



AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE NATURAL E AMBIENTAL NO MUNICÍPIO DE QUIXADÁ-CE

Assessment of natural and environmental vulnerability in the municipality of Quixadá- Ce

Evaluación de vulnerabilidad natural y ambiental en el municipio de Quixadá- Ce

 <https://doi.org/10.35701/rcgs.v24.873>

Caroline Domingos de Amorim¹

Caroline Vitor Loureiro²

Carlos Henrique Sopchaki³

Histórico do Artigo:

Recebido em 22 de novembro de 2022

Aceito em 29 de junho de 2023

Publicado em 12 de julho de 2023

RESUMO

A análise da vulnerabilidade natural e ambiental busca mostrar a susceptibilidade do ambiente, considerando fatores naturais como: solo, vegetação, geologia e geomorfologia, e a relação destes com a interferência antrópica. Deste modo, o estudo objetiva avaliar a vulnerabilidade natural e ambiental no município de Quixadá, estabelecendo graus de estabilidades em relação a morfogênese e a pedogênese, realizando também uma análise comparativa entre vulnerabilidade e sustentabilidade ambiental por meio de uma compartimentação geomorfológica. Os procedimentos metodológicos, decorrem de levantamento bibliográfico, trabalho de campo, identificação de unidades geoambientais, produção e álgebras de mapas temáticos. Na elaboração dos mapas, utilizou-se o Sistema de Informação Geográfica, SIG ArcGis 10.5. As unidades geoambientais identificadas, receberam valores que variam de 1,0 a 3,0; podendo ter intervalos de 0,5. Os resultados demonstraram que nos ambientes de Depressão Sertaneja ocorre uma baixa vulnerabilidade natural, porém este ambiente vem sofrendo fortes mudanças por meio das ações humanas. No caso do maciço residual, das planícies fluviais e dos inselbergs, são áreas que já apresentam alta vulnerabilidade natural devido a atuação do intemperismo, e as ações antrópicas contribuem para o agravamento desse quadro. Nesses ambientes que apresentam altas vulnerabilidades são observados baixa sustentabilidade ambiental.

Palavras-Chave: Sistemas ambientais. Susceptibilidade. Degradação ambiental. Sustentabilidade ambiental.

¹ Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Ceará (UFC). Email: caroline.amorim@alu.ufc.br.

 <https://orcid.org/0000-0002-3245-1290>

² Doutora em Geografia, Professora no Curso de Geografia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE). Email: caroline.loureiro@ifce.edu.br

 <https://orcid.org/0000-0002-1870-6744>

³ Doutor em Geografia, Professor no Departamento de Geografia da Universidade Federal do Ceará (UFC). Email: carlos.geografia@ufc.br

 <https://orcid.org/0000-0001-8127-4529>

ABSTRACT

The analysis of natural and environmental vulnerability seeks to show the susceptibility of the environment, considering natural factors such as: soil, vegetation, geology and geomorphology, and their relationship with anthropic interference. Thus, the study aims to evaluate the natural and environmental vulnerability in the municipality of Quixadá, establishing degrees of stability in relation to morphogenesis and pedogenesis, also performing a comparative analysis between vulnerability and environmental sustainability through a geomorphological compartmentalization. The methodological procedures stem from a bibliographic survey, field work, identification of geoenvironmental units, production and cross-referencing of thematic maps. In the elaboration of the maps, the Geographic Information System, GIS ArcGis 10.5, was used. The identified geoenvironmental units received values ranging from 1.0- to 3.0, with intervals of 0.5. The results showed that in the environments of sertaneja depression there is a low natural vulnerability, but it has been undergoing strong changes through human actions. In the case of the residual massif, river plains and inselbergs, these are areas that already have high natural vulnerability due to weathering, and human actions contribute to the worsening of this situation. In these environments that present high vulnerabilities, low environmental sustainability is observed.

Keywords: Environmental systems. Susceptibility. Ambiental degradation. Environmental sustainability.

RESUMEN

El análisis de vulnerabilidad natural y ambiental busca mostrar la susceptibilidad del ambiente, considerando factores naturales como: suelo, vegetación, geología y geomorfología, y su relación con la interferencia antrópica. Así, el estudio tiene como objetivo evaluar la vulnerabilidad natural y ambiental en el municipio de Quixadá, estableciendo grados de estabilidad en relación a la morfogénesis y pedogénesis, realizando además un análisis comparativo entre vulnerabilidad y sustentabilidad ambiental a través de una compartimentación geomorfológica. Los procedimientos metodológicos parten de investigación bibliográfica, trabajo de campo, identificación de unidades geoambientales, elaboración y cruce de mapas temáticos. En la elaboración de los mapas se utilizó el Sistema de Información Geográfica, GIS ArcGis 10.5. Las unidades geoambientales identificadas recibieron valores que oscilan entre 1,0 y 3,0, con intervalos de 0,5. Los resultados mostraron que en los ambientes de la depresión sertaneja existe una baja vulnerabilidad natural, pero ha venido sufriendo fuertes cambios por la acción humana. En el caso del macizo residual, planicies fluviales e inselbergs, se trata de zonas que ya presentan una alta vulnerabilidad natural por meteorización, y las acciones humanas contribuyen a agravar esta situación. En estos ambientes que presentan altas vulnerabilidades se observa una baja sustentabilidad ambiental.

Palabras Clave: Sistemas ambientales. Susceptibilidad. Degradación ambiental. Sustentabilidad ambiental.

INTRODUÇÃO

É notável que as mudanças promovidas pelas atividades humanas nos ambientes naturais trouxeram problemas ambientais em escala global (SANTOS, 2015). Essa influência humana na natureza tem contribuído dentre outras coisas para o agravamento das condições de vulnerabilidade, ocasionando tanto danos ao bem-estar social como ambiental.

Deste modo, surge a necessidade de estudos que possam colaborar na identificação desses problemas ambientais, buscando solucionar as alterações negativas, como é o caso de pesquisas relacionadas à vulnerabilidade natural e ambiental.

A vulnerabilidade natural considera os fatores naturais como geomorfologia, geologia, pedologia, vegetação, entre outros (KLAIS et al, 2012). Já na análise da vulnerabilidade ambiental inclui-se o fator antrópico (GRÍGIO, 2003).

O estudo da vulnerabilidade permite a identificação das áreas a apresentar possíveis impactos ambientais, sendo ferramenta importante ao planejamento ambiental e ordenamento territorial (ZANELLA; DANTAS, OLIMPIO, 2011).

