

DEGRADAÇÃO AMBIENTAL AGROPECUÁRIA NO BIOMA CAATINGA

Agricultural environmental degradation within caatinga biome

Samuel Alex Coelho Campos

Bacharel em Gestão do Agronegócio. M.S. em Economia Aplicada. D.S. em Economia Aplicada. Professor Adjunto na Universidade Federal de Integração Latino Americana, Instituto Latino Americano de Economia, Sociedade e Política.
E-mail: s.alex.coelho@gmail.com.

Marcelo Dias Paes Ferreira

Bacharel em Gestão do Agronegócio. M.S. em Economia Aplicada. D.S. em Economia Aplicada. Professor Adjunto na Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia. E-mail: marcelo.ferreira@ufg.br.

Alexandre Bragança Coelho

Bacharel em Economia. M.S. em Economia. D.S. em Economia Aplicada. Professor Associado na Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Economia Rural. E-mail: acoelho@ufv.br.

João Eustáquio de Lima

Engenheiro Agrônomo. M.S. em Economia Rural. Ph.D. em Economia Rural. Pós-Doctor Métodos Quantitativos. Professor Titular na Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Economia Rural. E-mail: jelima@ufv.br.

Resumo: O presente trabalho analisou a evolução da degradação proveniente da agropecuária entre 1995/96 e 2006 para as microrregiões do bioma Caatinga. Utilizou-se a análise fatorial para a construção do Índice Geral de Degradação – IGD e a análise de *clusters* para agrupar aquelas microrregiões com evolução semelhante quanto à degradação. Os resultados indicaram que houve uma redução geral da degradação ambiental proveniente da agropecuária. As regiões que obtiveram maior sucesso em reduzir a degradação foram aquelas que tiveram uma redução da área destinada à agropecuária com redução no uso de defensivos agropecuários e irrigação. Entretanto, aproximadamente 10% das microrregiões apresentaram aumento da degradação, das quais 80% estão localizadas no estado do Ceará. Os principais fatores associados ao aumento da degradação foram o aumento no número de máquinas e implementos agrícolas, o crescimento da área destinada à agropecuária e a consequente redução da área ocupada com matas e florestas nos estabelecimentos agropecuários. Por fim, destaca-se a necessidade de ações que incentivem os produtores a adotar práticas de manejo e conservação do solo, sendo necessário o apoio governamental, fornecendo assistência técnica e treinamento.

Palavras-chave: Degradação Ambiental; Caatinga; Agropecuária; Análise Fatorial.

Abstract: This paper analyses the agricultural degradation between 1995/96 and 2006 over micro-regions within the caatinga biome. We used factor analysis to construct the General Degradation Index - IGD and cluster analysis to classify micro-regions with similar degradation. Results indicate an overall reduction of environmental degradation over time. Regions with great degradation reduction also have reduced the area devoted to agriculture, use of pesticide and irrigation. However approximately 10% of the micro-regions have increased degradation over time, most of them (80%) are located in the state of Ceará. The main factors associated with increased degradation were the increase in the number of agricultural machinery, the agricultural land expansion, and the forest reduction within farms. There is a need for actions that encourage farmers to adopt management practices and soil conservation and government support in providing technical assistance and training.

Key words: Environmental Degradation; Caatinga; Agriculture; Factor Analysis.

1 Introdução

A produção agropecuária pode resultar em degradação dos ecossistemas, contaminação de alimentos, solos e água, elevação do custo de captação da água para abastecimento humano e aumento das emissões de gases do efeito estufa por meio do desmatamento (MARQUES, 1998; HOGAN, 2001; FERNANDES; CUNHA; SILVA, 2005; RODRIGUES, 2005; LIMA; PESSOA; LIGO, 2006; DANTAS; MONTEIRO, 2010; FOLEY et al., 2005). Esses efeitos são tanto maiores quanto mais intensiva for a produção. A produção agropecuária intensiva eleva a erosão do solo e a produção de sedimentos, levando nutrientes, defensivos agrícolas e outros poluentes para o lençol freático e corpos de água (FOLEY et al., 2005).

