RGe ISSN: 2177-3246

NÍVEIS DE DEGRADAÇÃO AMBIENTAL NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO: UM ESTUDO PARA OS MUNICÍPIOS DO ESTADO DO CEARÁ, BRASIL

LEVELS OF ENVIRONMENTAL DEGRADATION IN THE BRAZILIAN SEMIARID REGION: A STUDY OF MUNICIPALITIES IN THE STATE OF CEARÁ, BRAZIL

NIVELES DE DEGRADACIÓN AMBIENTAL EN LA REGIÓN SEMIÁRIDA BRASILEÑA: UN ESTUDIO PARA LOS MUNICIPIOS DEL ESTADO DE CEARÁ, BRASIL

10.56238/revgeov17n6-062

Helder Pita Rocha
Doutorando em Economia Rural pelo Programa de Pós-Graduação em Economia Rural (PPGER)
Instituição: Universidade Federal do Ceará
E-mail: helder.gsv@gmail.com
Lattes: https://lattes.cnpq.br/0468098888132944
Orcid: https://orcid.org/0009-0004-8594-8913

Jayane Freires Ferreira
Doutoranda em Economia Rural pelo Programa de Pós-Graduação em Economia Rural (PPGER)
Instituição: Universidade Federal do Ceará
E-mail: jayfreires2014@gmail.com
Lattes: http://lattes.cnpq.br/0152669238597960
Orcid: https://orcid.org/0000-0003-3943-1951

José de Jesus Sousa Lemos
Professor Permanente dos programas de Pós-Graduação em Economia Rural e Desenvolvimento e Meio Ambiente
Instituição: Universidade Federal do Ceará. Pesquisador Bolsista de Produtividade do CNPq
E-mail: lemos@ufc.br
Lattes: https://lattes.cnpq.br/5498218246827183
Orcid: https://orcid.org/0000-0002-2169-1360

Jamile Ingrid de Almeida Salviano
Doutora em Economia Rural pelo Programa de Pós-Graduação em Economia Rural (PPGER)
Instituição: Universidade Federal do Ceará
Lattes: http://lattes.cnpq.br/3777605851826272
Orcid: https://orcid.org/0000-0002-7184-2905

RGe
ISSN: 2177-3246

Milena Monteiro Feitosa
Doutora em Desenvolvimento e Meio Ambiente pelo Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA)
Instituição: Universidade Federal do Ceará
E-mail: milenamonteirofeitosa@gmail.com
Lattes: https://lattes.cnpq.br/2761723037820370
Orcid: https://orcid.org/0000-0002-3748-2395

RESUMO
Esta pesquisa tem como objetivo criar um Índice de degradação ambiental (IDA) capaz de indicar o estágio de devastação ambiental nos municípios cearenses de acordo com as evidências mostradas pelos Censos Agropecuários de 2006 e 2017. Foram utilizados dados de diversas fontes, como Censos Agropecuários de 2006 e 2017, MapBiomas e NOAA, foi utilizado uma Análise de Decomposição em Componentes Principais e, posteriormente, foi construído um IDA para verificar quais os municípios do Ceará que mais degradam o meio ambiente. Os resultados apontaram que quatro construtos apontaram as seguintes variáveis impactantes na degradação ambiental: Densidade de bovinos, Valor da produção agrícola animal, Cobertura vegetal, Valor da produção agrícola vegetal, EGEE, CV das pluviometrias, cicatriz de fogo e Áreas em recuperação. O índice de degradação ambiental 'médio' foi o predominante entre os municípios cearenses reconhecidos oficialmente como fazendo parte do semiárido brasileiro.

Palavras-chave: Decomposição em Componentes Principais. Densidade de Bovinos. Semiárido Brasileiro. Cicatriz de Fogo. Cobertura Vegetal.

ABSTRACT
This research aims to create an Environmental Degradation Index (IDA) capable of indicating the stage of environmental devastation in the municipalities of Ceará according to the evidence shown by the 2006 and 2017 Agricultural Censuses. Data from various sources were used, such as the 2006 and 2017 Agricultural Censuses, MapBiomas and NOAA, a Principal Components Decomposition Analysis was used and, subsequently, an IDA was constructed to verify which municipalities in Ceará degrade the environment the most. The results showed that four constructs indicated the following variables impacting on environmental degradation: Cattle density, Value of animal agricultural production, Vegetation cover, Value of plant agricultural production, EGEE, CV of rainfall, fire scar and Areas under recovery. The 'medium' environmental degradation index was the predominant one among the municipalities in Ceará that are officially recognized as being part of the Brazilian semi-arid region.

Keywords: Principal Component Decomposition. Cattle Density. Brazilian Semiarid. Fire Scar. Vegetation Cover.

RESUMEN
Esta investigación tiene como objetivo crear un Índice de Degradación Ambiental (IDE) capaz de indicar el grado de devastación ambiental en los municipios de Ceará, según la evidencia de los Censos Agrícolas de 2006 y 2017. Se utilizaron datos de diversas fuentes, como los Censos Agrícolas de 2006 y 2017, MapBiomas y la NOAA. Se empleó un Análisis de Componentes Principales y, posteriormente, se construyó un IDE para verificar qué municipios de Ceará presentan mayor degradación ambiental. Los resultados indicaron que cuatro constructos señalan las siguientes variables que impactan la

degradación ambiental: densidad de ganado, valor de la producción agropecuaria, cobertura vegetal, valor de la producción agropecuaria vegetal, índice EGEE (Ambiental, Geofísico y Ecológico), coeficiente de variación (CV) de la precipitación, cicatrices de incendios y áreas en recuperación. El índice de degradación ambiental "medio" fue predominante entre los municipios de Ceará oficialmente reconocidos como parte de la región semiárida brasileña.

Palabras clave: Descomposición de Componentes Principales. Densidad de Ganado. Región Semiárida Brasileña. Cicatriz de Incendio. Cobertura Vegetal.

1 INTRODUÇÃO

A degradação ambiental refere-se ao processo de esgotamento dos recursos naturais, à poluição e deterioração dos componentes da natureza, sejam bióticos ou abióticos, como água, ar, solo, fauna, flora e biodiversidade, com impactos negativos nos ecossistemas e no bem-estar humano. Essa degradação pode ser causada por atividades humanas, como desmatamento, práticas agrícolas, processos erosivos e exploração excessiva de recursos, ou por eventos naturais extremos, como as secas (Brasileiro, 2009).

Reforçando o entendimento conceitual do que vem a ser degradação ambiental, Lemos (2012), enfatiza que degradação ou depredação do meio ambiente implica uma redução potencial da disponibilidade de ativos produtivos por um processo ou por uma combinação deles atuando sobre os recursos naturais. Esses processos incluem erosões provocadas pela água (chuvas torrenciais, por exemplo) ou pelos ventos, além de sedimentações ocasionadas por esses mesmos agentes. Também envolvem a redução, a longo prazo, da diversidade da vegetação natural e da fauna silvestre, bem como a salinização e solidificação do solo.

Fica assim caracterizado o processo de degradação do meio ambiente, como a resultante de ações antrópicas ou de fenômenos naturais, conforme se assimila nos conceitos apresentados, afetando diretamente um contingente muito grande de seres humanos: os pobres que migraram e continuam migrando para outras cidades em busca de promover atividades econômicas para atender suas necessidades.

Conforme estabelecido na última delimitação feita pelo Conselho Deliberativo da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), em janeiro de 2024, no Ceará, 175 dos seus 184 municípios (95,1%) foram reconhecidos como fazendo parte do semiárido brasileiro.

O clima semiárido possui características marcantes, como: a variabilidade espacial e temporal das chuvas, frequentemente concentradas entre os meses de fevereiro a maio de cada ano. Assim, as instabilidades pluviométricas são a regra predominante nesse clima, um fator importante que, ao longo dos anos, causa degradação dos recursos naturais e afeta sobretudo o solo devido à alta evaporação e às altas temperaturas. Da mesma forma, tem efeito sobre a qualidade das águas armazenadas nos reservatórios hídricos em períodos de estiagens (Lessa *et al*., 2024; Mendonça Júnior *et al*., 2024).

