numéricos foram atribuídos valores em porcentagem que representassem o grau de influência de cada indicador no processo, visto que se entende existir componentes do sistema que exercem mais influência do que outros na intensidade da morfodinâmica. Cada Indicador Geobiofísico de Susceptibilidade à Desertificação (IGBD) recebeu uma porcentagem que variou de 0,15 a 0,25. A distribuição desses pesos se deu de forma que a soma total seja 1 (100%), em destaque no Quadro 1. Os valores de ponderação atribuídos aos IGBD são determinados com base na importância relativa de cada fator no processo estudado (neste caso, a morfodinâmica). Após a atribuição inicial dos pesos, o modelo foi testado e validado a partir da comparação dos resultados com observações de campo. Como a vegetação e o uso e cobertura podem elevar o grau de proteção do meio, foram as camadas raster que receberam pesos mais elevados diante das demais.

Quadro 1 - Indicadores Geobiofísicos de Desertificação (IGBD)

	Tema	Indicadores	Parâmetro	Valor	Suscet.*	Peso
IGBD 1	Geologia	Litotipo/permoporosidade				
		Coberturas não coesas		1	Baixa	0,15
		Depósitos sedimentares aluviais e coluviais		2	Média-baixa	0,15
		Rochas sedimentares		3	Média	0,15
		Rochas metamórficas		4	Média-alta	0,15
		Rochas ígneas		5	Alta	0,15
	Tema	Indicadores	Parâmetro	Valor	Suscet.	Peso
IGBD 2	Relevo	Declividade	Intervalo			
		Plano a suave plano	0 – 3%	1	Baixa	0,15
		Suave ondulado a Ondulado	3 – 8%	2	Média-baixa	0,15
		Ondulado	8 – 20%	3	Média	0,15
		Forte ondulado	20 – 45%	4	Média-alta	0,15
		Montanhoso	>45%	5	Alta	0,15
	Tema	Indicadores	Parâmetro	Valor	Suscet.	Peso
IGBD 3	Vegetação	SAVI	Intervalo			
		Vegetação sadia e densa, arbóreo, arbustiva	>=0,7	1	Baixa	0,25
		Vegetação sadia, arbustiva	0,5 – 0,7	2	Média-baixa	0,25
		Vegetação com pigmentação foliar moderada, arbustiva	0,3 – 0,5	3	Média	0,25
		Solo exposto, vegetação não sadia, vegetação herbácea	0,1 – 0,3	4	Média-alta	0,25
		Corpos d'água/Nuvem	< =0	5	Alta	0,25
	Tema	Indicadores	Parâmetro	Valor	Suscet.	Peso
IGBD 4	Solo	Espessura				
		Muito profundo		1	Baixa	0,20
		Profundo		2	Média-baixa	0,20
		Moderadamente raso		3	Média	0,20
		Raso		4	Média-alta	0,20
		Muito raso com afloramento		5	Alta	0,20
	Tema	Indicadores	Parâmetro	Valor	Suscet.	Peso
IGBD 5	Uso e cobertura do solo	Conservação	Faixa			
		Caatinga / Mata Ciliar	Conservada	1	Baixa	0,25
		Caatinga	Moderadamente conservada	2	Média-baixa	0,25
		Caatinga	Moderadamente Degrada	3	Média	0,25
		Uso Antrópico		4	Média-alta	0,25
		Área Não Vegetada		5	Alta	0,25

Fonte: adaptado de Oliveira, 2011; Costa, 2014; Araújo, 2016; Costa; Oliveira, 2017; Barreto, 2018; Silva; 2018. Susceptibilidade*. Organização: Autoras (2024)

Como busca-se na pesquisa relacionar a intensidade dos processos morfodinâmicos com a susceptibilidade dos ambientes à desertificação, a susceptibilidade é diretamente proporcional aos valores dos indicadores, portanto, quanto maior seus valores mais susceptível estará o ambiente à desertificação. Com isso, os pesos são as porcentagens atribuídas a cada indicador conforme sua influência na desertificação. Por fim, a média ponderada dos cinco indicadores determinou o índice de susceptibilidade dado de forma qualitativa que variou de baixo a alto como apresenta a Tabela 1.

Tabela 1 - Índice de susceptibilidade à Desertificação

Índice	Susceptibilidade	Intervalo de classes
3	Alta	>0,80
2	Média	0,60 – 0,80
1	Baixa	0,30 – 0,60

Fonte: adaptado de Oliveira (2011)

Resultados e discussão

A análise de mudanças na cobertura vegetal pode ser realizada por meio de índice de vegetação como o *Soil Adjusted Vegetation Index* (SAVI). Por ser uma medida radiométrica, este indica a quantidade e atividade da vegetação verde (JENSEN; EPIPHANIO, 2011) e, assim como o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), baseia-se na assinatura espectral da vegetação sadia que absorve os comprimentos de onda na faixa do vermelho e reflete na faixa do infravermelho próximo, mostrando evidente contraste.