Assim, para que exista um planejamento satisfatório, é necessário realizar uma análise territorial, destacando estudos prévios temáticos de geologia, geomorfologia, pedologia, dentre outros (CRUZ et al., 2016).

Nessa perspectiva, escolheu-se o município de Quixadá pois é ainda um ambiente que carece de estudos abrangentes relacionados a essa temática, de análises integradas, que possam destacar as potencialidades e limitações das unidades ambientais, visando contribuir com informações que possam auxiliar na avaliação, tomada de decisões e efetivação do planejamento físico-territorial.

Partindo desse contexto, o objetivo geral desta pesquisa é avaliar a vulnerabilidade natural e ambiental do município de Quixadá, realizando também uma análise comparativa entre vulnerabilidade e sustentabilidade ambiental por meio de uma compartimentação geomorfológica.

REFERENCIAL TEÓRICO

Nas últimas décadas, o conceito de vulnerabilidade tem sido bastante discutido em diversas áreas do conhecimento, incorporando adjetivos a lhe qualificar, uma vez que a vulnerabilidade pode ser natural, ambiental, social e socioambiental (ZANELLA; DANTAS, OLIMPIO, 2011).

Neste trabalho cabe discutir sobre a vulnerabilidade natural e ambiental, as quais correspondem a uma abordagem relacionada aos princípios da Ecodinâmica, desenvolvido por meio dos critérios baseados em Tricart (1977), que estabeleceu as categorias morfodinâmicas para meios estáveis, meios intergrades e meios fortemente instáveis, envolvendo análises dos sistemas ambientais de forma integrada.

Cada um dos sistemas ambientais apresenta uma unidade de organização do ambiente natural, no qual existe um relacionamento harmônico entre seus componentes dotados de potencialidades e limitações próprias sobre o ponto de vista dos recursos ambientais (SOUZA et al., 2009). Para Tricart (1977), o sistema envolve um conjunto de fenômenos que se processam mediante fluxos de matéria e energia.

Conforme destaca Souza (2000, p.7) “O conhecimento e a análise dos sistemas naturais compõem a base da planificação do desenvolvimento que visa a criar melhores condições e bem-estar para os homens”. Dessa forma, o estudo da vulnerabilidade permite tais análises, e possibilita destacar os diferentes níveis de vulnerabilidade dos ambientes.

Neste sentido, a vulnerabilidade natural de uma determinada área demonstra a intensidade da susceptibilidade do ambiente, considerando, para os fatores geomorfologia, geologia e solos, a estabilidade em relação à morfogênese e a pedogênese e; para o fator vegetação, a estrutura das redes e teias alimentares, o estágio de fitossucessão e a biodiversidade. Já a vulnerabilidade ambiental está relacionada à susceptibilidade dos ambientes a pressões antrópicas (GRIGIO, 2003).

Dessa forma, a definição da vulnerabilidade ambiental parte, primeiramente, dos aspectos naturais como geologia, geomorfologia, solo e vegetação, que somados definem a estabilidade do meio. Assim, quando o uso e a ocupação não são condizentes com a aptidão do ambiente, ocorre um desrespeito às limitações naturais (LOUREIRO, MEIRELES, 2013, p. 3).

Para Tagliani (2002), a vulnerabilidade ambiental corresponde a maior ou menor susceptibilidade de um determinado ambiente a um impacto provocado pela ação antrópica. Segundo Santos e Souza (2014), a vulnerabilidade ambiental, é compreendida como o grau de exposição a diferentes fatores, podendo provocar efeitos adversos como impactos e riscos.

A vulnerabilidade ambiental também pode demonstrar a susceptibilidade dos sistemas à degradação ambiental, levando em consideração a exposição dos mesmos a pressões ambientais e a sensibilidade em relação às pressões exercidas e a capacidade de resposta do meio (ADGER, 2006).

Nessa perspectiva, a avaliação da vulnerabilidade do ambiente, abre caminhos para análises da sustentabilidade dos ambientes. Para Souza (2000), é possível estabelecer graus de estabilidade e sustentabilidade ambiental dos sistemas ambientais. Nesse sentido,

A compatibilização das políticas de desenvolvimento econômico e as defesas e controle do ambiente constituem o caminho adequado para a promoção do desenvolvimento integrado e sustentado a longo prazo. Nessa perspectiva, a utilização racional do meio natural maximiza os impactos positivos oriundos de um meio organizado e minimiza a ação dos impactos negativos sobre os geossistemas (SOUZA, 2000, P.7).

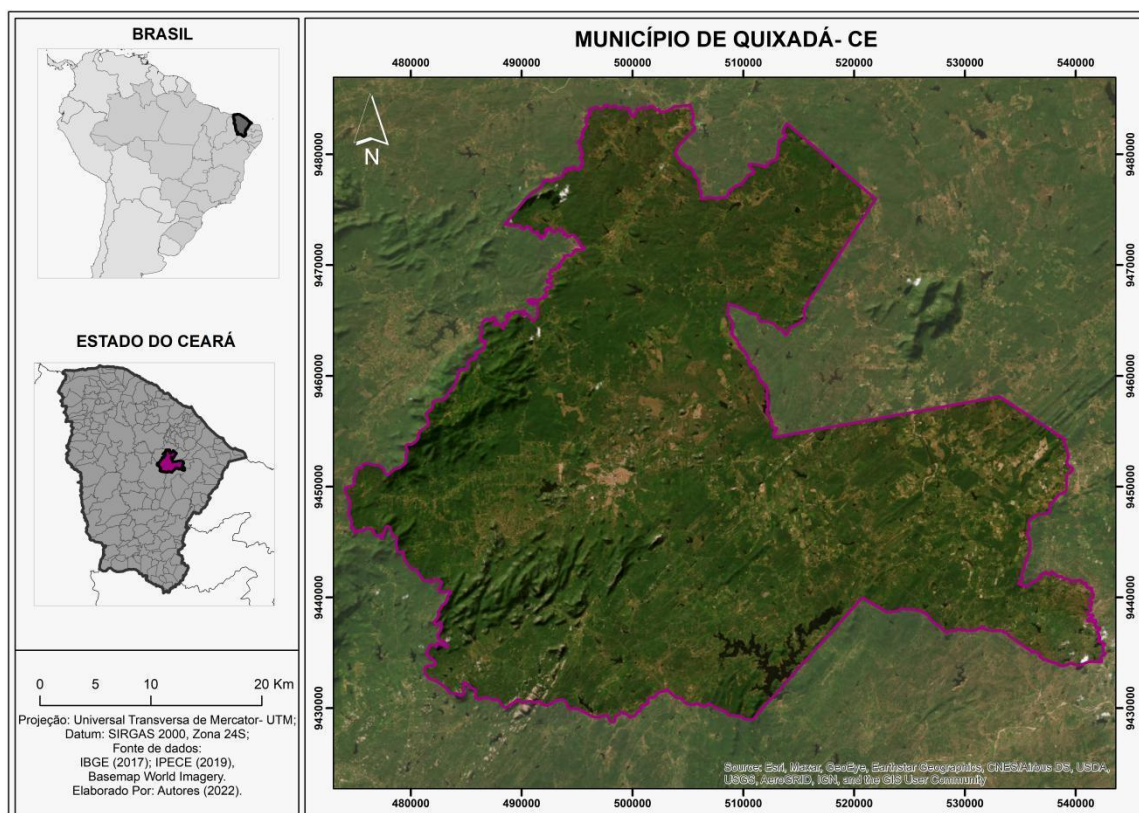
O desenvolvimento sustentável representa um processo de mudança social, de modo a compatibilizar, no tempo e no espaço, o crescimento econômico, a equidade social e a conservação ambiental (SOUZA, 2000).