Aquino *et al*. (2017) sintetiza que, no semiárido, a forte instabilidade dos meios é caracterizada pela predominância da morfogênese na dinâmica natural, sendo todos os outros elementos a ela subordinados. Nesse contexto, esses ambientes são marcados por eventos catastróficos de consequências imediatas, como as erupções vulcânicas ou, em casos mais condizentes com a realidade brasileira, episódios de chuvas torrenciais no semiárido. Tais eventos resultam em uma grande perda de solos por meio das enxurradas, que, por sua vez, acarreta a perda de fertilidade, formação de ravinas e voçorocas, além da ocorrência de movimentos de massa.

Posto isso, os municípios cearenses estão inseridos, em quase sua totalidade, no recorte geográfico do semiárido, o que já justifica a importância de mensurar os níveis de degradação ambiental da área agregada desses municípios e de retratar o atual quadro ambiental. Tal análise é fundamental para subsidiar e orientar medidas de planejamento voltadas à definição das formas mais adequadas de desenvolver atividades econômicas compatíveis com essa realidade, de modo a atender às necessidades da população local.

Com fundamentação em Aquino (2017), pode-se afirmar que a área dessas municipalidades e, consequentemente, suas populações configuram-se como uma zona de sacrifício, onde há uma exposição diferenciada frente aos riscos de algum tipo particular de perigo. Nesse sentido, o estudo buscará identificar quais os fatores que, proporcionalmente, mais potencializam para a intensificação da degradação ambiental no estado do Ceará, podendo ser considerado excepcionalmente os municípios inseridos no semiárido.

Especificamente, esta pesquisa tem como objetivo mensurar um Índice de Degradação Ambiental (IDA) capaz de indicar o estágio de devastação ambiental nos municípios cearenses. A partir desse índice, torna-se possível identificar quais municípios do estado do Ceará apresentam os maiores indícios de estarem em processo de desertificação. Dessa maneira, essa pesquisa pode oferecer subsídios relevantes para análises mais aprofundadas sobre as especificidades dos recursos naturais nas localidades com os níveis mais críticos de degradação ambiental.

Além dessa seção introdutória, o artigo contempla na seção 2 o referencial teórico referente ao teor da pesquisa. A seção 3 engloba os procedimentos metodológicos, incluindo a descrição da base de dados e o método de análise aplicado. Posteriormente, na seção 4, serão expostos a discussão dos resultados e, por fim, são realizadas as considerações finais deste estudo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Os problemas enfrentados pela população residente no semiárido cearense (clima predominante em 95,1% dos municípios do Estado do Ceará) são decorrentes, sobretudo, das instabilidades climáticas dessa região, do não uso de tecnologias adequadas e adaptadas às características climáticas e ao seu bioma (Caatinga) ali predominantes, o que o deixa vulnerável à degradação ambiental, atingindo diretamente seus habitantes. Ao se focar na produção agropecuária do semiárido do Ceará, nota-se grandes obstáculos associados a um conjunto de fatores que favorecem a depreciação da base de recursos naturais dessa área e que dificultam ou até inviabilizam a produção de bens agrícolas em parcela considerável dos municípios.

De acordo com a Lei nº 6.938/81, que institui a Política Nacional do Meio Ambiente, essa depreciação é considerada uma adversidade de natureza negativa, sendo conceituada na legislação como degradação ambiental (Meneguzzo; Chaicouski, 2010). Diante disso, há fatores que interligados

favorecem essa adversidade negativa. Segundo Lemos (2001), destaca-se "o elevado nível de concentração fundiária, que reflete a forma como a terra está distribuída e apropriada no Estado do Ceará."

Esse fator é explicitado pelos dados do Censo Agropecuário de 2006 que revelam que 67,6% dos estabelecimentos agrícolas do estado têm área menor do que 10 hectares e ocupam apenas 6,7% da área total dos estabelecimentos. Ademais, menos de meio por cento (0,2%) do total dos estabelecimentos possuem área maior que 1.000 hectares, ocupando 18,7% do total das áreas dos estabelecimentos. Tal padrão foi verificado no censo agropecuário de 2017, que mostrou que os estabelecimentos de menor porte representavam 72,2% do total, mas ocupavam apenas 8,4% da área. Em contrapartida, os maiores estabelecimentos correspondiam a apenas 0,1% do número total, mas concentravam 14,9% da área total.

Essa realidade tem como consequência a concentração de famílias em pequenas unidades ou minifúndios, o que gera uma sobrecarga na base de recursos naturais. Por outro lado, nas unidades produtivas maiores se observa a substituição do revestimento natural por áreas com pastagens (naturais e/ou plantadas) ou por áreas de monoculturas, as quais geram impacto relevante na paisagem natural, produzindo efeitos sobre a flora e sobre a fauna nativas (Lemos, 2001). Essa substituição do revestimento natural tem nome certo quando se estuda degradação ambiental, trata-se do desmatamento. Conforme o *National Geographic* (2024), "desmatamento é a conversão de florestas em outros usos da terra, que podem ou não ser causados pela atividade humana".

Esse aspecto é conhecido por Lemos (2001) como a eliminação da cobertura vegetal natural, tanto nos pequenos estabelecimentos quanto nos grandes. Adicionalmente, essa vegetação ainda é utilizada como uma das principais fontes de energia no Estado, tanto na forma de lenha quanto na forma de carvão vegetal. Corroborando essa afirmação, informações da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua Anual do IBGE (2023) aponta que 23,1% dos domicílios do Ceará utilizam a lenha como combustível para preparar os alimentos. O resultado líquido dessa complexa interação do homem com ecossistemas extremamente frágeis é a degradação dos recursos naturais a uma taxa bastante elevada.

Destaca-se, também, o fator instabilidade climática decorrente de períodos de estiagem prolongados, bem como de elevadas temperaturas. Embora o estado normalmente apresente um nível de precipitação de chuvas relativamente reduzido, sobretudo no semiárido que ocupa 86,5% do seu território (IPECE, 2010), esse problema não é considerado crucial, haja vista que nas últimas décadas ocorreu um avanço no desenvolvimento de tecnologias que permitem uma convivência produtiva com essa situação (SDA, 2022). Diante do exposto, o problema do estado, nesse contexto de precipitação das chuvas, pode ser sintetizado à forma irregular com que as chuvas se distribuem na área do semiárido, tanto temporal como espacial.

O quarto fator responsável pela degradação dos recursos naturais é a forma como as atividades agrícolas são conduzidas (Lemos, 1999), ou, conforme denominam Peixoto *et al*. (2012), o manejo inadequado dos agroecossistemas. Por vezes, são observadas práticas de pequenos produtores (proprietários ou não proprietários das terras em que trabalham) explorando o solo intensivamente. Esse exemplo de exploração ocorre devido a poucas alternativas econômicas para famílias dependentes da terra (Lemos, 1999). Nesse sentido, o baixo nível de fertilidade natural predominante nos municípios cearenses desaparece rapidamente, sem reposição (IPECE, 2010).

Em contrapartida, no setor dito “moderno” de produção agropecuária cearense, observa-se o uso exaustivo de capital nas suas diferentes formas, tais como equipamentos mecânicos de irrigação e agroquímicos em geral. Esses dois instrumentais associados aos ventos provocam a erosão dos solos. Por sua vez, o uso intensivo de fertilizantes e corretivos químicos também contribui para a degradação dos solos, especialmente no semiárido. No caso do Ceará, é importante considerar as especificidades do bioma Caatinga, cujos solos, em geral, não possuem capacidades físicas e químicas para absorver os produtos citados nas quantidades que seriam requeridas para a reposição da fertilidade (Duque, 1980).

A utilização de pesticidas contribui com a eliminação de predadores de pragas e dos patógenos causadores das doenças às plantas, bem como parte expressiva da fauna natural, afetando de maneira drástica o equilíbrio dos ecossistemas do semiárido. Dessa forma, destroem a capacidade do ambiente de se proteger. O quinto fator de degradação ambiental refere-se às queimadas. A literatura acadêmica é vasta em estudos sobre os efeitos do fogo nos biomas Cerrado, Amazônia e Mata Atlântica. Contudo, essa pesquisa abordará os impactos negativos desse fenômeno contemplando o semiárido cearense, inserido no bioma da Caa-tinga.