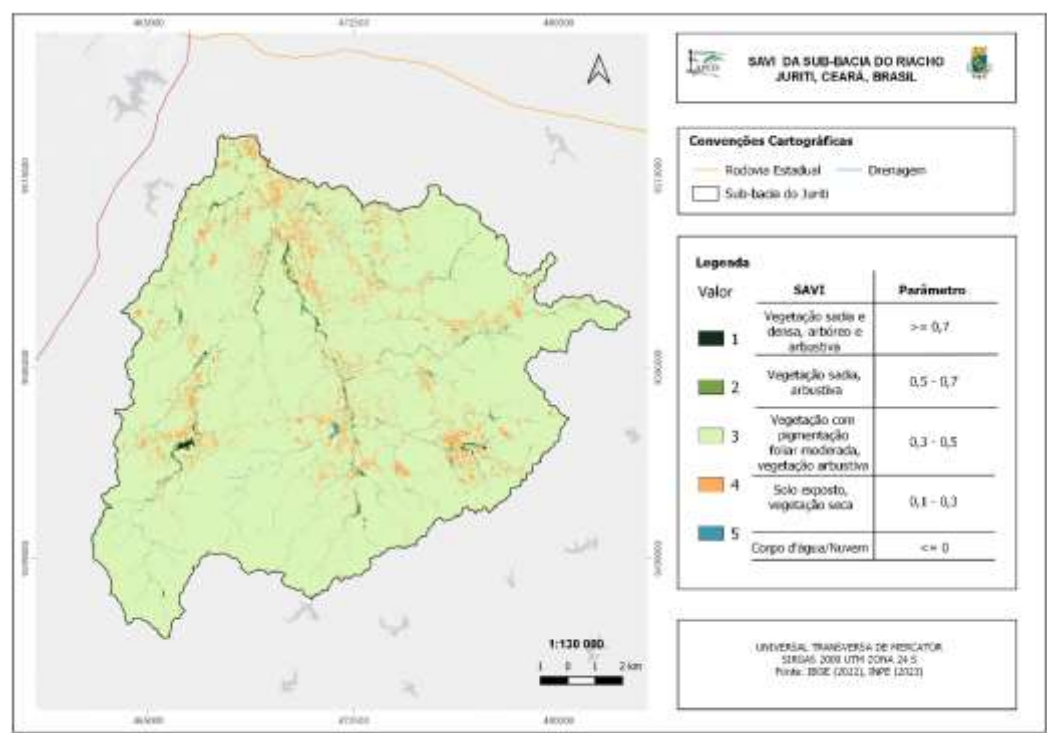
Em estudos realizados por Silva; Galvínio (2012) foi constatado que para o período seco em área de Caatinga sugere-se que se use SAVI quando comparado com NDVI, pois o efeito de reflectância do solo interfere menos nas respostas da cobertura vegetal. O processamento a partir da equação de Rouse et al. (1974) acrescida de uma constante denominada fator de ajuste. Os resultados variam de -1 a +1, sendo que em

superfícies com vegetação os valores são maiores que zero, já para água ou nuvens os valores são negativos.

Andrade et al. (2018) e Demarchi et al. (2011) classificaram os intervalos de classe dos valores de pixels referentes ao NDVI em uma área na Caatinga: açude -1,0 a -0,1; solo exposto -0,1 a 0,2; cobertura com vegetação herbácea 0,2 a 0,4; vegetação densa 0,4 a 0,5; mata nativa 0,5 a 0,6; mata nativa de elevada cobertura vegetal 0,6 a 0,9. Neste trabalho tal classificação foi adaptada para a realidade estudada e para o índice utilizado.

Observa-se na Figura 2 que as respostas espectrais dos alvos se concentraram no intervalo de classe entre 0,3 e 0,5. Equivale, pois, à média susceptibilidade – valor 3 –, visto que predomina na sub-bacia vegetação com pigmentação foliar moderada de hábito arbustivo. De fato, a imagem utilizada é de setembro de 2023, data intencionalmente escolhida porque é pós-período chuvoso, pós-colheita e anterior aos meses mais quentes e secos do ano. Nesse momento as diferentes intensidades de energia eletromagnética permitem que o sensor detecte melhor as diferenças radiométricas.