Essa relação entre degradação e intensidade de produção agropecuária pode ser observada em diversas atividades. A produção de leite intensiva, por exemplo, implica a produção de dejetos e urina em grandes quantidades, bem como emissões de CO₂ (DI; CAMERON, 2000, 2002), sendo que quanto maior o número de bovinos por área, maior o impacto ambiental em virtude da maior concentração dos poluentes. Essa poluição poderia comprometer a produção de peixes e elevar o custo de captação da água (VITOUSEK et al., 2009). Sistemas de produção intensivos com uso de irrigação também têm resultado em compactação do solo, posterior erosão e queda de produtividade (VIANA et al., 2006) e salinização do solo (BRASIL. MMA, 2002). Ademais, altas taxas de lotação (cabeças/área) nas pastagens contribuem para a degradação das pastagens e do solo, via redução da vegetação, compactação e menor taxa de infiltração da água e modificações no ciclo dos nutrientes (SILVA et al., 2014). A monocultura reduz a diversidade, degrada as características físicas, químicas e biológicas do solo e aumenta a propensão do ataque de pragas e doenças tornando necessário, assim, a maior aplicação de fertilizantes e defensivos agropecuários (STRUIK; BONCIARELLI, 1997; SIPILÄINEN; HUHTAL, 2013).

Essa degradação ambiental advinda da atividade agropecuária pode ser potencializada pelas características do meio ambiente no qual a atividade produtiva está sendo praticada. Nesse sentido, dentre os biomas brasileiros, a condição de aridez

da caatinga¹ torna o equilíbrio ecológico frágil e eleva susceptibilidade à degradação ambiental e desertificação decorrente da atividade agropecuária intensiva (KILL et al, 2007; COSTA et al., 2009), principalmente pelo solo da região apresentar baixa capacidade de regeneração (SOUZA et al., 2012), que somado à compactação e erosão do solo, pastejo contínuo e redução da cobertura vegetal, tem contribuído para o avanço da desertificação na região.

Há diversas estimativas quanto à área da caatinga alterada pela atividade humana, que variam de 30% (ARAÚJO et al., 2005), de 30,38 a 51,68% (CASTELLETTI et al., 2003) e 68% (BRASIL. MMA, 2002). A atividade agropecuária se destaca como fator impulsionador dessa modificação (ARAÚJO et al., 2005), uma vez que 27,47% da caatinga era ocupada pela agropecuária em 1993 (CASTELLETTI et al., 2003). A área com pastagens degradadas nos estabelecimentos agropecuários do semiárido brasileiro em 2006 foi de 1.596.929 ha, 12,8% da área total de pastagens, sendo ainda que 279.217 ha. estavam erodidos, desertificados, salinizados ou apresentavam outros problemas (IBGE, 2014a).

Essas transformações apresentam ameaças para o bioma, na forma de perda de biodiversidade e desestabilização do ecossistema e desertificação (CASTELLETTI et al., 2003). A caatinga é um dos biomas mais ameaçados e alterados pelo homem. No ano de 2008 46 espécies da flora ameaçados de extinção estavam inseridas nesse bioma (IBGE, 2014b). O desmatamento e as queimadas figuram como principais agentes de degradação nesse ambiental, aumentando evaporação da água e o processo de desertificação (BRASIL. MMA, 2002). Também se destacam a retirada da vegetação ciliar e a poluição dos cursos d'água pela atividade produtiva, com agrotóxicos, bem como o manejo inadequado do rebanho e a retirada de lenha dentre as ações antrópicas sobre a caatinga (COSTA et al., 2009).

Todavia, os produtores agropecuários podem adotar diversos procedimentos que permitam a conservação, preservação e, ou recuperação de áreas degradadas. A manutenção das matas ciliares permitem reduzir a quantidade de sedimentos

¹ O domínio da caatinga cobre uma área de 734.478 km², estendendo pelos estados de Alagoas, Bahia, Ceará, Maranhão, norte de Minas Gerais, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe (BRASIL. MMA, 2002).

levados pelas chuvas para os corpos de água, reduzindo o assoreamento e a poluição por insumos agrícolas (MACHADO; VETTORAZZI; XAVIER, 2003). A utilização de tecnologias de integração lavoura-pecuária permite a manutenção e recuperação da qualidade do solo, destacando-se também o uso de terraços (VIANA et al., 2006) e plantio direto na redução da erosão hídrica pluvial (BERTOL et al., 2007). Também pode ser citada a rotação de culturas, que melhora a fertilidade do solo e suas características físicas, controla plantas daninhas e reduz a incidência de pragas e doenças (STRUICK; BONCIARELLI, 1997).