Conforme Sarmento e Andrade Neto (2024), o fogo na caatinga, em anos recentes, é fruto do desmatamento pela busca de terras para o manejo agrícola e pecuários, o que tem danificado esse ecossistema na forma de desertificação. Feitosa e Lemos (2025a) destacam que, nas últimas quatro décadas, as queimadas afetaram principalmente a vegetação nativa da Caatinga, especialmente as formações savânicas, com recorrência significativa. Segundo os autores, 12,7% desse bioma foi queimado mais de uma vez, e, em média, 481,6 mil hectares são atingidos pelo fogo a cada ano. Essa prática resulta na formação de cicatrizes, evidências visíveis da degradação causada pela ação antrópica. Tais marcas expõem o solo aos efeitos da chuva e do sol, favorecendo processos como a erosão hídrica e eólica, além de intensas variações térmicas entre o dia e a noite (Capeche, 2012).

Por fim, destacam-se os efeitos degradantes decorrentes da emissão dos gases de efeito estufa (GEE). Embora o efeito estufa seja essencial para a manutenção da vida na Terra, pois contribui para a redução da amplitude térmica entre o dia e a noite, sua intensificação tem gerado preocupações ambientais. Como diz a máxima, 'tudo em excesso faz mal'. Esse fenômeno ocorre devido à presença

de diversos gases na atmosfera, especialmente o vapor d'água e o dióxido de carbono (CO_2). O que se observa atualmente é o aumento da concentração desses gases, intensificando o efeito estufa em comparação aos níveis registrados em décadas anteriores.

Segundo Lemos (2012), esses gases, sobretudo do CO_2 são produtos antrópicos da sociedade contemporânea, onde se sobressai a sua parcela afortunada, pois gera mais EGEE sob forma de lixo e poluição das sobras do seu excesso de consumo. Outro gás de efeito estufa é o metano (CH_4) que tem na digestão bovina sua fonte principal, e isso está intimamente relacionado com as atividades agropecuárias. O fato é que o efeito estufa, antes benéfico, tem provocado atualmente uma série de adversidades, como o aumento das temperaturas em determinadas regiões, alterações no clima e a ocorrência de fenômenos climáticos extremos. De acordo com dados da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (CQNUMC) (Biato, 2005), tais adversidades contribuem diretamente para a degradação dos recursos naturais.

Posto isso, parte-se da hipótese de que os fatores responsáveis pela degradação ambiental atuam com intensidades distintas nos municípios cearenses, variando desde as áreas mais críticas do semiárido até as regiões subúmidas localizadas ao longo do litoral. Observa-se, inclusive, que em municípios situados em áreas menos secas podem ocorrer níveis de degradação mais intensos do que em determinadas zonas semiáridas do estado, mesmo estas apresentando condições climáticas mais adversas. Essa situação é atribuída, especialmente, à ação antrópica, impulsionada pela pobreza das famílias que dependem da terra como principal meio de subsistência, além do avanço da conversão da cobertura vegetal em áreas destinadas à agricultura, tanto permanente quanto temporária.

3 METODOLOGIA

Esta parte é destinada a descrição da base de dados e dos procedimentos metodológicos, onde incluem método de análise por componentes principais e a construção do índice de degradação ambiental.

3.1 BASE DE DADOS

A presente pesquisa utiliza dados secundários advindos das seguintes fontes principais nos anos de 2006 e 2017: o Censo Agropecuário; o MapBiomas; o SEEG (Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa); e o NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*).

As variáveis selecionadas buscam captar os principais fatores relacionados ao índice de degradação ambiental nos municípios do estado do Ceará para os anos analisados. As variáveis extraídas do Censo Agropecuário, tem informações sobre uso da terra, densidade do rebanho bovino, produção agrícola vegetal e animal. Essas variáveis refletem as transformações na atividade

agropecuária que podem influenciar diretamente na degradação ambiental. A cobertura vegetal, as áreas com cicatrizes de fogo e aquelas em recuperação foram obtidas via MapBiomas, permitindo avaliar mudanças no uso do solo e a presença de distúrbios ambientais relevantes. As emissões de GEE propriamente ditas foram obtidas do SEEG, enquanto os coeficientes de variação das chuvas, usados como indicadores climáticos, foram calculados com base nos dados da NOAA, comparando a variabilidade entre os dois anos.

Posteriormente, foi construído um índice baseado na razão entre os valores observados nos anos de 2017 e 2006. Essa razão permite identificar se houve aumento ou redução de cada variável entre os anos, de modo que, quando a razão é maior que 1, indica crescimento e valores inferiores a 1 apontam para uma diminuição. Essa lógica foi aplicada para todas as variáveis construídas no Quadro 1, permitindo uma análise comparativa padronizada entre os municípios. Por fim, vale ressaltar que todos os valores nominais anuais foram deflacionados utilizando o Índice Geral de Preços – disponibilidade interna (IGP-DI) da Fundação Getúlio Vargas para o ano de 2024.

Quadro 1 – Descrição das variáveis

Variáveis	Hipótese	Descrição	Fontes
Cobertura vegetal	-	Áreas com lavouras permanentes, temporárias, com florestas nativas ou plantadas / área total dos estabelecimentos	Censo agropecuário
Densidade bovinos	+	Quantidade do efetivo bovino / áreas dos estabelecimentos com pastagens naturais e/ou cultivadas	Censo agropecuário
VPAV	-	Valor da produção agrícola vegetal / área cultivada com lavouras permanentes e temporárias	Censo agropecuário
VPAA	-	Valor da produção agrícola animal / área de pastagens nativas e plantadas;	Censo agropecuário
Cicatrizes de fogo	+	Área com cicatrizes de fogo / área total do estabelecimento	MapBiomas
Áreas em recuperação	-	Áreas em Recuperação / Áreas totais dos estabelecimentos	MapBiomas
EGEE	+	Emissão de gases do efeito estufa	SEEG
Pluviometria	-	Pluviometria em milímetros	NOAA
CV das pluviometrias	+	Coeficiente de variação (CV) das pluviometrias de 1901 até 2006 / Coeficiente de variação (CV) das pluviometrias de 1901 até 2017	NOAA

Fonte: Elaborado pelos autores.

Ademais, recorreu-se à estatística descritiva para sintetizar e descrever as características principais observadas no conjunto de dados por meio de tabelas e medidas de resumos, o que nos permite ter melhor compreensão do comportamento dos dados em análise (Fávero *et al*, 2009). No presente artigo, serão estimados as médias aritméticas, desvios-padrão, valores mínimos e máximos.

3.2 ANÁLISE FATORIAL POR COMPONENTES PRINCIPAIS

Os procedimentos técnicos da análise fatorial são essenciais quando se busca trabalhar com variáveis que apresentam, entre si, coeficientes de correlação relativamente elevados, visando estabelecer novas variáveis que representem o comportamento conjunto das variáveis originais. Dentre os métodos para a determinação dos fatores, o mais usual é conhecido como componentes principais, uma vez que é baseado na hipótese de que podem ser extraídos fatores não correlacionados a partir de combinações lineares das variáveis originais. Portanto, isso permite que seja estipulado outros conjuntos de variáveis, denominada de fatores, que resultam na combinação linear do primeiro conjunto (Fávero, 2009).

A partir disso, uma quantidade substancial de valores inferiores a 0,30 é um indício preliminar de que a análise fatorial poderá ser inapropriada (Hair *et al*., 2009). Nesse contexto, a noção de que as variáveis originais são correlacionadas e que podem ser demonstradas por combinações lineares, matematicamente, tem-se a matriz das variáveis $X_1, X_2, \dots, X_p$. O objetivo é encontrar p combinações dessas variáveis:

$$\varphi_1 = \gamma_{11}X_1 + \gamma_{12}X_2 + \cdots + \gamma_{1p}X_p$$
$$\varphi_2 = \gamma_{21}X_1 + \gamma_{22}X_2 + \cdots + \gamma_{2p}X_p$$
$$\vdots$$
$$\varphi_p = \gamma_{p1}X_1 + \gamma_{p2}X_2 + \cdots + \gamma_{pp}X_p$$

Em que:

X_j são as variáveis originais; φ_i são os componentes principais; e γ_{ij} equivale ao peso da variável j no componente principal i.