Figura 2 - Mapa SAVI da sub-bacia do Riacho Juriti, Canindé, Ceará



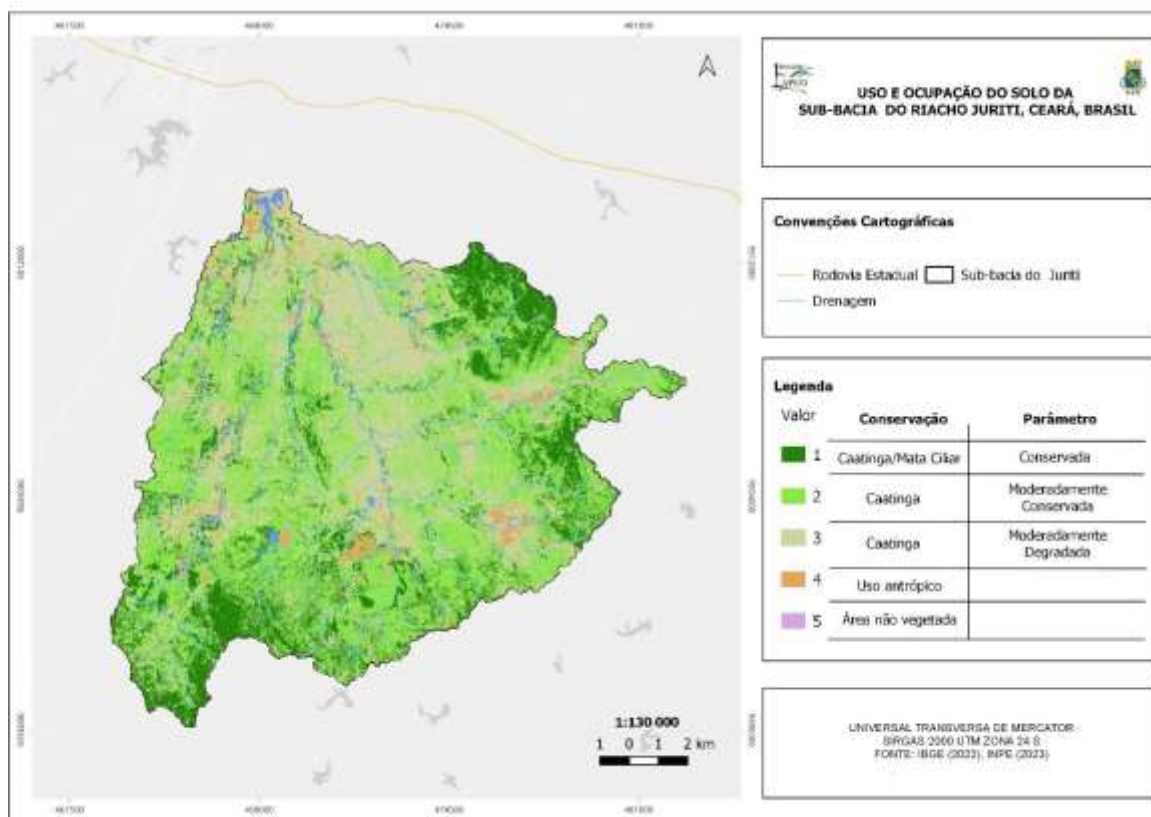
Digitalização: Autoras (2024)

Por conseguinte, as variações de cores no mapa representam distintos aspectos da vegetação da área. O intervalo entre 0,1 e 0,3 que representa solo exposto, vegetação seca se destaca e aponta áreas degradadas, abertas e de ocupação humana. O atributo equivale à alta susceptibilidade de valor 4. Os pixels dessa classe se espacializam nos diferentes sistemas ambientais, concentrando-se de forma linear ao longo das margens dos cursos d'água, das estradas e formando aglomerados nas principais vilas da sub-bacia. Os valores 1 e 2 – muito baixa e baixa susceptibilidade, respectivamente – aparecem nas cores verde escuro e verde claro, mais frequentes na planície fluvial. Certamente o ambiente mais úmido porque a mata ciliar se apresentou sadia com alta pigmentação foliar nesse período. Observa-se que as margens dos cursos d'água são ocupadas ora por uma fina faixa de mata ciliar, ora por algum tipo de uso representado por solo exposto/vegetação herbácea. No geral, o SAVI indica média a alta susceptibilidade da sub-bacia à desertificação.

Nesta pesquisa optou-se por fazer uma classificação de uso e cobertura com base nos estados de conservação da vegetação na sub-bacia, em destaque na Figura 3. Para isso, tomou-se por base os estudos de Moro et al. (2015), que classifica como Caatinga arbórea, Caatinga arbustiva aberta e Caatinga arbustiva densa, variações no porte e no estado de conservação de uma unidade fitoecológica única possuidora de flora coesa o qual optou por chamar de Caatinga do cristalino.