METODOLOGIA

Área de estudo

O município de Quixadá (Figura 1) apresenta cerca de 2.020 km² de área e está inserido na Mesorregião dos Sertões Cearenses e na Microrregião dos Sertões de Quixeramobim. Está a aproximadamente 164 km da capital Fortaleza, limitando-se com os municípios de Ibaretama, Itapiúna, Choró, Quixeramobim, Banabuiú, Morada Nova e Ibicuitinga (CEARÁ, 2022).

Figura 1: Localização da área de estudo.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Apresentando características típicas do clima tropical quente semiárido, o município registra temperatura média variando entre 26° a 28° °C, e precipitação pluviométrica com cerca de 800mm anuais, ocorrendo chuvas concentradas no período de fevereiro a abril (CEARÁ, 2022).

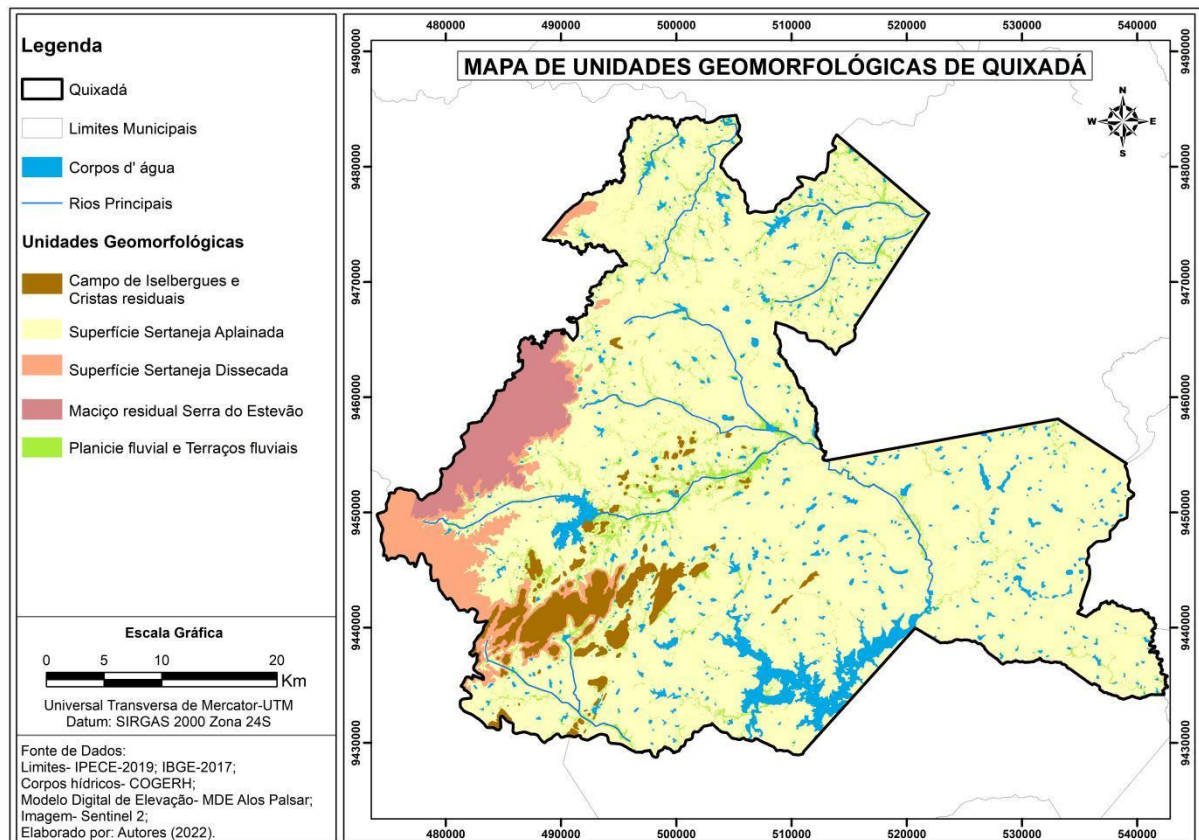
No que se refere a cobertura vegetal, a área compreende ambientes de savana estépica florestada, savana estépica arborizada e savana estépica arbustiva (BRASIL, 2022). Observa-se também a vegetação rupícola sobre os afloramentos rochosos e vegetação com influência fluvial, chamada de mata ciliar (MORO et al., 2015).

No caso das unidades pedológicas, podem ser encontrados os seguintes tipos de solos: planossolo Nátrico, Planossolo Háplico, Neossolo Litólico, Luvisolo Crômico, Argissolo Vermelho, Vertissolo Háplico (BRASIL, 2022). Esses solos são, em geral, pouco profundos, pouco desenvolvidos, pedregosos, e sujeitos à rochividade, são férteis e possuem deficiência hídrica (FREITAS et al., 2019).

Em relação aos aspectos geológicos, o município compreende rochas do embasamento cristalino, constituída por gnaisses, migmatos e granitos, que se associam a restos de supracrustais, sob estreitas faixas preenchidas por xistos, quartzitos, metacalcários, anfibolitos, e ocorrência de coberturas recentes constituídas por sedimentos detríticos conglomeráticos, arenosos a argilosos, de espessuras reduzidas e aluviões (FEITOSA; VASCONCELOS; COLARES, 1998).

Do ponto de vista geomorfológico, estão presentes as seguintes unidades: depressão sertaneja, depressão sertaneja dissecada em colinas rasas, campo de inselbergues e cristas residuais, maciço residual serra do Estevão, planície fluvial e terraços fluviais (LIMA; CRISPIM; SOUZA, 2014) como pode ser observado na Figura 2.