Em síntese, a decomposição por componentes principais, atribuem: os autovetores, que são equivalentes ao número de variáveis; os autovalores, isto é, as raízes latentes, que são as cargas fatoriais que simbolizam a variância explicada pelo fator; a matriz de covariância, que constitui na variância comum para cada par de variáveis; e a matriz de cargas, que explica a correlação das variáveis originais com o fator gerado durante o processo.

A Análise Fatorial (AF) compreende algumas etapas. Segundo Fávero e Belfiore (2017), estas são decompostas em: ajustamento da análise fatorial, por meio da verificação da matriz de correlações e adequações do emprego da AF; extração dos fatores; rotação dos fatores; e interpretação dos fatores. Na realização da AF se faz necessário, de início, verificar a adequação dos dados no modelo. Para tal

finalidade, neste estudo serão realizados os testes de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) e da esfericidade de Bartlett.

A estatística KMO estabelece uma proporção de variância considerada comum a todas as variáveis na amostra, de modo que essa estatística varie de 0 a 1. Dito isso, valores mais próximos de 1 sugerem que as variáveis compartilham um percentual de variância bastante elevado (correlações de Pearson altas), valores mais próximos de 0 são decorrentes de correlações de Pearson baixas entre as variáveis, o que pode indicar que a análise fatorial será inadequada (Fávero, 2009). Mais precisamente, os valores do KMO abaixo de 0,5 tornam inadequado o emprego da técnica de análise fatorial.

Ainda na concepção de Fávero (2009), o teste de esfericidade de Bartlett equipara a matriz de correlações observada com uma matriz identidade de mesma dimensão. Caso as diferenças entre os valores correspondentes fora da diagonal principal de cada matriz não sejam estatisticamente diferentes de 0, a determinado nível de significância, poder-se concluir que não há correlações suficientes entre as variáveis, tornando inadequada a aplicação da análise fatorial. Se acaso for hipótese nula (H_o: a matriz de correlações de uma matriz identidade), será acatada, implica resultando em que as variáveis originais não estão correlacionadas e, nessa situação, o emprego da análise fatorial será inapropriado. Se, entretanto, a hipótese nula não for aceita, sinalizará que há correlações significativas entre as variáveis observadas (Fávero; Belfiore, 2017).

No critério de escolha da quantidade dos fatores, são levados em consideração apenas os construtos correspondentes a autovalores maiores do que 1 (um). Este é comumente utilizado e conhecido por critério da raiz latente ou critério de *kaiser*. Qualquer fator individual deve explicar a variância de, pelo menos uma variável, se ele há de ser mantido para a interpretação. Com análise de componentes, cada variável contribui com o valor 1(um) do autovalor. Assim, somente os fatores que têm raízes latentes ou autovalores maiores do que 1(um) são considerados significantes. Ou seja, os fatores com raízes menores são ditos insignificantes e são descartados (Fávero, Belfiore, 2017).

Após a definição do número de fatores, o próximo passo é decidir que técnica será utilizada para o cálculo das cargas fatoriais. Essa é a chamada extração de fatores. Existem várias técnicas para extrair construtos. Conforme Fávero e Belfiore (2017), o método para extração de fatores, conhecido como componentes principais, no qual o primeiro fator F_1, formado pela maior percentual de variância pelas variáveis observadas é também chamado de fator principal. Tal método é amplamente referenciado na literatura e utilizado na prática quando o pesquisador tem a intenção de fazer uma redução estrutural para a obtenção de variáveis latentes ortogonais, e até mesmo no sentido de averiguar a validade de fatores anteriormente estabelecidos.

O método dos componentes principais é um dos mais comuns e produz combinações lineares das variáveis originais que sejam independentes entre si e explicam o máximo de variabilidade dos dados. A primeira componente explica a maior parte dessa variância, a segunda é a que possui o

segundo maior poder de explicação, e assim por diante. Juntas, todas as componentes explicam toda a variabilidade dos dados (Matos; Rodrigues, 2019). Segundo Maroco (2003), a solução fatorial encontrada para o modelo de AF nem sempre é interpretável. Os pesos fatoriais das variáveis nos fatores comuns são tais que não é possível atribuir um significado empírico para os construtos extraídos. Assim sendo, busca-se, por meio da rotação de fatores, produzir uma solução mais interpretável.

Na rotação fatorial ortogonal, cada fator é independente (ortogonal) em relação a todos os outros, ou seja, correlação entre eles é assumida como sendo zero (Hair, 2005, *apud*, Matos; Rodrigues, 2019). O termo ortogonal significa não relacionado, não existe correlação entre os fatores. Assim, os construtos são mantidos independentes durante a rotação, isto é, os eixos são perpendiculares (Matos; Rodrigues, 2019). O mais aplicado dos métodos de rotação é o *Varimax*, sua principal finalidade é diminuir a quantidade de variáveis com elevadas cargas em um dado construto através da redistribuição das cargas fatoriais e maximizar a variância compartilhada em variáveis latentes correspondentes a autovalores mais baixos (Fávero; Belfiore, 2017).

Na concordância com Matos e Rodrigues (2019), a rotação ortogonal por *Varimax* tenta maximizar a dispersão das cargas dentro dos fatores. Assim, esse método carrega menos variáveis originais em cada construto, conduzindo a grupos de fatores mais interpretáveis. *Varimax* intenta evitar que uma grande quantidade de variáveis originais reúna cargas altas em único fator. Portanto, foi aplicado esse método neste artigo com o intento de dar melhor clareza aos resultados.

3.3 ÍNDICE DE DEGRADAÇÃO AMBIENTAL

Inicialmente, havia algumas opções para tomar a decisão de como calcular o IDA. Uma dessas seria estabelecer arbitrariamente que cada indicador tinha o mesmo peso na sua elaboração. Esta escolha foi prontamente descartada porque pode suscitar críticas acerca da magnitude desses pesos arbitrários, pois é sempre provável que cada indicador tenha ponderação distinta na formatação do índice. A segunda opção seria buscar a magnitude dos pesos mediante procedimentos determinísticos ou aleatórios. Entre os processos determinísticos, podem ser empregados métodos de programação linear. Entre os processos estocásticos, aplicam-se métodos de análises de regressão ou análise fatorial.

Nesta pesquisa, optou-se pelo uso deste último instrumento, pressupondo-se que as variáveis envolvidas são todas aleatórias e que há elevado correlação entre si. Havendo correlação entre as variáveis, o método de programação linear não se aplica. Além disso, a soma dos efeitos individuais não é igual ao efeito total, justamente em virtude das correlações. Este é um dos fundamentos do método de análise fatorial. Optou-se pela decomposição em componentes principais (Maroco, 2003; Hair *et al*., 2005; Fávero *et al*., 2009).

Com vistas a verificar o nível de degradação ambiental nos estabelecimentos produtivos dos municípios pesquisados do estado do Ceará, optou-se pelo cálculo do índice com base no emprego da Análise Fatorial (AF), dada a explicação anteriormente apresentada. São muitos os trabalhos acadêmicos que utilizam essa técnica multivariada na mensuração de índices (Lemos, 2001; Lemos; Bezerra, 2019; Bezerra, 2022; Moura; Campos, 2023). Assim, de acordo com os propósitos adotados na experimentação e no embasamento teórico referente à aplicação da análise fatorial, procedeu-se com amparo nessa técnica estatística, à elaboração de um instrumento capaz de medir o grau de degradação ambiental nos estabelecimentos dos municípios pesquisados, denominando-se de Índice de Degradação Ambiental (IDA).

Com fundamento na matriz de escores fatoriais obtida por meio da equação 1 (Monteiro; Pinheiro, 2004), mensuraram-se os índices propostos na investigação. O cálculo desses índices resultou da soma dos escores ponderadas pela proporção da variância explicada representada por fator:

$$EF = A^t \cdot R^{-1} \cdot X^t \qquad (1)$$

Em que:

EF é matriz dos escores fatoriais; A^t é a transposta da matriz das cargas fatoriais; R^{-1} é a matriz inversa da correlação; e X^t a transposta da matriz dos dados originais padronizados.