Na sub-bacia foram identificados os seguintes usos e coberturas: Caatinga moderadamente degradada, Caatinga moderadamente conservada, Caatinga conservada, uso antrópico, mata ciliar e área não vegetada. A Caatinga moderadamente degradada abrange 16% da sub-bacia, ocupando áreas voltadas à pecuária. O uso antrópico são áreas modificadas pelas atividades humanas. Foram aí aglutinadas as de recente pousio, áreas plantadas e áreas construídas. Essa classe ocupa 14% da sub-bacia, acompanhado as faixas de Caatinga degradada, indicando que as variações na fisionomia da unidade fitoecológica Caatinga do cristalino podem estar relacionadas a maior ou menor intensidade de interferência antrópica na área.

Figura 3 - Mapa de uso e cobertura do solo

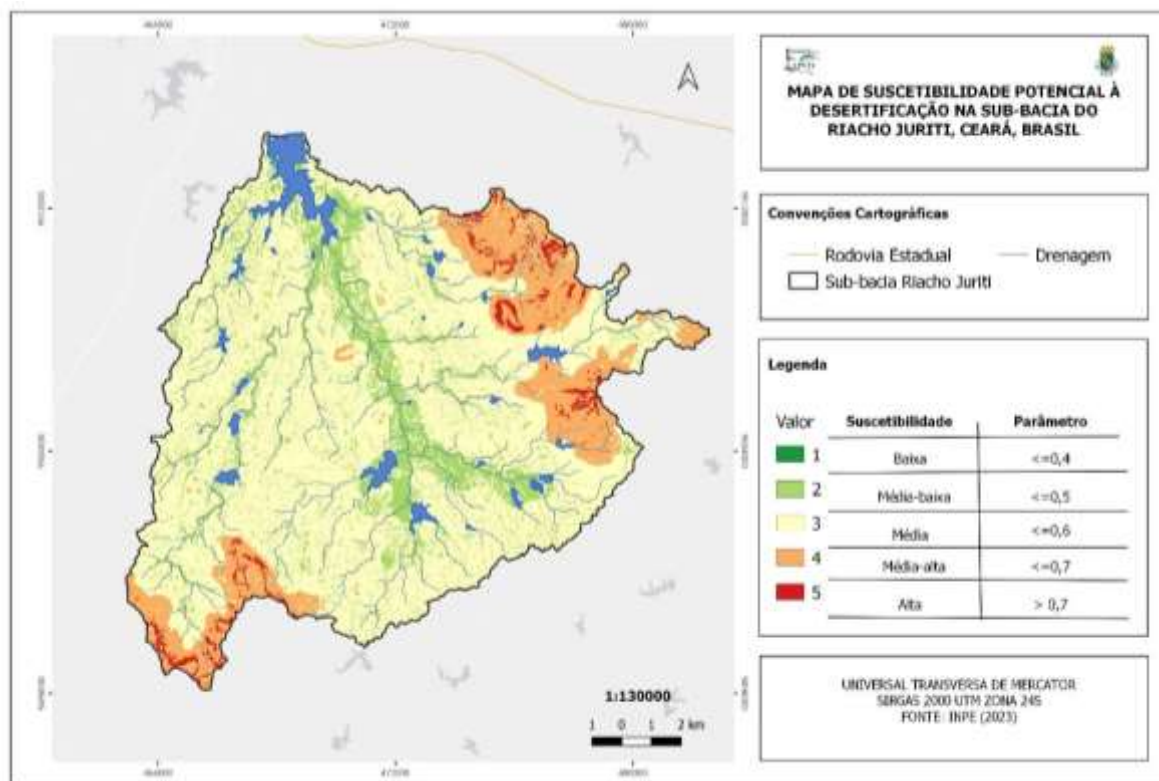


Digitalização: Autoras (2024)

A Caatinga moderadamente conservada é a de maior abrangência na sub-bacia, ocupando 38% de sua área. Esta cobertura distribui-se agrupando ambientes com cobertura vegetal de estrato arbustivo. A Caatinga conservada abrange 29%. Embora sua maior concentração esteja nas altitudes mais elevadas, a Caatinga arbórea e a Caatinga arbustiva densa estão presentes em diferentes pontos na sub-bacia. Em campo foi observado área de caatinga conservada, mesmo na Superfície Sertaneja Aplainada e Dissecada. Já a classe não vegetada se refere às áreas de afloramento rochoso e ocupam apenas 1% da sub-bacia.