Figura 2: Unidades geomorfológicas de Quixadá.



Fonte: elaborado pelos autores (2022).

Cabe destacar que, informações mais detalhadas sobre a caracterização do município de Quixadá podem ser encontradas em Amorim, Loureiro e Sopchaki (2021).

Análise da vulnerabilidade natural e ambiental

Para avaliar a dinâmica ambiental, ou seja, os graus de vulnerabilidade de cada unidade ambiental, são usados os critérios de Tricart (1977). Esses critérios correspondem a categorias de meio ecodinâmico, os quais são divididos em três: estáveis, de transição ou *intergrades*, e instáveis (Tabela 1).

Tabela 1: Estabilidade das unidades.

Meios	Processos predominantes	Valor
Estáveis	Pedogênese	1,0
Intergrades	Equilíbrio (pedogênese e morfogênese)	2,0
Fortemente Instáveis	Morfogênese	3,0

Fonte: elaborado pela autores, adaptado de Tricart (1977).

No meio medianamente estável a relação atmosfera-litosfera evolui vagarosamente, existindo uma maior estabilidade, sendo onde atuam os processos pedogenéticos de forma lenta. O ambiente de transição é marcado pela passagem dos meios medianamente estáveis e os meios instáveis, atuando nesse espaço o processo de morfogênese e pedogênese de modo concorrente. Nos meios instáveis, a morfogênese é o elemento predominante, sendo notada uma forte instabilidade.

As unidades geoambientais identificadas receberam valores que variam de 1,0 a 3,0 podendo ter intervalos de 0,5. Nessa análise o modelo de identificação da vulnerabilidade, segue os estudos de Crepani et al. (1996; 2001), adaptado.

Tabela 2: Grau de vulnerabilidade das classes identificadas.

CLASSES	GRAU DE VULNERABILIDADE
Unidades Geológicas	
Complexo Acopiara	2,0
Complexo Algodões	1,5
Complexo Canindé do Ceará	1,5
Complexo Jaguaratama	1,0
Corpo Granitóides de Quimismo	1,5
Corpo Plúton Quixeramobim Quixadá	1,0
Depósitos Aluvionares	3,0

Depósitos Colúvio-eluviais	3,0
Unidade Quixeramobim	1,5
Grupo Orós	1,5
Litofácies Quixeramobim mármore	2,0
Suíte intrusiva Várzea-Alegre	1,0
Unidade Choró	1,0
Unidade Mombaça	1,5
Unidade Pedra Branca	1,5
Unidades de Vegetação	
Sem vegetação	3,0
Savana Estépica Arbustiva	2,5
Savana Estépica Arborizada	2,0
Savana Estépica Florestada	1,0
Vegetação com influência fluvial	1,5
Classes de Solos	
Neossolos Litólicos	3,0
Argissolos Vermelho	1,5
Planossolos Nátrico	2,0
Luvissolos Crômico	2,0
Vertissolo Háplico	2,5
Unidades Geomorfológicas	
Depressão sertaneja aplainada	1,0
Depressão sertaneja dissecada	2,0
Maciço residual	3,0
Inselbergs	3,0
Planície fluvial	3,0
Uso e Ocupação	
Agropecuária	3,0
Influência urbana	3,0
Afloramentos rochosos	3,0
Solo exposto ou pousio	2,5
Agroextrativismo	3,0
Savana estépica florestada	1,0
Savana estépica arborizada	1,0
Savana estépica arbustiva	2,0
Corpos d'água	1,0

Fonte: elaborado pelos autores (2022).

Na produção do mapa de vulnerabilidade natural foram considerados os seguintes temas: solo, vegetação, geologia e geomorfologia. Já a produção do mapa de vulnerabilidade ambiental dependeu da vulnerabilidade natural para ser cruzado com o uso e ocupação da terra. Utilizou-se bases cartográficas no formato *Shapefile* e auxílio de arquivos *raster* para a elaboração dos mapas temáticos.

O trabalho de campo correspondeu a uma etapa importante para o reconhecimento *in loco* e contestação com as imagens de satélites, bem como a identificação dos sistemas ambientais e uso e ocupação.

Os mapas de unidades geoambientais foram produzidos por meio do SIG Arcgis 10.5. Os mapas temáticos de solo e vegetação foram elaborados por meio de bases cartográficas no formato *Shapefile* adquiridas pelo Banco de dados de Informações Ambientais (BDiA) compatíveis à escala 1:250.000, e o mapa temático de Geologia possui base cartográfica *Shapefile* do Serviço Geológico do Brasil - CPRM, extraído da carta geológica da folha SB- 24- Jaguaribe. Para o mapa de Geomorfologia foram utilizados o arquivos *raster* do *Alos Palsar*, com Modelo Digital de Elevação de 12,5 de resolução espacial datadas de fevereiro e março de 2011, adquirido por meio do *ASF Data Search*, onde foram feitos mosaicos, geração de curvas de nível e construção do mapa de geomorfologia com vetorização em escala de 1:40.000. Também utilizou-se o arquivo *raster* do Sentinel 2 de 10m de resolução espacial, datada de setembro e outubro de 2019, disponibilizadas pelo *United States Geological Survey* (USGS) para verificação dos dados e para auxiliar no mapa de uso e ocupação do solo. Para isso utilizou-se a composição RGB 432, cor natural. Os arquivos referentes aos corpos hídricos foram adquiridos a partir do *site* eletrônico da Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH). Os demais arquivos, como limites municipais e estaduais, são disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e pelo Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE).

No procedimento, os mapas foram transformados em *raster* por meio da ferramenta *Conversion tools> to raster> feature to raster*, reclassificados para atribuição das notas de 1-3 por meio da ferramenta *Spatial Analyst Tools>Reclass> Reclassify* e cruzados por meio da ferramenta *Spatial Analyst Tools>Map algebra> Raster calculator*.

Os pesos definidos nos cruzamentos variaram de 0-1 para cada variável de modo a diferenciar o grau de importância e correlação com o fenômeno em questão. No cruzamento para o mapa de vulnerabilidade natural, o mapa de geomorfologia teve peso maior, e no cruzamento para o mapa de vulnerabilidade ambiental, o mapa de uso e ocupação teve maior peso.