Com a finalidade de evitar que os altos escores negativos elevem a magnitude dos índices associados aos municípios pesquisados, é adequado inseri-los no primeiro quadrante (Lemos, 2001), conforme a expressão que segue:

$$F_{ji} = (F_j - F_{min})/(F_{max} - F_{min}) \qquad (2)$$

Onde:

F_{ji} é o escore fatorial padronizado do i-ésimo fator estimado para o j-ésimo município; F_{max} escore fatorial máximo do i-ésimo fator; e F_{min} escore fatorial mínimo do i-ésimo fator. O F_{ji} está disposto de tal modo que os índices mensurados na pesquisa variam entre 0 e 1. Dessa forma, o valor do índice estimado será tanto menor, quanto mais próximo de 0 for seu valor, em contrapartida, será tanto maior, quanto mais próximo de 1 for o seu valor.

O Índice de Degradação Ambiental, mensurará a degradação dos recursos naturais nos municípios pesquisados no estado do Ceará:

$$IDA_j = \frac{\sum_{i=1}^{n} W_i F_{ji}}{\sum_{i=1}^{n} W_i}. \qquad (3)$$

Sendo que:

IDA_j é o Índice de degradação ambiental; W_i corresponde ao percentual da variância explicada pelo fator *i*; ($W\,i/\sum_{i=1}^{n} W_i$) é percentual da variância total explicada pela soma de todos os fatores; F_{ji} é o escore padronizado pelo j-ésimo município, do i-ésimo fator; $i = 1, \ldots, n$ (componentes principais); e $j = 1, \ldots, 184$ (municípios do Ceará).

Em relação aos números do Índice IDA mostrado na equação acima, eles oscilam entre zero e um ($0 \leq IDA_j \leq 1$), visto que quanto mais próximo de 1 maior o estágio de degradação do ambiente dos municípios cearenses. Em contrapartida, quanto mais próximo de 0, menor o grau de degradação ambiental no município j.

A fim de melhor interpretar o grau de degradação ambiental nos municípios cearenses, este foi classificado em quatro níveis de degradação (baixo, médio, alto e muito alto) conforme os valores obtidos pelo índice representado pela expressão (3). Assim sendo, atribuiu-se os limites para sua classificação, de acordo com intervalos determinados com base na média e no desvio-padrão (δ), agrupando-os em três degraus, conforme o quadro 2. Lembrando que neste estudo foi adotado a ideia de que, quanto mais próximo de 1, maior o grau de degradação ambiental nos municípios avaliados.

Quadro 2 – Intervalos de classificação dos municípios pesquisados do Ceará quanto ao IDA, em relação ao IDA médio (M) e o desvio padrão (δ)

Nível de degradação ambiental	**Intervalos**
Muito Alto	IDA ≥ (M + 0,5 * δ)
Alto	M < IDA < (M + 0,5 * δ)
Médio	(M - 0,5 * δ) < IDA ≤ M
Baixo	IDA ≤ (M - 0,5 * δ)

Fonte: Elaborado pelos autores.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta seção tem a finalidade de destacar os principais resultados encontrados com aplicabilidade dos métodos propostos. De início, tem-se as evidências iniciais por meio da estatística descritiva; em sequência, os achados da análise dos componentes principais; e, por fim, os resultados do IDA.

4.1 ESTATÍSTICA DESCRITIVA

A Tabela 1 apresenta as evidências iniciais das variáveis ambientais agropecuárias que influenciam a degradação ambiental. A estatística descritiva relata a média, desvio padrão, e os valores mínimos e máximos relacionados a razão dos anos de 2017 e 2006. Analisando as variáveis individualmente, a variável de cobertura vegetal apresentou média 0,828 e desvio padrão 0,320, apontando níveis moderados de vegetação nas áreas estudadas. Já a densidade de bovinos esboçou média de 1,320 e desvio de 1,486, mas com valores muito discrepantes entre municípios, com casos de densidades bastante elevadas, o que pode estar relacionado à sobrecarga dos ecossistemas locais.

As variáveis de produção agropecuária, como VPAV e VPAA, apresentam médias de 1,159 e 3,527, respectivamente, ambas acompanhadas de altos desvios padrão (1,503 e 3,794). Os valores mínimos e máximos indicam que há municípios com produção expressiva enquanto outros têm produção quase insignificante. Em seguida, as cicatrizes de fogo, com média de 1,206 e desvio de 1,987, reforça a ideia de que as queimadas estão presentes de forma desigual no território, podendo ser reflexo de práticas agrícolas predatórias ou de eventos climáticos extremos.

A variável áreas em recuperação apresentou uma média de 8,984 e desvio padrão de 12,272, apresenta um valor máximo elevado 73,761. Da mesma forma, a EGEE também sinalizou uma grande variação entre os municípios, com valores indo de 0,028 até 7,457, o que possivelmente reflete diferenças nas atividades agropecuárias e no uso da terra. Por sua vez, coeficiente de variação da pluviometria demonstrou média de 0,988, com baixa dispersão. Isso indica que, apesar das diferenças produtivas e ambientais, os municípios compartilham de um regime de chuvas semelhante, característico do semiárido.

Tabela 1 – Estatística descritiva

Variáveis	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
Cobertura vegetal	0,828	0,320	0,172	2,087
Densidade bovinos	1,320	1,486	0,109	13,914
VPAV	1,159	1,503	0,027	14,329
VPAA	3,527	3,794	0,103	30,704
Cicatrizes de fogo	1,206	1,987	0	13,226
Áreas em recuperação	8,984	12,272	0	73,761
EGEE	1,232	1,099	0,028	7,457
CV das pluviometrias	0,988	0,012	0,963	1,012

Fonte: Valores estimados a partir dos dados da pesquisa.

Em resumo, o comportamento dos dados evidencia a diversidade dos municípios do estado do Ceará, especialmente no que se refere ao uso do solo e intensidade das atividades agropecuárias. Essas informações são importantes para análises mais robustas, como a análise fatorial, que poderá identificar padrões subjacentes e construir indicadores capazes de resumir a realidade multivariada de

forma mais objetiva. Em sequência, realiza-se a construção do índice de degradação ambiental para identificar os municípios que mais degradam.

4.2 RESULTADO DA ANÁLISE DE DECOMPOSIÇÃO EM COMPONENTES PRINCIPAIS

O panorama destacado na Tabela 2 indica os resultados da matriz de componentes depois de ter sido feito a sua rotação ortogonal bem como as comunalidades das variáveis analisadas, com base na decomposição em quatro componentes. A adequação da análise fatorial foi verificada por meio do teste de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) e do teste de esfericidade de Bartlett. Nesse contexto, o valor KMO de 0,506 indica uma adequação aceitável, embora crítica, enquanto o teste de Bartlett apresentou um Qui-quadrado aproximado de 71,33, enfatizando que as correlações entre as variáveis são significativas, o que reforça continuidade da análise fatorial.

A matriz de componentes rotacionados foi adquirida por meio da Análise de Componentes Principais (ACP) com rotação *Varimax* e normalização de Kaiser. Observa-se que os carregamentos fatoriais indicam a relação predominante de cada variável a um fator específico. Diante disso, a variável *Densidade de bovinos* e o *Valor da produção agrícola animal* estão fortemente associados ao Componente 1, com cargas de 0,866 e 0,867, respectivamente, sugerindo um fator relacionado à atividade pecuária.

Já o Componente 2 está relacionado à *Cobertura vegetal* (–0,745) e ao *Valor da produção agrícola vegetal* (0,654), representando um fator de uso do solo ou pressão agrícola sobre a vegetação. O Componente 3 delineia uma elevada carga na variável *EGEE* (0,836) e em *CV das pluviometrias* (0,614), sinalizando um possível fator climático ou de variabilidade ambiental. Enfim, o Componente 4 agrupa as variáveis de *Cicatriz de fogo* (0,779) e *Áreas em recuperação* (0,660).