A aplicação dos indicadores geobiofísicos de geologia, relevo, solo e vegetação e posterior sobreposição dos mesmos resultou no mapa de susceptibilidade potencial à desertificação, vide Figura 4, metodologia semelhante a de Ross (1992, 1994) quando propõe que seja fragilidade potencial aquela que reúne os aspectos físicos do meio. Pode-se observar alta e média-alta susceptibilidade nos sistemas ambientais que coincidem com a Unidade Independência que sustenta relevos de maior declividade.

Figura 4 - Mapa de susceptibilidade potencial à desertificação



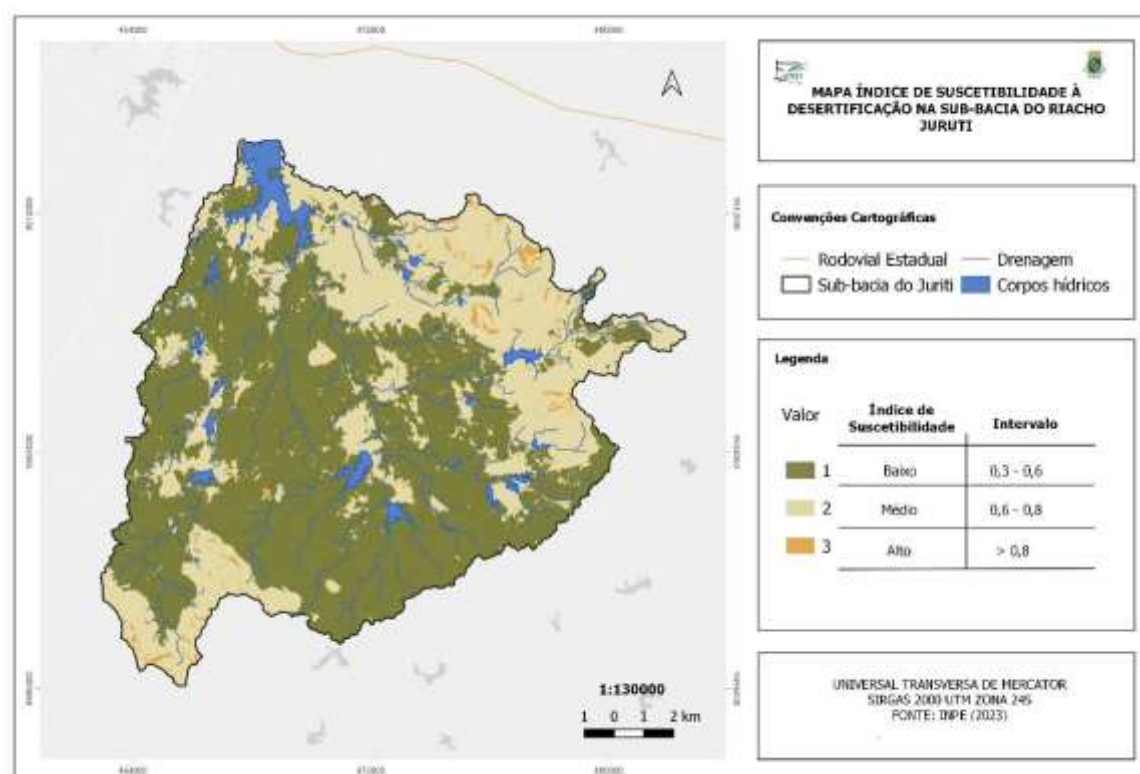
Digitalização: Autoras (2024)

Na áreas aplainadas a susceptibilidade varia de média a média-baixa. Já na planície fluvial os valores de susceptibilidade variam de 0,4 a 0,5 – baixa e média-baixa respectivamente –, porque há melhores condições hidrogeológicas nos depósitos de aluviões, além do que se estende uma superfície plana com solos de melhor permeabilidade. A susceptibilidade ficou condicionada à declividade do relevo tanto que a progressão de baixa à alta materializada pela gradação das cores vermelha ao verde escuro segue o modelado do relevo. Onde os sistemas ambientais denominados Cristas coadunam alta e média-alta susceptibilidade; os Sertões média e média-baixa; e a planície média-baixa e baixa.

Na sobreposição dos cinco indicadores geobiofísicos, incluindo uso e cobertura do solo, para elaboração do índice de susceptibilidade, apresentado na Figura 5, verifica-se que as manchas de distintos níveis de susceptibilidade ora são fragmentadas, ora são contínuas. E assim como no mapa da Figura 4, a alta susceptibilidade à desertificação está nas porções mais elevadas dos Maciço e Cristas. Na porção ocidental centro-norte do sistema Sertão do Salão onde as atividades agrícolas e pecuárias se dão de modo mais

intenso, o índice se apresentou médio devido à extensão dos usos antrópicos e predomínio de Caatinga moderadamente degradada em detrimento dos outros indicadores. Essa área por ser aplainada é propícia a tais atividades.