Sendo então, o mapa de vulnerabilidade natural = $[(0,2 * \text{map.vegetação}) + (0,2 * \text{map.solos}) + (0,2 * \text{map.geologia}) + (0,4 * \text{map.geomorfologia})]$ e o mapa de vulnerabilidade ambiental = $[(0,1 * \text{map.vegetação}) + (0,1 * \text{map.solos}) + (0,1 * \text{map.geologia}) + (0,2 * \text{map.geomorfologia}) + (0,5 * \text{map.uso e ocupação})]$. Após a álgebra de mapas, o resultado é discretizado em quatro classes para a vulnerabilidade natural, e em três classes para a vulnerabilidade ambiental, conforme exposto na Tabela 3.

Tabela 3: Classes de vulnerabilidade.

Vulnerabilidade Natural	Intervalo	Vulnerabilidade Ambiental	Intervalo
Muito baixa	1,0 - 1,3	Baixa	1,0 - 1,4
Baixa	1,3 - 1,6	Média	1,4 - 2,0
Média	1,6 - 2,0	Alta	2,0 - 3,0
Alta	2,0 - 3,0		

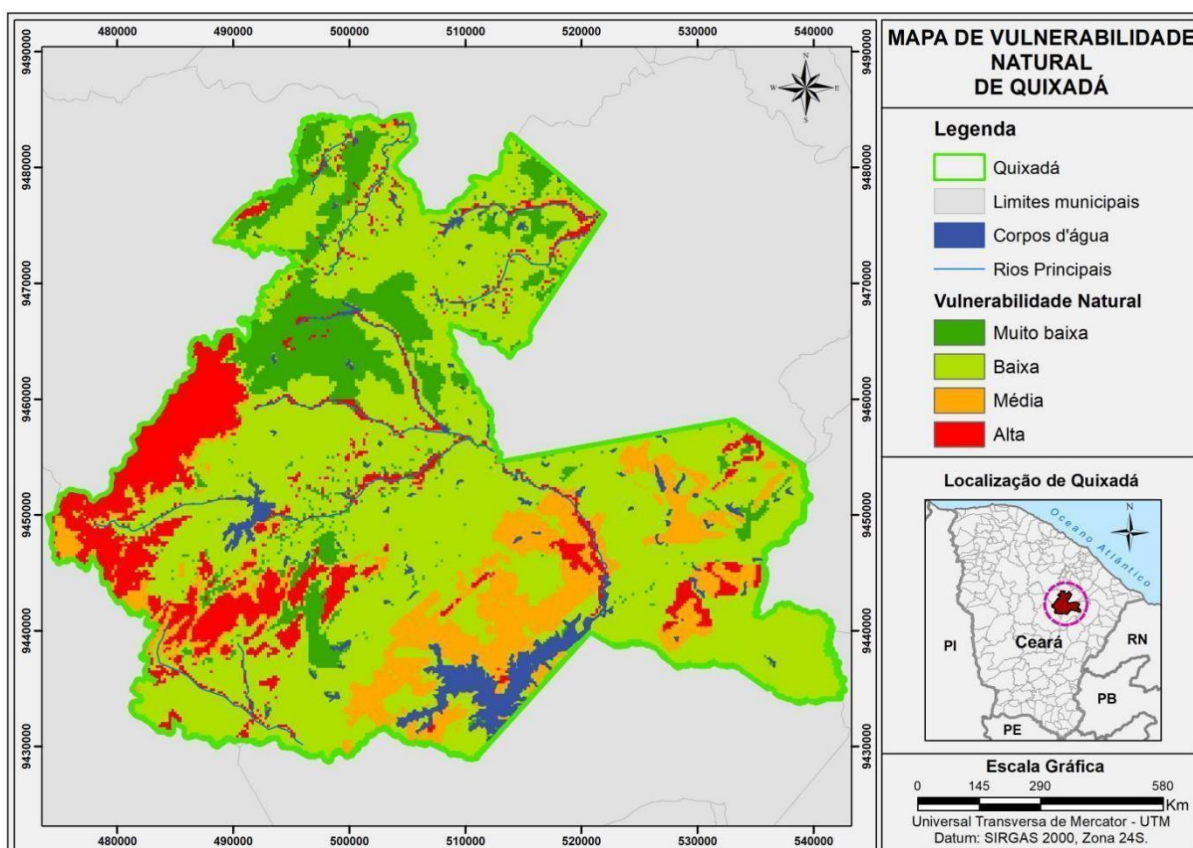
Fonte: elaborado pelos autores (2022).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Considerações sobre a vulnerabilidade natural e ambiental no município de Quixadá

O mapa de vulnerabilidade natural (Figura 3) e o mapa de vulnerabilidade ambiental (Figura 3) apresentam graus de estabilidade das unidades de paisagem resultados da dinâmica natural e da interferência das ações antrópicas sobre o meio natural. Contudo, dentre outros aspectos, este estudo possibilita indicar áreas mais e menos vulneráveis ambientalmente, servindo de auxílio para o desenvolvimento de projetos, visando o equilíbrio da relação sociedade-natureza.

Figura 3: Mapa de vulnerabilidade natural.



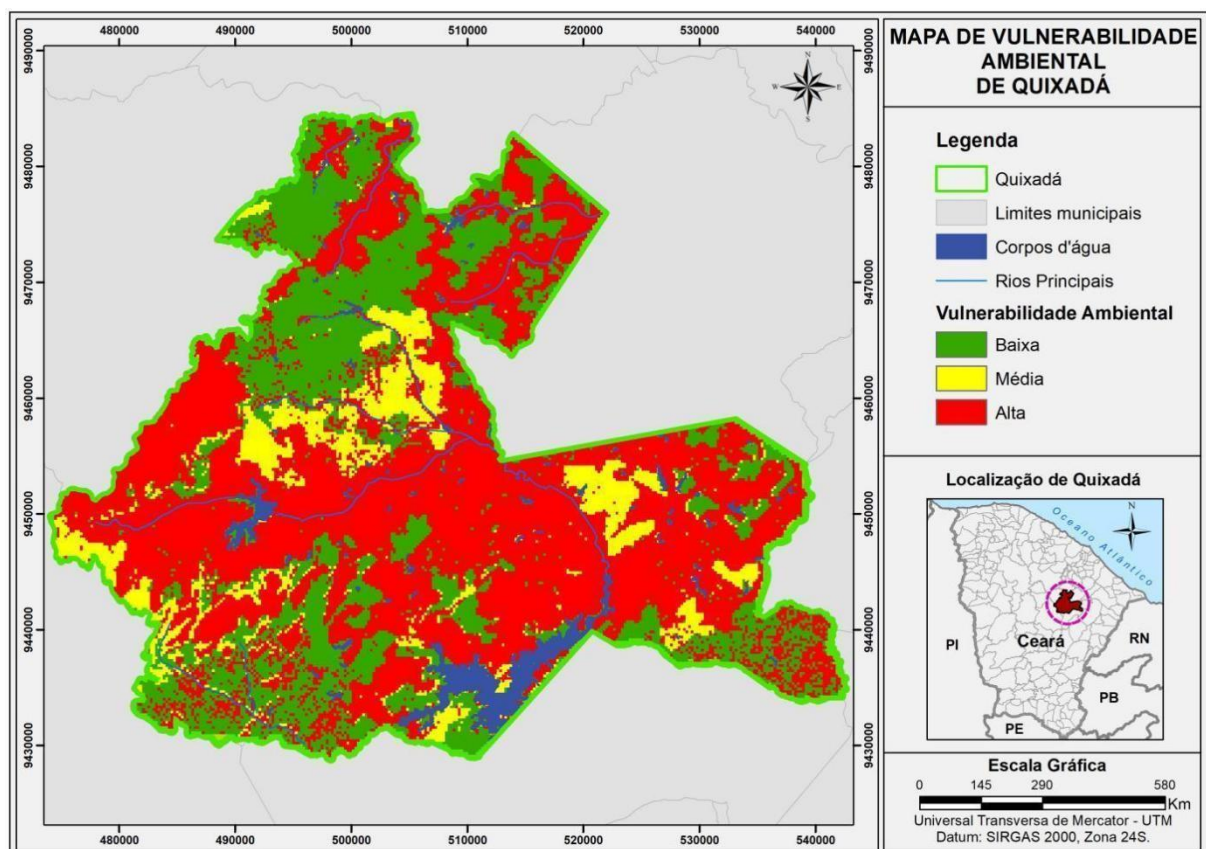
Fonte: elaborado pelos autores (2022).