Tabela 2 – Resultados da decomposição das variáveis originais em quatro componentes obtidos depois da rotação ortogonal

Variáveis	**Matriz de Componentes pós-rotação**				**Comunalidades**	
	1	**2**	**3**	**4**	**Inicial**	**Extraída**
Cobertura vegetal	0,077	-0,745	-0,061	0,068	1,000	0,569
Densidade bovinos	0,866	0,043	0,000	0,003	1,000	0,752
Cicatrizes de fogo	0,008	-0,224	-0,075	0,779	1,000	0,663
Áreas em recuperação	0,000	0,354	0,066	0,660	1,000	0,565
EGEE	-0,048	-0,149	0,836	0,113	1,000	0,736
VPAV	0,057	0,654	0,004	0,073	1,000	0,436
VPAA	0,867	-0,053	0,022	0,004	1,000	0,755
CV das pluviometrias	0,073	0,259	0,614	-0,141	1,000	0,470
Kaiser-Meyer-Olkin (KMO)						0,506
Teste de Esfericidade de Bartlett – Qui-quadrado aproximado						71,338

Fonte: Valores estimados a partir dos dados da pesquisa.

Em sequência, na Tabela 3 se mostra a matriz de covariância dos escores dos componentes extraídos confirmando que os componentes obtidos são linearmente independentes ou ortogonais, tendo em vista que a matriz resultante é uma identidade.

Tabela 3 – Matriz de covariância de escore de componente

Componente	1	2	3	4
1	1,000	0,000	0,000	0,000
2	0,000	1,000	0,000	0,000
3	0,000	0,000	1,000	0,000
4	0,000	0,000	0,000	1,000

Fonte: Valores estimados a partir dos dados da pesquisa.

Subsequentemente, na Tabela 4 se mostram os resultados da análise fatorial com extração por componentes principais, denotando a variância total explicada pelos fatores antes e após a rotação. Inicialmente, nota-se que os quatro primeiros componentes demonstraram autovalores superiores a 1, uma vez que esse é o critério de Kaiser usualmente aplicado para determinar se os fatores extraídos são estatisticamente relevantes. Esses componentes explicaram, respectivamente, 18,99%, 16,46%, 13,58% e 12,77 da variância total dos dados, acumulando 61,818% da variância explicada antes da rotação.

Esses valores sugerem que uma parte substancial da variância das variáveis originais pode ser explicada somente pela sinergia encontrada entre os quatro componentes principais estimados, projetando uma adequação da análise fatorial para a redução do número de variáveis que são interdependentes, a uma quantidade de fatores. Em seguida, com a aplicação da rotação ortogonal dos componentes gerados, foram gerados quatro componentes que são ortogonais ou linearmente independentes. Os componentes assim gerados permitiram a geração de escores fatoriais também independentes através dos quais foi possível explicar as sinergias entre as variáveis originais em uma única variável que é o índice de degradação (IDA) buscado nesta pesquisa. Neste caso as variâncias explicadas por cada uma das componentes ortogonais passaram a ser as seguintes: o primeiro componente passou a explicar 18,98% da variância total, o segundo 15,64%, o terceiro 13,62% e o quarto 13,56%, perfazendo o mesmo total de 61,818% da variância total explanada pelos componentes gerados.

Tabela 4 – Variância total explicada

Componentes	Autovalores Iniciais			Soma dos quadrados das cargas extraídas			Soma dos quadrados das cargas rotacionadas		
	Total	Variância (%)	Acumulado (%)	Total	Variância (%)	Acumulado (%)	Total	Variância (%)	Acumulado (%)
1	**1,520**	**18,998**	18,998	1,52	18,998	18,998	1,519	**18,987**	18,987
2	**1,317**	**16,462**	35,460	1,32	16,462	35,460	1,251	**15,642**	34,628
3	**1,087**	**13,582**	49,042	1,09	13,582	49,042	1,090	**13,628**	48,256
4	**1,022**	**12,776**	**61,818**	1,02	12,776	61,818	1,085	**13,562**	**61,818**
5	0,938	11,731	73,549						
6	0,849	10,618	84,167						
7	0,784	9,800	93,966						
8	0,483	6,034	100,000						

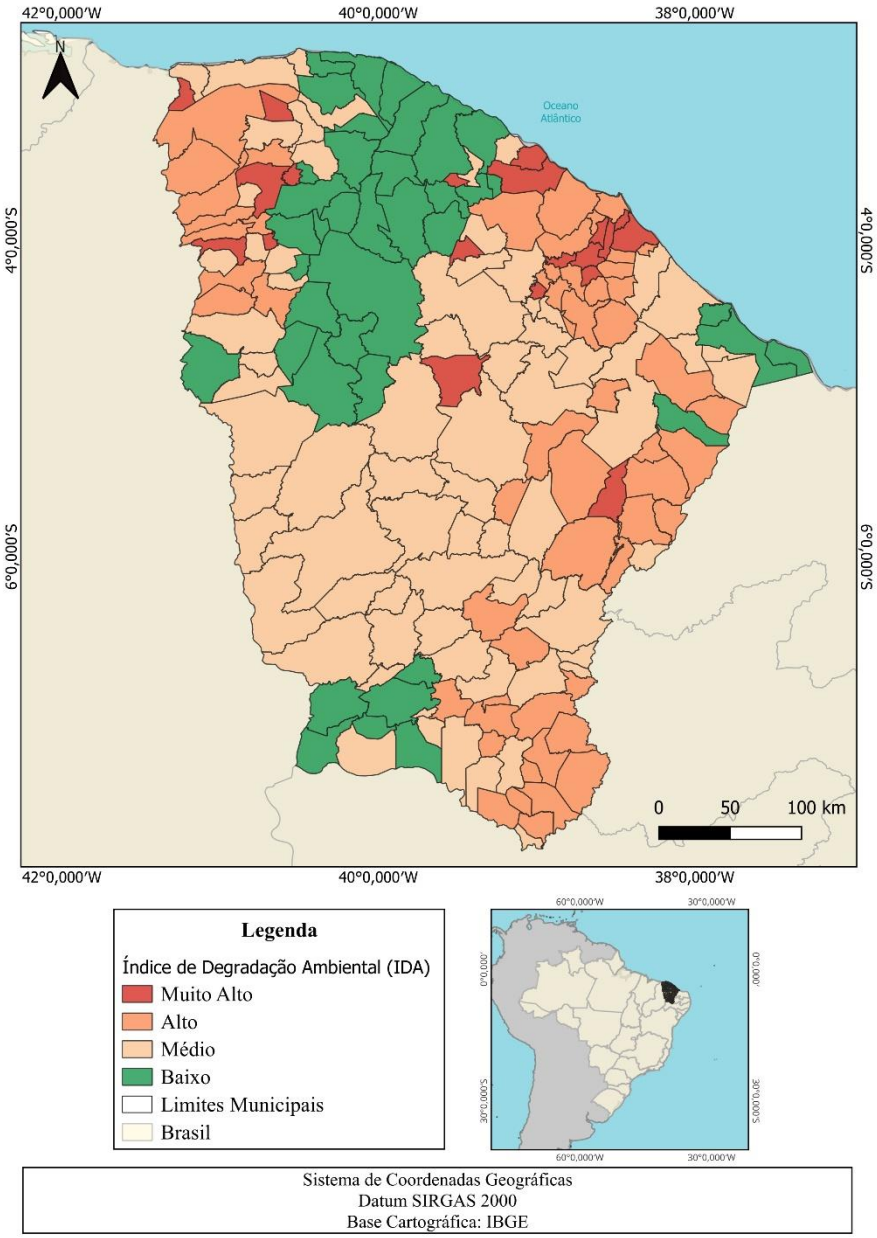
Fonte: Valores estimados a partir dos dados da pesquisa.

4.3 RESULTADOS DO ÍNDICE DE DEGRADAÇÃO AMBIENTAL

O Índice de Degradação Ambiental (IDA) é resultado dos fatores obtidos após análise fatorial aplicada neste estudo. É necessário ressaltar que, dado o número de municípios cearenses (184), optou-se em evidenciar os resultados do IDA, conforme os níveis de degradação ambiental apresentados no quadro 2, no mapa que segue. Para o conhecimento dos municípios cearenses os resultados encontram-se no Apêndice.

Os resultados apontaram que 20 municípios do Ceará (10,87%) tinham IDA Muito Alto, outros 55 municípios (29,89%) registraram IDA Alto, com nível médio de degradação foram 71 municípios (38,59%) e 38 municípios (20,65%) tinham índice de degradação baixo, conforme se estabeleceu a classificação mostrada no quadro 2.

Figura 1



Fonte: Autores.