Figura 5 - Mapa Índice de Susceptibilidade à Desertificação



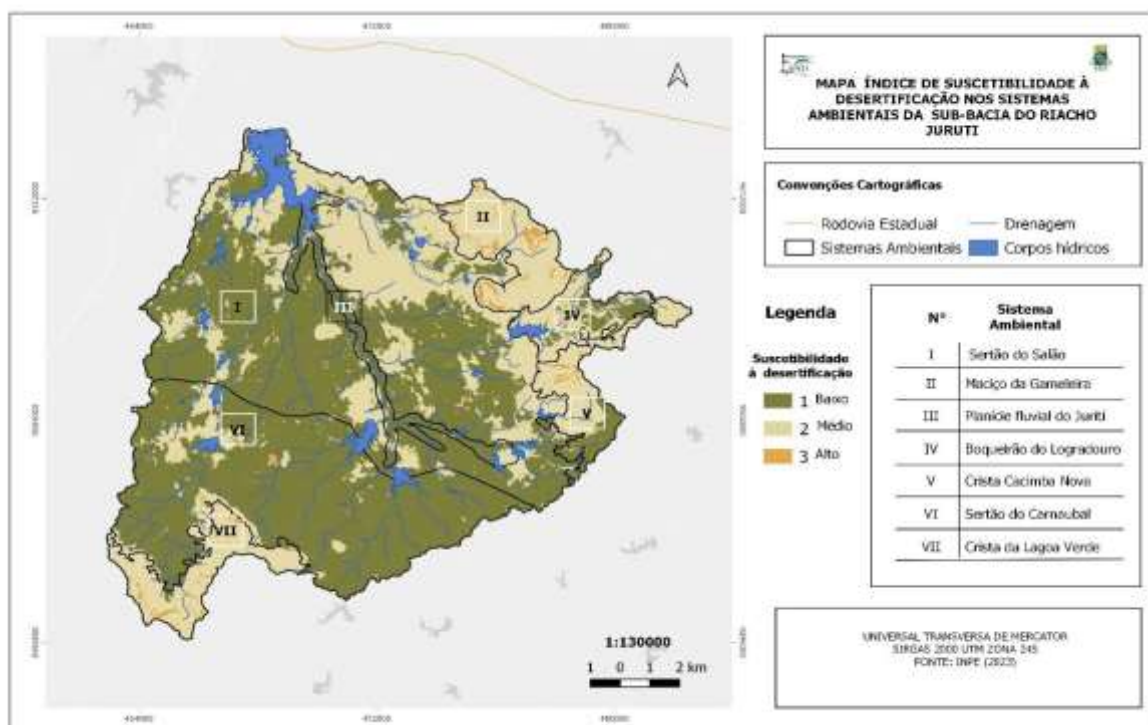
Digitalização: Autoras (2024)

Portanto, nesse sistema, ainda que nos indicadores de geologia, relevo e solo seus atributos variassem entre média e média-baixa susceptibilidade, o uso e cobertura do solo nas classes de Caatinga moderadamente degradada e uso antrópico predominam, indicando áreas de menor proteção aos processos que desencadeiam a instabilidade do meio. Nas Cristas e no Maciço a susceptibilidade também é média, diferentemente do Sertão do Salão, esses sistemas apresentaram instabilidade em razão da natureza dos indicadores de geologia, relevo e solos. Configuram-se assim como áreas de maior fragilidade. A instabilidade no Sertão é gerada senão pelas atividades humanas, enquanto a instabilidade a ser produzida caso haja supressão da vegetação nas Cristas e Maciço é de natureza litológica, pedológica e geomorfológica.

Na Figura 6, o mapa mostra-nos a espacialização dos sistemas ambientais presentes na sub-bacia e a distribuição dos níveis de susceptibilidade à desertificação em cada um deles. O sistema ambiental Planície Fluvial do Juriti apresenta baixa susceptibilidade à desertificação, pois apresenta melhores condições litológica, declividade, solo e manchas de vegetação conservada, apesar de cortadas por Caatinga degradada e uso antrópico.

Observa-se que há uma mancha de baixa susceptibilidade na porção oriental e meridional do Sertão do Selão, assim como boa parte do Sertão Dissecado de Carnaubal. Isso se explica pela característica da superfície desse sistema que é dissecada compondo um relevo suave-ondulado a ondulado menos propício à expansão da agricultura. Nesta área há uma concatenação dos indicadores com valores que orientaram à baixa susceptibilidade, incluindo os indicadores-guias: SAVI e uso e cobertura, esse sistema apresentou baixo índice de susceptibilidade à desertificação em 85% do total de sua área.