A vulnerabilidade natural muito baixa e a vulnerabilidade natural baixa correspondem às áreas onde estão inseridas a depressão sertaneja aplainada, recobertas em alguns pontos por manchas de vegetação nativa, apresentando argissolos, planossolos e luvisolos, e unidades geológicas menos instáveis. Deste modo, representa ambientes com estabilidade elevada, indicando assim baixa susceptibilidade a fenômenos erosivos.

A vulnerabilidade natural média equivale a uma parte da depressão sertaneja dissecada em colinas rasas, podendo coincidir em algumas partes com as unidades de estabilidade média, quando sobrepostos unidades geológicas do Complexo Acopiara, de depósitos colúvio-eluviais, classe de neossolos, planossolos, luvisolos e argissolos e de vegetação mais limitante.

A vulnerabilidade natural alta encontra-se em unidades onde a ecodinâmica natural é elevada devido a ação de processos morfogenéticos. Esta área caracteriza-se pela presença de campos de inselbergs e cristas residuais, maciço residual, planícies fluviais e terraços fluviais, neossolos litólicos e depósitos aluvionares.

Figura 4: Mapa de vulnerabilidade ambiental.



Fonte: elaborado pelos autores (2022).

A vulnerabilidade ambiental baixa representa ambientes com alta estabilidade em meio a depressão sertaneja aplainada, devido a predominância de vegetação nativa, retratando assim, a presença de baixa susceptibilidade a fenômenos erosivos e atividades humanas.

A vulnerabilidade ambiental média apresenta ambientes com estabilidade média e com vegetação mais limitante, onde encontra-se também solo exposto ou pousio, depósitos colúvio-eluviais, neossolos e depressão sertaneja dissecada em colinas rasas.

A vulnerabilidade ambiental alta representa ambientes com forte instabilidade, onde são destacadas as planícies fluviais, campos de inselbergs e cristas residuais, maciço residual, neossolos litólicos, depósitos aluvionares, ambientes sem cobertura vegetal, agroextrativismo em mata ciliar, solo exposto ou em pousio, ambientes com intensa atividade de agropecuária e intervenção urbana.

Compartimentação geomorfológica: limitações, potencialidades, vulnerabilidade e sustentabilidade ambiental

O fator geomorfologia pode ser considerado como elemento base na determinação da compartimentação do ambiente, possibilitando de forma sistêmica e holística análises das condições ambientais. Para Souza (2000, p. 11), “Os limites do relevo e as feições do modelado são mais facilmente identificados e passíveis de uma delimitação mais rigorosa e precisa”. Em relação a isto, destaca também que cada compartimento destina-se a ter padrões próprios de drenagem superficial, arranjos típicos de solos e características singulares no que se refere aos aspectos fitofisionômicos. Além disso, os padrões de ocupação antrópica são também influenciados. As considerações deste autor sobre vulnerabilidade e sustentabilidade podem ser verificadas no Quadro 1:

Quadro 1: Vulnerabilidade e sustentabilidade dos ambientes, conforme Souza (2000).

Vulnerabilidade baixa
Estabilidade morfogenética antiga em função da fraca atividade do potencial erosivo, onde ocorre processos favoráveis a pedogênese, em que o recobrimento vegetal é pouco alterado pela ação do homem ou há fraca regeneração, que evolui para condições similares ou próximas às originais, onde ocorre equilíbrio entre fatores do potencial ecológico e fatores de exploração biológica.
Vulnerabilidade moderada
Ambiente com dinâmica marcada pelos processos morfogenéticos e pedogenéticos, podendo favorecer uma a outra condição, quando predominante a pedogênese passa-se aos meios estáveis, quando predominante a morfogênese passa-se aos meios instáveis.
Vulnerabilidade alta
Intensa atividade de potencial erosivo, com evidências de deterioração ambiental e da capacidade produtiva dos recursos naturais, comprometimento das reservas paisagísticas, o balanço pedogênese x morfogênese é favorável a morfogênese, podendo ser frequentes as rupturas do equilíbrio ecodinâmico e a manutenção do solo é continuamente comprometida.