Os resultados encontrados sugerem, como esperado, tendo em vistas as variáveis que foram selecionadas para estudar degradação, que os municípios com os IDA classificados como altos e muito altos, são os que apresentam elevadas densidades populacionais e, por essa razão apresentam baixos percentuais de cobertura vegetal e valores das produções animais e vegetais. Por serem mais densos em populações, também o são em quantidades de veículos que contribuem para as emissões de GEE.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos pela modelagem de análise de decomposição em componentes principais, aplicado às variáveis selecionadas neste estudo, permitiram mensurar o Índice de Degradação Ambiental (IDA) para os municípios cearenses. A média estimada para o IDA = 0,88 é considerada

muito alta, tendo em vistas que o valor máximo do índice é 1,00. Também foi possível quantificar as municipalidades numa classificação do IDA, onde foi destaque o "IDA Médio" por agregar o maior número de municípios (71) do Estado.

Verificou-se, de acordo com a da Análise de decomposição em componentes principais (DCP) com rotação *Varimax* e normalização de Kaiser, que os quatro construtos apontaram as seguintes variáveis impactantes na degradação ambiental: Densidade de bovinos, Valor da produção agrícola animal, Cobertura vegetal, Valor da produção agrícola vegetal, EGEE, CV das pluviometrias, Cicatriz de fogo e Áreas em recuperação.

As limitações deste estudo podem estar vinculadas a outros fatores decorrentes de fenômenos naturais ou antrópicos, não incluídos no rol das variáveis analisadas, e que podem potencializar a degradação ambiental, tais como salinização do solo, extrativismo predatório ou não controlado da flora da caatinga, o uso intensivo e inadequado de agroquímicos no intuito de elevar a produtividade da terra na produção de alimentos além do nível de instrução do produtor que, no geral, é baixo.

Assim, uma sugestão que emerge dessa pesquisa é que estudos futuros possam, não apenas ampliar o leque das possíveis variáveis impactantes nos recursos naturais promotores da degradação ambiental em nível municipal, como também, na medida do possível, obter os novos dados em coleta primária. Vale ressaltar que isso não foi possível fazer neste estudo em razão da indisponibilidade dessas informações nos documentos oficiais que foram as fontes dados da pesquisa.

Acerca de toda esta discussão, faz sentido mencionar como sugestão aos formuladores de políticas públicas agrícolas, no contexto dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável, a conscientização, a reeducação e a permanente capacitação, assente a práxis do produtor rural para se prevenir a degradação ambiental apontada neste estudo, como uma promessa para o cenário agrícola futuro. Lembrando que a organização dos produtores rurais em associações e/ou em cooperativas conforma uma boa estratégia para se contraporem a boa parte das dificuldades interpostas pela degradação ambiental.

REFERÊNCIAS

AQUINO, A. R.; PALETTA, F. C.; ALMEIDA, J. R. **Vulnerabilidade ambiental**. Editora Edgard Blücher, 2017.

BEZERRA, F. N. R. Avaliação da agricultura de baixa emissão de carbono e inteligente ao clima no Brasil. Tese de Doutorado, 2022. Universidade Federal do Ceará (UFC). Programa de Pós-Graduação em Economia Rural.

BIATO, M. F. Convenção-quadro das nações unidas sobre mudança do clima. **Revista de Informação Legislativa**, Brasília, a, v. 42, p. 233-252, 2005.

BIATO, M. F. Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima – CQNUMC. **Revista de Informação Legislativa**, Brasília ano 42, n. 166, abr./jun. 2005.

BRASILEIRO, Robson S. Alternativas de desenvolvimento sustentável no semiárido nordestino: da degradação à conservação. **Scientia Plena**, v. 5, n. 5, 2009.

CAPECHE, C. L. Impactos das queimadas na qualidade do solo - degradação ambiental e manejo e conservação do solo e água. II Encontro Científico do Parque Estadual dos Três Picos. Rio de Janeiro, 2012. p. 17 e 18.

CEARÁ. SECRETARIA DO DESENVOLVIMENTO AGRÁRIO – SDA. **Ações e contribuições do sistema de desenvolvimento agrário ao Ceará – 2015 a 2022.** Fortaleza, dez. 2022.

COSTA FILHO, J. da. Degradação do solo nos estabelecimentos rurais do nordeste brasileiro. 156f. Tese de Doutorado, 2025. Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Economia Rural, Fortaleza, 2025.

DUQUE, J.G. Solo e água no polígono das secas. Fortaleza, Banco do Nordeste, 1980. (Coleção Mossoroense).

FÁVERO, L. P. L.; BELFIORE, P. P.; SILVA, F. L.; CHAN, B. L. Análise de dados: modelagem multivariada para tomada de decisão. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

FEITOSA, M. M.; LEMOS, J. J. S. Hybrid model of artificial neural networks and principal component decomposition for predicting greenhouse gas emissions in the Brazilian region of MATOPIBA. **Global Journal of Human-Social Science: E Economics**, v. 25, n. 1, 2025a.

FEITOSA, M. M.; LEMOS, J. J. S. Fogo e transformações da paisagem nos biomas do Nordeste: uma análise com dados MapBiomas (1985–2023). In: **SEMINÁRIOS – SOCIEDADE, NATUREZA E DESENVOLVIMENTO**, 2025, Fortaleza. Anais [...]. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2025b.

HAIR JÚNIOR, J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. Análise multivariada de dados. 6ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Censo Agropecuário 2006: Segunda Apuração. Disponível em: https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2006/segunda-apuracao#agricultura-familiar. Acesso em: 10 jun. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Censo Agropecuário 2017. Disponível em: https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2017/resultados-definitivos#caracteristicas-estabelecimentos. Acesso em: 10 jun. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua Anual – 1ª visita, 2023. Disponível em: https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6739. Acesso em: 10 jun. 2025.

LEMOS, José de Jesus Sousa. Níveis de degradação no Nordeste brasileiro. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 32, n. 3, p. 406-429, 2001.

LEMOS, J.J.S.; BEZERRA, F. N. R. Interferência da instabilidade pluviométrica na previsão da produção de grãos no semiárido do Ceará, Brasil. **Brazilian Journal of Development**, 2019.

LEMOS, J. J. S. **Mapa da exclusão social no Brasil: radiografia de um país assimetricamente pobre**. 3. ed. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2012.

LESSA, L. C. R.; Lemos, J. D. J. S.; Tabosa, F. J. S.; Mendes, F. A. T.; Bezerra, F. N. R. Estabilidade da agricultura alimentar de sequeiro da Paraíba frente às instabilidades pluviométricas. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 62, n. 3, p. e274633, 2024.

MAROCO, J. Análise estatística com a utilização do SPSS. 2ª ed. Lisboa: **Edições Sílabo**, 2003.

MATOS, D. A. S.; RODRIGUES, E. C. Análise fatorial. Brasília: **Enap**, 2019.

MENDONÇA JÚNIOR, J. R.; FARIAS, J. F.; MENDONÇA, M. C. S.; MEDEIROS, J. D. Estiagem prolongada e o colapso de abastecimento hídrico em currais novos – Rio Grande do Norte. **Revista Equador**, v. 13, n. 2, p. 46-63, 2024.

MENEGUZZO, I.S.; CHAICOUSKI, A. Reflexões acerca dos conceitos de degradação ambiental, impacto ambiental e conservação da natureza. Geografia (Londrina), v. 19, n. 1, p. 181-185, 2010. https://doi.org/10.5433/2447-1747.2010v19n1p181.

MONTEIRO, V. P.; PINHEIRO, J. C. V. Critério para implantação de tecnologias de suprimentos de água potável em municípios cearenses afetados pelo alto teor de sal. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 42, n. 2, Brasília, abr./jun. 2004. p. 376.

MOURA, J. E.; CAMPOS, K. C. Uma análise multidimensional do desenvolvimento rural no MATOPIBA brasileiro. Gestão & Regionalidade, Palhoça-SC. v. 39. e 20237963. jan/dez., 2023.

PEIXOTO, R. T *et al*. Uso da terra e dos recursos naturais relacionados à dinâmica da paisagem e indicadores para subsidiar o planejamento agroambiental em áreas de Mata Atlântica. Resultados parciais preliminares da bacia do Guapi-Macacu. II Encontro Científico do Parque Estadual dos Três Picos. Rio de Janeiro, 2012. p. 8 e 12.