Figura 6 - Mapa índice de susceptibilidade nos sistemas ambientais



Digitalização: Autoras (2024)

Considerações finais

Para compreender a susceptibilidade dos ambientes à desertificação se defende que é necessário entender suas estruturas, dinâmicas e respostas às interferências externas. De modo a construir esse conhecimento foram selecionados indicadores geobiofísicos (IGBD) a partir do pressuposto que há componentes que exercem papéis cruciais no percurso da matéria e energia o que influi na morfodinâmica.

A desertificação é aqui tratada como a expressão espacial da instabilidade do meio, a cobertura vegetal, naturalmente interceptadora e amortecedora das forças energéticas e o uso e cobertura do solo são esses componentes fundamentais pelas suas capacidades de ativação ou minimização de processos morfogenéticos em detrimento das características do modelado do relevo, dos tipos de solo e da natureza litológica.

Dessa forma, nos sistemas ambientais dos Sertões os indicadores de uso e cobertura, assim como a indicação do estado de conservação da vegetação mediante SAVI, determinaram os valores do índice, pois os atributos físicos dos demais indicadores tendem a uma baixa susceptibilidade que foi observada no Sertão do Carnaubal, Planície Fluvial e na porção centro-sul do Sertão do Salão. No entanto, esse baixo índice não foi absoluto, visto que há manchas que indicam média susceptibilidade nos Sertões.

Logo, onde as atividades antrópicas são produzidas e há degradação da vegetação, o meio está tendente à instabilidade com índice que aponta média susceptibilidade à desertificação, mesmo que seja sobre ambientes de elevada potencialidade lito-morfo-pedológica.

Já nos sistemas onde os IGBD 1, 2 e 3 são altos, os demais indicadores atenuaram a susceptibilidade. Tanto que o índice de alta susceptibilidade fica restrito aos picos elevados dos Maciço e Cristas. A maior parte da área desses sistemas é de média susceptibilidade, tendendo a instabilidade, caso haja remoção da vegetação.

Verifica-se que o porquê desses dois indicadores serem guias são os seus papéis na atenuação da morfodinâmica atual. Se trabalhar com indicadores de mesmo peso assumisse que todos interferem da mesma forma, ou seja, são equivalentes. Dar pesos para mostrar como se pode selecionar indicadores e quais devem ser selecionados, evita-

se a falsa equivalência entre os componentes de um sistema no jogo morfodinâmico do meio. A presença ou ausência de vegetação indica de imediato o grau de proteção do meio, uma vez que o protege de processos erosivos. Certamente, os demais componentes indicam uma susceptibilidade em potencial, mas o uso e estado da vegetação indicam a susceptibilidade presente.

Observa-se, pois, que a vegetação conservada e determinados usos e coberturas que promovem a estabilidade podem elevar o grau de proteção desses sistemas, levando à diminuição do índice de susceptibilidade à desertificação. Assim, esses componentes exercem papéis cruciais no percurso da matéria e energia no sistema alterando a morfodinâmica atual.

Referência

ABRAHAM, Elena María; BEEKMAN, Gertjan B. **Indicadores de la desertificación para América del Sul**. Mendoza, Argentina: LaDyOT - IADIZA - CONICEF, 2006.

ANDRANDE, C. B.; OLIVEIRA, L. M. M.; OMENA, J. A. M.; GUSMÃO, A. C. V. L.; RODRIGUES, D. F. B. Avaliação de índices de vegetação e características fisiográficas no Sertão de Pernambuco. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 4, n. 1, p. 97-107, 2018.

ARAÚJO, D. T. **Indicadores de degradação ambiental/desertificação no município de Parambu/CE**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente - PRODEMA, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996.

BERRETO, L. L. **Indicadores geobiofísicos de susceptibilidade à desertificação nas serras de Uruburetama, da Meruoca e nos Sertões do Centro Norte – Ceará – Brasil**. Tese (Doutorado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca**. PAN-BRASIL. Edições MMA. Brasília, 2004.

CHERLET, M., HUTCHINSON, C., REYNOLDS, J., HILL, J., SOMMER, S., VON MALTITZ, G. **World Atlas of Desertification**. Luxembourg: Publication Office of the European Union, Luxembourg, 2018.

COSTA, L. R. F.; OLIVEIRA, V. P. V. Sistemas ambientais e indicadores de desertificação: dinâmica das paisagens semiáridas na sub-bacia hidrográfica do riacho Santa Rosa. **Ateliê Geográfico**, Goiânia, v. 11, n. 2. P. 238-258, 2017.