Sustentabilidade muito baixa
Áreas em que é mínima a capacidade de produção dos recursos naturais, onde os impactos da degradação ambiental assumem características praticamente irreversíveis, em função da assolação da vegetação, da ablação dos solos e dos negativos índices do balanço hídrico.
Sustentabilidade baixa
Áreas com sérios problemas quanto à capacidade produtiva dos recursos naturais renováveis, incluindo-se: pequeno potencial produtivo dos recursos naturais hídricos superficiais e subterrâneos; condições climáticas com irregularidades acentuadas, sem muitas tecnologias que minimizem as consequências das secas, balanço hídrico deficitário em quase todo o ano; solos rasos, erodidos, ambientes com afloramentos de rochas e com baixa fertilidade natural.
Sustentabilidade moderada
Ambientes com razoável capacidade produtiva dos recursos naturais, em que estão presentes, condições satisfatórias quanto ao potencial hídrico, considerando o escoamento fluvial, os reservatórios com razoável a boa quantidade de água e as reservas paisagísticas; condições climáticas subúmidas a semiáridas moderadas solos moderadamente profundos, com média a alta fertilidade natural e em bom estado de conservação por parte da cobertura vegetal primária ou a derivada da sucessão ecológica com dinâmica progressiva.
Sustentabilidade alta
Áreas com boa capacidade produtiva dos recursos naturais, apresentando limitações ambientais, podendo ser mitigadas com aplicações de tecnologias simples, ao qual se inclui: condições satisfatórias quanto ao potencial hídrico considerando o escoamento fluvial, os reservatórios com boa quantidade de água acumulada e as potencialidades de utilização das águas subterrâneas, condições climáticas úmidas, com chuvas bem distribuídas, solos moderadamente profundos com média a alta fertilidade natural, pouco susceptíveis à erosão em função do estado de conservação da vegetação.

Fonte: adaptado de Souza (2000).

Em vista disso, as áreas de vulnerabilidade baixa representam características contidas nos setores de sustentabilidade alta. As áreas de vulnerabilidade moderada apresentam características contidas nos setores de sustentabilidade moderada. E as áreas de vulnerabilidade alta se enquadram em ambientes com sustentabilidade baixa a muito baixa.

As Cristas e os Campos de Inselbergs

Esses ambientes são claramente perceptíveis, apresentam potencialidades em relação a prática de esportes radicais, à beleza natural, apresentam rochas resistentes, o que resulta em relevos rochosos ou com solos bastante rasos, desnudas ou com presença de caatingas arbustivas, são muito íngremes e proporcionam um potencial para escoamento superficial, podem ser propícios a atividades socioeconômicas e a ocupação em alguns casos, em decorrência da sua composição, paisagem cênica e turismo.

Convém salientar que fazem parte de uma unidade de conservação e podem se diferenciar nos graus de declividade e em relação à dissecação, dissolução e fraturamento em consequência do intemperismo.

Apontam limitações para as práticas agrícolas nas áreas de unidade de proteção integral, necessitam de maior fiscalização e cumprimento do plano de manejo e de leis ambientais, além de medidas e devidos cuidados que possam ser incluídos na atualização do plano diretor da cidade. Por isso, constituem ambientes em vulnerabilidade alta, tendendo a uma sustentabilidade muito baixa a baixa.

A Depressão sertaneja aplainada e dissecada

Os ambientes de depressão são encontrados em maior quantidade. A depressão plana e dissecada em colinas rasas são derivadas de processos erosivos e é claramente identificada em meio aos relevos rochosos, tem alto potencial para o desenvolvimento de atividades agropecuárias e à ocupação urbana, apresentam baixo potencial de águas subterrâneas e poucos reservatórios de águas superficiais, solos rasos a medianamente profundos, revestidos por caatingas, com característica de chão pedregoso, tendo uma certa fertilidade natural.

Apresentam limitações a disponibilidade de água para as atividades agropecuárias, ao manejo dos solos e conservação da vegetação. A depressão aplainada possui uma vulnerabilidade baixa e sustentabilidade alta nos pontos onde o uso e ocupação e a degradação não é evidente, onde tais atividades predominam é notado uma pouca conservação dos solos e da vegetação, sendo presentes fatores de degradação ambiental, contribuindo assim para uma vulnerabilidade alta e sustentabilidade muito baixa a baixa.

A depressão dissecada apresenta uma vulnerabilidade média decorrente dos processos erosivos e da interferência antrópica que contribui para os impactos ambientais, assim, pode ser considerado um ambiente de vulnerabilidade média tendendo a alta, e sustentabilidade moderada tendendo a muito baixa.

O Maciço residual Serra do Estevão

O maciço residual Serra do Estevão, representa uma serra seca com formas de topos aguçados e relevos dissecados. Apresenta potenciais turísticos, e por ser um dos ambientes mais elevados do município possui temperaturas mais amenas, solos pouco profundos e com características

pedregosas, contém uma vegetação de caatinga com porte arbóreo e condições favoráveis em algumas partes às atividades agropecuárias.

Por conta da altitude, favorece a formação de uma rede de drenagem superficial e nascente, onde nasce o Rio Sitiá, um importante rio da cidade. A declividade é o fator limitante que interfere nos usos e ocupações como no caso das práticas de agricultura e pecuária. Quanto maior a declividade, maior será a atuação dos processos erosivos e o escoamento hídrico. Dessa forma, cabe destacar ainda as ações de desmatamento e queimadas crescentes nos últimos anos tornando deficiente o estado de conservação.

Em vista disso, levando em consideração a própria dinâmica natural e as ações antrópicas já citadas, a área em análise possui condições de vulnerabilidade alta e sustentabilidade muito baixa a baixa.

As Planícies Fluviais

As planícies fluviais são áreas formadas por acúmulos de sedimentos e margeiam rios, geralmente coincidem com Áreas de Preservação Permanente - APPs. Esses ambientes são naturalmente pouco acidentados e planos, podem conter solos profundos, mal drenados, marcados pela presença de matas ciliares, importante vegetação que serve de proteção para os corpos hídricos. Há limitações em relação a problemas de salinização e inundações periódicas. Mesmo que especificado em lei, a conservação, preservação e delimitação das APPs, é notada a ocorrência de degradação em muitos setores.

As planícies fluviais podem ser classificadas como vulnerabilidade alta e sustentabilidade muito baixa, tendo em vista que são ambientes negligenciados pela sociedade, sendo em alguns trechos ocupadas para construções de casas pela população menos abastada, realização de atividades agroextrativas, pastagens e poluição por meio de resíduos sólidos. Por conta da falta de planejamento e reconhecimento da delimitação, tendem ao aumento da degradação ambiental.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho analisou-se a vulnerabilidade natural e ambiental no município de Quixadá, considerando aspectos naturais como geomorfologia, geologia, solos, vegetação e a ação humana por meio dos usos e ocupações. Assim, considerou-se de modo particular a susceptibilidade dos ambientes

em toda a área de estudo, e de modo complementar, o fator geomorfologia para a compartimentação do ambiente.

Diante do objetivo proposto, foram fundamentais o uso de arquivos vetoriais e raster, trabalho de campo e técnicas de geoprocessamento para a produção dos mapas.

Em relação a produção dos mapas de vulnerabilidade foram considerados o fator geomorfologia e a interferência humana com maior peso pois esses dois fatores apresentam características importantes e determinantes para a avaliação da estabilidade dos ambientes, tendo em vista que os tipos de relevo podem interferir nos modos de uso.