RIBEIRO, Elisa C. M.; SILVA, Micheliana C. Um retrato do semiárido cearense. Fortaleza: Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará – IPECE, 2010. (Texto para Discussão, n. 76). Disponível em: https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2014/02/TD_76.pdf. Acesso em: 25 maio 2025.

SARMENTO, Mayria Rufino; DE ANDRADE NETO, Claudino Anacleto. Revisão de literatura: o desmatamento e as queimadas no Bioma Caatinga. **Revista Foco**, v. 17, n. 7, p. e5399-e5399, 2024.

APÊNDICE

Índice de Degradação Ambiental (IDA) para os municípios cearenses

Município	IDA	Classificação
Abaiara	0,8933	Alto
Acarape	0,9068	Muito Alto
Acaraú	0,8550	Baixo
Acopiara	0,8706	Médio
Aiuaba	0,8664	Médio
Alcântaras		Muito Alto
Altaneira	0,8713	Médio
Alto Santo	0,8905	Alto
Amontada	0,8507	Baixo
Antonina do Norte	0,8728	Médio
Apuiarés	0,8788	Médio
Aquiraz	0,8993	Muito Alto
Aracati	0,8503	Baixo
Aracoiaba	0,8827	Alto
Ararendá	0,8745	Médio
Araripe	0,8768	Médio
Aratuba	0,8743	Médio
Arneiroz	0,8664	Médio
Assaré	0,8652	Baixo
Aurora	0,8897	Alto
Baixio	0,8725	Médio
Banabuiú	0,8873	Alto
Barbalha	0,8722	Médio
Barreira	0,8860	Alto
Barro	0,8842	Alto
Barroquinha	0,8686	Médio
Baturité	0,8909	Alto
Beberibe	0,8683	Médio
Bela Cruz	0,8558	Baixo
Boa Viagem	0,8666	Médio
Brejo Santo	0,8889	Alto
Camocim	0,8726	Médio
Campos Sales	0,8600	Baixo
Canindé	0,8689	Médio
Capistrano	0,8674	Médio
Caridade	0,8788	Médio
Cariré	0,8647	Baixo
Caririaçu	0,8845	Alto
Cariús	0,8737	Médio
Carnaubal	0,8712	Médio
Cascavel	0,8732	Médio
Catarina	0,8732	Médio
Catunda	0,8456	Baixo
Caucaia	0,8964	Alto
Cedro	0,8892	Alto
Chaval	0,8985	Muito Alto
Choró	0,8683	Médio
Chorozinho	0,8857	Alto
Coreaú	0,9000	Muito Alto
Crateús	0,8672	Médio
Crato	0,8746	Médio
Croatá	0,8876	Alto

Cruz	0,8475	Baixo
Deputado Irapuan Pinheiro	0,8760	Médio
Ereré	0,8778	Médio
Eusébio	1,0	Muito Alto
Farias Brito	0,8822	Alto
Forquilha	0,8580	Baixo
Fortaleza	0,8962	Alto
Fortim	0,8622	Baixo
Frecheirinha	0,8803	Médio
General Sampaio	1,0	Muito Alto
Graça	0,8698	Médio
Granja	0,8843	Alto
Granjeiro	0,8845	Alto
Groaíras	0,8586	Baixo
Guaiúba	0,9214	Muito Alto
Guaraciaba do Norte	0,8933	Alto
Guaramiranga	0,8872	Alto
Hidrolândia	0,8351	Baixo
Horizonte	0,8893	Alto
Ibaretama	0,8740	Médio
Ibiapina	0,8960	Alto
Ibicuitinga	0,8821	Alto
Icapuí	0,8634	Baixo
Icó	0,8668	Médio
Iguatu	0,8866	Alto
Independência	0,8726	Médio
Ipaporanga	0,8734	Médio
Ipaumirim	0,8842	Alto
Ipu	0,8841	Alto
Ipueiras	0,8718	Médio
Iracema	0,8969	Alto
Irauçuba	0,8588	Baixo
Itaiçaba	0,8796	Médio
Itaitinga	0,9107	Muito Alto
Itapajé	0,8641	Baixo
Itapipoca	0,8608	Baixo
Itapiúna	0,8774	Médio
Itarema	0,8534	Baixo
Itatira	0,8667	Médio
Jaguaretama	0,8892	Alto
Jaguaribara	0,9021	Muito Alto
Jaguaribe	0,8921	Alto
Jaguaruana	0,8742	Médio
Jardim	0,8823	Alto
Jati	0,8842	Alto
Jijoca de Jericoacoara	0,8789	Médio
Juazeiro do Norte	0,8937	Alto
Jucás	0,8783	Médio
Lavras da Mangabeira	0,8780	Médio
Limoeiro do Norte	0,8625	Baixo
Madalena	0,9534	Muito Alto
Maracanaú	0,8881	Alto
Maranguape	0,8879	Alto
Marco	0,8720	Médio
Martinópole	1,0	Muito Alto
Massapê	0,8748	Médio
Mauriti	0,8820	Alto

Meruoca	0,8648	Baixo
Milagres	0,8831	Alto
Milhã	0,8917	Alto
Miraíma	0,8285	Baixo
Missão Velha	0,8787	Médio
Mombaça	0,8718	Médio
Monsenhor Tabosa	0,8418	Baixo
Morada Nova	0,8753	Médio
Moraújo	0,8900	Alto
Morrinhos	0,8545	Baixo
Mucambo	0,8836	Alto
Mulungu	0,9354	Muito Alto
Nova Olinda	0,8713	Médio
Nova Russas	0,8633	Baixo
Novo Oriente	0,8705	Médio
Ocara	0,885	Alto
Orós	0,8771	Médio
Pacajus	0,8908	Alto
Pacatuba	1,0	Muito Alto
Pacoti	0,8916	Alto
Pacujá	0,9171	Muito Alto
Palhano	0,8697	Médio
Palmácia	0,9030	Muito Alto
Paracuru	0,9792	Muito Alto
Paraipaba	0,8683	Médio
Parambu	0,8720	Médio
Paramoti	0,8703	Médio
Pedra Branca	0,8784	Médio
Penaforte	0,8666	Médio
Pentecoste	0,8872	Alto
Pereiro	0,8876	Alto
Pindoretama	0,8876	Alto
Piquet Carneiro	0,8742	Médio
Pires Ferreira	0,8796	Médio
Poranga	0,8500	Baixo
Porteiras	0,8883	Alto
Potengi	0,8585	Baixo
Potiretama	0,8818	Alto
Quiterianópolis	0,8689	Médio
Quixadá	0,8751	Médio
Quixelô	0,8748	Médio
Quixeramobim	0,8796	Médio
Quixeré	0,8936	Alto
Redenção	0,8868	Alto
Reriutaba	0,8700	Médio
Russas	0,8846	Alto
Saboeiro	0,8756	Médio
Salitre	0,8523	Baixo
Santana do Acaraú	0,8570	Baixo
Santana do Cariri	0,8617	Baixo
Santa Quitéria	0,8563	Baixo
São Benedito	0,9034	Muito Alto
São Gonçalo do Amarante	0,9812	Muito Alto
São João do Jaguaribe	0,8833	Alto
São Luís do Curu	0,8607	Baixo
Senador Pompeu	0,8788	Médio
Senador Sá	0,8668	Médio
Sobral	0,8638	Baixo

ISSN: 2177-3246

Solonópole	0,8779	Médio
Tabuleiro do Norte	0,8846	Alto
Tamboril	0,8626	Baixo
Tarrafas	0,8550	Baixo
Tauá	0,8687	Médio
Tejuçuoca	0,8401	Baixo
Tianguá	0,8972	Alto
Trairi	0,8620	Baixo
Tururu	0,8788	Médio
Ubajara	0,8949	Alto
Umari	0,8766	Médio
Umirim	0,8532	Baixo
Uruburetama	0,9149	Muito Alto
Uruoca	0,8740	Médio
Varjota	0,8609	Baixo
Várzea Alegre	0,8731	Médio
Viçosa do Ceará	0,8842	Alto

Fonte: Autores.