COSTA, L. R. F. **Estruturação geoambiental e susceptibilidade à desertificação na Sub-bacia Hidrográfica do riacho Santa Rosa – Ceará**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

DEMARCHI, J.C.; PIROLI, E.L.; ZIMBACK, C.R.L. Análise temporal do uso do solo e comparação entre os índices de vegetação NDVI e SAVI no município de Santa Cruz do Rio Pardo–SP usando imagens LANDSAT5. **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 21, 2011.

FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS - FUNCEME. **Portal Hidrológico do Ceará**. Fortaleza: 2023. Disponível em: <http://www.funceme.br/hidro-cezend/app/pagina/show/159>. Acesso em: 10 dez. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Nota Técnica N°41**. Índice de vulnerabilidade à desertificação e sua correlação com o desenvolvimento dos municípios cearenses. Fortaleza: IPECE, 2009.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ. Mapa das Unidades Fitoecológicas do Ceará. Fortaleza: IPECE, 2021. Disponível em: <http://www2.ipece.ce.gov.br/atlas/capitulo1/12/125x.htm>. Acesso em: 17 abri. 2023.

JENSEN, J.R.; EPIPHANIO, J.C.N. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. Parêntese, 2011.

MARTINS, T. I. S.; RODRIGUES, S. C. Análise e mapeamento dos graus de fragilidade ambiental da bacia do médio-baixo curso do rio Araguari, Minas Gerais. **Caderno de Geografia**, v. 22, n. 38, 2012.

MIRZABAEV, A.; STRINGER, L. C.; BENJAMINSEN, T. A.; GONZALEZ, P.; HARRIS, R.; JAFARI, M.; STEVENS, N.; TIRADO, C. M.; ZAKIELDEEN, S. CrossChapter Paper 3: Deserts, Semiarid Areas and Desertification. In: PÖRTNER, H.O.; ROBERTS, D. C.; TIGNOR, M.; POLOCZANSKA, E. S.; MINTENBECK, K.; ALEGRÍA, A.; CRAIG, M.; LANGSDORF, S.; LÖSCHKE, S.; MÖLLER, V.; OKEM, A.; RAMA, B. (org.) *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. UK: Cambridge University Press, 2022. p. 2195–2231.

MORO, M. F.; MACEDO, M. B.; MOURA-FÉ, M. M.; CASTRO, A. S. F.; COSTA, R. C. Vegetação, unidades fitoecológicas e diversidade paisagística do estado do Ceará. **Rodriguésia**, p. 717-743, 2015.

OLIVEIRA, V. P. V. Indicadores Biofísicos de Desertificação, Cabo Verde/África. **Mercator – Revista de Geografia da UFC**, v. 10, n. 22, p. 147 – 168, mai./ago. 2011.

ROSS, J. L. S. O registro cartográfico dos fatos geomorfológicos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia**, n.6, São Paulo: Edusp, p. 17-30. 1992.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, n.8, São Paulo: Edusp, p. 63-74. 1994.

ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: **Earth RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE-1 SYMPOSIUM**, 3., 1973, Washington. Proceedings. Washington: NASA, 1974. v.1, p.309-317.

SILVA, E. G. B. **Degradação das terras secas nos sertões de Santa Quitéria e Independência – Ceará**: contribuições ao monitoramento ambiental. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

SILVA, L. G.; GALVÍNCIO, J. D. Análise comparativa da variação nos índices NDVI e SAVI no sítio PELD – 22, em Petrolina – PE, na primeira década do século XXI. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Pernambuco, p. 1446-1456, 2012.

SOUZA, A. C. N.; SOUZA, S. D. G.; SOUSA, M. L. M. Sistema de indicadores de desertificação no semiárido brasileiro: uma revisão sistemática integrativa da literatura. **Geografares** [Online], 36 | 2023.

SOUZA, M. N. Bases naturais e esboço do zoneamento geoambiental do estado do Ceará. In: LIMA, L. C.; ORAIS, J. O.; SOUZA, M. J. N. **Compartimentação territorial e gestão regional do Ceará**. Parte I. Fortaleza: FUNECE, 2000.

SPORL, C.; ROSS, J. L. S. Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos. **GEOUSP, Espaço e Tempo**, São Paulo, n. 15, p. 39-49, 2004.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE, 1977. 97 p.

TRICART, J. A geomorfologia, a edafologia e o ordenamento do espaço rural. **GEOgrafia**, v. 5, n. 9, 2003.

Recebido: 07/10/2024 Publicado: 22/04/2025
Editor Geral: Dr. Eliseu Pereira de Brito