No Brasil, a análise da degradação ambiental proveniente da produção agropecuária tem recebido atenção crescente. Como metodologias têm sido utilizadas a análise multivariada (LEMOS, 2001; SILVA; RIBEIRO, 2004; FERNANDES; CUNHA; SILVA, 2005; CUNHA et al., 2008; PINTO; CORONEL, 2014) e o custo de reposição (DANTAS; MONTEIRO, 2010). Utilizando o Método do Custo de Reposição, Dantas e Monteiro (2010), determinaram e analisaram o custo econômico da degradação do solo piauiense originado da erosão do solo resultante da produção de soja, sendo que o sistema de plantio direto seria uma alternativa ao plantio convencional para o controle da erosão, apresentando um menor custo de reposição.

Por meio da análise multivariada, Lemos (2001) hierarquizou a degradação ambiental dos municípios no Nordeste; Silva e Ribeiro (2004) determinaram a degradação para os municípios acreanos; Fernandes, Cunha e Silva (2005) mediram a degradação ambiental para o estado de Minas Gerais; Cunha et al. (2008) realizaram um estudo sobre o nível de degradação do Cerrado; e Pinto e Coronel (2014) analisaram a degradação dos municípios e mesorregiões do estado do Rio Grande do Sul.

Entretanto, apesar dessas abordagens, são poucos os trabalhos que tratam do bioma caatinga e da degradação proveniente da agropecuária de forma ampla, buscando quantificar a relação entre a produção agropecuária e degradação da caatinga. Um dos poucos estudos que tratam do tema é Sampaio, Araújo e Sampaio (2005), que abordaram a desertificação no Nordeste do País por meio de uma revisão de literatura. Esses autores apresentam as causas da degradação da

caatinga, bem como resultados de diversos estudos experimentais que simulam a degradação advinda da atividade agropecuária sobre certos cenários. Assim, os estudos apresentados, de forma geral, não quantificam a deterioração advinda da produção agropecuária na Caatinga. Desta forma, esse estudo contribui para a literatura sobre o tema ao analisar os fatores associados à produção agropecuária e sua contribuição para a degradação nesse bioma. Ademais, esse estudo contribui para o maior entendimento da degradação da Caatinga associada à produção agropecuária ao analisar a evolução dessa degradação no bioma, permitindo avaliar sua tendência por microrregiões e por estados e destacar aqueles estados ou microrregiões que necessitam de maior atenção para o controle da deterioração da qualidade ambiental. Essa última característica deste trabalho também é uma inovação metodológica em relação aos trabalhos que medem a degradação advinda da agropecuária. Tais trabalhos focam na degradação em um único período de tempo, evidenciando uma distribuição espacial de tal fenômeno. A abordagem proposta neste trabalho vai além por considerar a evolução da degradação ao longo do tempo por meio da análise para dois períodos.

Dessa forma, o objetivo desse estudo foi analisar a contribuição da atividade agropecuária na degradação ambiental no bioma Caatinga e sua evolução no período de 1995/1996 a 2006. Além dessa seção introdutória, compõem este trabalho a seção de metodologia, na qual são apresentados os métodos de análise fatorial e de análise de cluster; os resultados e discussão e, a seguir, as conclusões do artigo.

2 Metodologia

A degradação ambiental advinda da produção agropecuária foi considerada como associada à intensidade da produção agropecuária no bioma Caatinga, conforme abordagem utilizada por Cunha et al. (2008), e também às práticas de manejo do solo. O termo degradação ambiental empregado, tal como Cunha et al. (2008), considerou como agressão ou dano ao meio ambiente a pressão agropecuária sobre os recursos naturais via excesso de desmatamento, uso intensivo de máquinas e equipamentos como responsáveis pela compactação e erosão do solo, uso intensivo e excessivo de

adubos químicos, assoreamento dos rios, contaminação da água superficial e subterrânea e a perda de biodiversidade. Assim, a intensidade da atividade agropecuária, e os efeitos prejudiciais associados sobre o meio ambiente, foram utilizadas como *proxy* para degradação

Foram consideradas na análise apenas aquelas microrregiões inseridas totalmente na Caatinga, não sendo consideradas, portanto, microrregiões nas quais ocorrem outros biomas além da Caatinga. A inclusão de microrregiões parcialmente inseridas na Caatinga adicionaria características associadas a outros biomas na análise. Esse procedimento é justificado pelo conceito de núcleo do bioma, adaptado de Cunha et al. (2008). Dadas essas considerações, o estudo contou com 93 microrregiões em 8 unidades da federação (Piauí, Ceará, Sergipe, Pernambuco, Alagoas, Bahia, Paraíba e Rio Grande do Norte).