Constatou-se que as atividades como desmatamento, queimadas, poluição, extrativismo, impactos das práticas de agricultura, pecuária e expansão urbana são comuns na área de estudo e contribuem para o aumento das marcas de degradação e vulnerabilidade ambiental.

Dessa forma, observou-se que na depressão sertaneja ocorre uma baixa vulnerabilidade natural, porém vem sofrendo forte alteração pelas atividades humanas. No caso do maciço residual, das planícies fluviais e dos inselbergs, são áreas que já apresentam alta vulnerabilidade natural devido a atuação dos agentes de intemperismo, e as ações antrópicas contribuem para o agravamento desse quadro.

Essas negativas transformações exercidas no ambiente tornam-se um desafio, pois a sustentabilidade ambiental diminui à medida que são verificadas altas vulnerabilidades.

Assim sendo, é fundamental que ocorra conservação, proteção e fiscalização, além da efetivação e/ou ampliação de políticas ambientais, políticas públicas e políticas de convivência com o semiárido.

AGRADECIMENTOS

A autora principal agradece à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de mestrado concedida.

REFERÊNCIAS

ADGER, W. N. Vulnerability. **Global Environmental Change**, v. 16, p. 268-281, fev. 2006.

AMORIM, C. D. de; LOUREIRO, C. V.; SOPCHAKI, C. H. Caracterização ambiental do município de Quixadá- CE como subsídio ao planejamento ambiental e gestão territorial. **Revista Equador**, v. 10, n. 3, p. 124-144, dez. 2021.

BRASIL. Banco de Dados de Informações Ambientais. **Vegetação**. Disponível em: <https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/consulta/vegetacao>. Acesso em: 1 nov. 2022.



BRASIL. Banco de Dados de Informações Ambientais. **Pedologia**. Disponível em: <https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/consulta/pedologia>. Acesso em: 1 nov. 2022.

CEARÁ. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. **Perfil Básico Municipal de Quixadá**. 2021. Disponível em: <http://ipecedata.ipece.ce.gov.br/ipece-data-web/module/perfil-municipal.xhtml>. Acesso em: 1 nov. 2022.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. de; AZEVEDO, L. G de; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T. G., DUARTE, V. **Curso de Sensoriamento Remoto Aplicado ao Zoneamento Ecológico-Econômico**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais INPE, 1996.

CREPANI, E. MEDEIROS, J. S. de; 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: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais- INPE, 2001.

CRUZ, E. F.; NEIVA, J. A. de F.; INÁCIO, R. D.; COSTA, P. S. F.; MOREIRA, A. A. M. Avaliação da Vulnerabilidade Ambiental do Distrito de Glaura - Município de Ouro Preto/MG. **Caderno de Geografia**, Belo Horizonte, v. 26, n. 1, p. 35-49, 2016.

FEITOSA, F. A. C.; VASCONCELOS, A. M.; COLARES, J. Q. dos S. **Programa de recenseamento de fontes de abastecimento por água subterrânea no estado do Ceará**: diagnóstico do município de Quixadá. Fortaleza: CPRM, 1998.

FREITAS, L. C. B.; MONTEIRO, F. A. D.; FERREIRA, R. V.; MAIA, R. P. (Org.) **Geoparque Sertão Monumental - CE**: proposta. Fortaleza: CPRM, 2019.

GRIGIO, A. M. **Aplicação do sensoriamento remoto e sistemas de informação geográfica na determinação da vulnerabilidade natural e ambiental do município de Guimarães (RN)**: simulação de risco às atividades da indústria petrolífera. 2003. 222 f. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica e Geofísica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2003.

KLAIS, T. B. A.; DALMAS, F. B.; MORAIS, R. P.; ATIQUÊ, G.; LASTORIA, G.; PARANHOS FILHO, A. C. Vulnerabilidade natural e ambiental do município de Ponta Porã, Mato Grosso do Sul, Brasil. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 7, n. 2, p. 277-290, 2012.

LIMA, R. J. R.; CRISPIM, A. B.; SOUZA, M. J. N. de. Mapeamento Geomorfológico como subsídio ao planejamento ambiental no município de Quixadá/CE. **Revista Geonorte**, v. 10, n. 1, p. 555-559, 2014.

LOUREIRO, C. V.; MEIRELES, A. J. A. Avaliação da vulnerabilidade para análise da qualidade ambiental – Um exemplo de aplicação em área do baixo curso dos rios Maranguapinho e Ceará – CE. **Revista de Geografia**, Juiz de Fora, v. 2, n. 2, p. 1-8, 2013.

MORO, M. F.; MACEDO, M. B.; MOURA- FÉ, M. M. de; CASTRO, A. S. F.; COSTA, R. C. da. Vegetação, unidades fitoecológicas e diversidade paisagística do estado do Ceará. **Rodriguésia**, v. 66, n. 3, p. 717-743, 2015.

SANTOS, J. de O. Relações entre fragilidade ambiental e vulnerabilidade social na susceptibilidade aos riscos. **Mercator**, Fortaleza, v. 14, n. 2, p. 75-90, ago. 2015.

SANTOS, J. de O.; SOUZA, M. J. N. de. Abordagem geoambiental aplicada à análise da vulnerabilidade e dos riscos em ambientes urbanos. **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia, v. 34, n. 2, p. 215-232, maio/ago. 2014.

SOUZA, M. J. N. de. Bases Naturais e Esboço do Zoneamento Geoambiental do Estado do Ceará. In: SOUZA, M. J. N. de; MORAES, J. O. de; LIMA, L. C. **Compartimentação territorial e gestão regional do Ceará**. Fortaleza: Funece, 2000. p. 5-104.

SOUZA, M. J. N. de; MENELEU NETO, J.; SANTOS, J. de O.; GONDIM, M. S. **Diagnóstico Geoambiental do Município de Fortaleza**: Subsídios ao Macrozoneamento Ambiental e à Revisão do Plano Diretor Participativo-PDPFor. Fortaleza: Prefeitura Municipal de Fortaleza, 2009.

TAGLIANI, C.R. **A mineração na porção média da Planície Costeira do Rio Grande do Sul**: estratégia para a gestão sob um enfoque de Gerenciamento Costeiro Integrado. 2002. 252f. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: FIBGE/SUPREN, 1977. 97p

ZANELLA, M. E.; DANTAS, E. W. C; OLIMPIO, J. L. A vulnerabilidade natural e ambiental do município de Fortaleza/Ce. **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia, v. 31, n. 2, p. 13-27, jul./dez. 2011.