Para o cálculo do índice de degradação ambiental proveniente da agropecuária foi utilizada a análise fatorial empilhando os dados para os dois períodos de análise. Essa técnica permitiu resumir o número de variáveis associadas à degradação aos escores fatoriais, simplificando a análise. Posteriormente, o Índice Geral de Degradação (IGD) foi calculado utilizando o procedimento proposto por Lemos (2001). Por fim, as microrregiões foram agrupadas quanto à atividade agropecuária por meio da análise de cluster e a trajetória de cada grupo foi analisada considerando o IGD. Esses procedimentos estão descritos nas próximas subseções.

2.1 Análise fatorial

Por meio da Análise Fatorial, a variabilidade original do vetor aleatório X foi resumida em um número m variáveis aleatórias, sumarizando as informações das variáveis originais (MINGOTI, 2007).

O número “ j ” de fatores a serem extraídos foi determinado considerando apenas aquelas raízes características maiores que 1. Posteriormente, os escores fatoriais “ f_j ” foram calculados pela combinação linear das variáveis observáveis x_i para o número de fatores extraídos:

$$f_j = d_{j1}x_1 + d_{j2}x_2 + \dots + d_{ji}x_i \quad (1)$$

em que d_{mi} são os coeficientes dos escores fatoriais e x_i as variáveis originais observadas, com média zero e desvio padrão igual a um.

As observações foram empilhadas na forma de

um painel para a estimação do modelo e dos escores fatoriais. Desta forma, a matriz de dados foi formada por 186 linhas e 11 colunas, sendo as 93^a primeiras linhas referentes aos dados do período de 1995/96 e as posteriores referentes ao período de 2006. Tal empilhamento é comumente utilizado na literatura (HOFFMANN, 1992; MEYER, 1997; KAGEYAMA; LEONE, 2002) e permite comparar diretamente os escores fatoriais entre os períodos analisados.

2.2 Índice de degradação ambiental

Para a estimação da degradação ambiental agropecuária nas microrregiões da Caatinga foi utilizado o Índice Geral de Degradação Ambiental, proposto inicialmente por Lemos (2001) e modificado por Cunha et al. (2008). O índice foi calculado utilizando os escores fatoriais obtidos da análise fatorial, como retratado pela equação (2):

$$IGD_i = \sum_{j=1}^p \frac{\lambda_j}{\sum \lambda_j} f_{ji}^* \quad (2)$$

em que IGD_i é o índice para i -ésima microrregião, λ_j é a j -ésima raiz característica, p é o número de fatores extraídos na análise, f_{ji}^* é o j -ésimo escore fatorial da i -ésima microrregião e $\sum \lambda_j$ é o somatório das raízes características referentes aos p fatores extraídos.

Para que valores dos escores fatoriais (f_{ji}) sejam iguais ou maiores do que 0, antes da construção do IGD, foi adotando o procedimento matemático, também utilizado por Lemos (2001), Fernandes, Cunha e Silva (2005) e Cunha et al. (2008):

$$f_{ji}^* = \frac{f_{ji} - f_j^{\min}}{f_j^{\max} - f_j^{\min}} \quad (3)$$

em que f_j^{\min} é o menor escore observado para o j -ésimo fator e f_j^{\max} é o maior escore observado para o j -ésimo fator. Assim, quanto mais próximo de zero, menor a pressão ou contribuição da agropecuária para a degradação da Caatinga.

2.3 Análise de cluster

Buscando classificar as microrregiões quanto ao padrão de evolução da degradação, foi empregada a análise de agrupamentos ou *cluster*. Assim, foram utilizadas como variáveis para a formação dos grupos a variação dos escores fatoriais para cada m -ésima microrregião:

$$\Delta f_{jm} = f_{jm}^{2006} - f_{jm}^{1995/96}$$

em que Δf_{jm} é a variação do j-ésimo escore fatorial da m-ésima microrregião e f_{jm}^{2006} e $f_{jm}^{1995/96}$ são os j-ésimos escores fatoriais da m-ésima microrregião para os períodos de 2006 e 1995/1996, respectivamente. Foram utilizados os escores fatoriais obtidos pela análise fatorial como variáveis para o agrupamento das regiões em grupos homogêneos pois, segundo Hair et al. (2005), a análise de *clusters* necessita que as variáveis utilizadas não apresentem multicolinearidade, o que é garantido, por construção, pelos escores fatoriais.

A análise de *clusters* permite que sejam construídos grupos de microrregiões com trajetórias de degradação semelhante. Utilizou-se o método de dois estágios proposto por Punj e Steward (1983) para a classificação dos *clusters*. Este método é considerado o mais adequado pelo fato de que a primeira etapa determina o número de *clusters*, informação necessária à segunda etapa, que utiliza métodos não hierárquicos (TOYOSHIMA; SANTOS; FORTUNATO, 2005). A primeira etapa consiste em aplicar o método de variância mínima de Wald, que, utilizando o critério de parada pseudo F de Calinski Harabasz (1974), fornecerá o número de grupos, informação que posteriormente será utilizado no método de média k.

O método de Wald fundamenta-se em dois princípios (MINGOTI, 2007): (i) inicialmente, cada elemento é considerado como um único conglomerado; (ii) em cada passo do algoritmo de agrupamento, combinam-se dois conglomerados por vez que minimizam a distância, sendo que dois conglomerados quando unidos não podem mais ser separados. A distância entre dois conglomerados C_1 e C_2 é definida:

$$d(C_1, C_2) = \left(\frac{n_1 n_2}{n_1 + n_2} \right) (\bar{X}_1 - \bar{X}_2)^T (\bar{X}_1 - \bar{X}_2) \quad (4)$$

O método de k-média consiste em alocar àquele *cluster* cuja centróide (vetor de médias amostrais) é o mais próximo do vetor de valores observados para o respectivo elemento. O método é formado por quatro passos: (i) escolhe-se k-centróides a serem utilizados no início de partição; (ii) cada elemento é comparado com cada centróide quanto à distância; (iii) cada elemento é alocado àquele grupo cuja distância é a menor, aplicando para cada n elementos; (iv) recalculam-se os valores dos centróides para cada novo grupo, repetindo o segundo e terceiros passos até que nenhuma rea-

locação seja possível (MINGOTI, 2007).

2.4 Variáveis e tratamento dos dados

Os dados utilizados no estudo foram obtidos dos Censos Agropecuários referentes aos períodos de 1995/1996 e 2006 para as microrregiões inseridas totalmente na Caatinga, compreendendo 93 microrregiões. Estas variáveis são descritas em relação à área total dos estabelecimentos em hectares (AE) ou número dos estabelecimentos (NE), uma vez que se objetivou analisar a intensidade do uso das tecnologias e exploração agropecuária.

A escolha das variáveis buscou captar a intensidade da produção agropecuária e de seus processos de produção que elevassem a degradação (proveniente da agropecuária). Nesse sentido, máquinas agrícolas, defensivos, energia elétrica, combustíveis, efetivo bovino e irrigação foram consideradas como relacionadas ao aumento da degradação via erosão do solo, compactação, salinização do solo, contaminação dos cursos de água e outros pontos tratados na introdução desse trabalho.

Para facilitar a interpretação dos fatores, as variáveis foram geradas de forma que seu aumento poderia ser associado à maior degradação. Por exemplo, uma maior diversidade de culturas agrícolas pode ser associada a uma menor degradação ambiental, assim, o índice de diversidade² foi multiplicado de forma que os maiores valores passassem a representar menores e, portanto, microrregiões com menor diversidade apresentasse o maior

2 Índice de Diversidade de Shannon-Weiner (SHDI) foi calculado por meio de $SHDI = -\sum [P_i * (\ln P_i)]$ com $i = 1, 2, \dots, J$, em que J é o número de atividades agropecuárias, P_i é a proporção da área do estabelecimento agropecuário que uma determinada cultura j ocupa e \ln é o logaritmo natural. SHDI assume valor 0 quando a área é ocupada por apenas uma atividade agropecuária e valor máximo quando todas as atividades ocupam mesma proporção da área. Para maiores detalhes, consultar Sipiläinen e Huhtala (2013) e Armsworth, Kendall e Davis (2004). As atividades agropecuárias consideradas foram as culturas permanentes (abacate, algodão arbóreo (em caroço), banana (cacho), cacau (em amêndoa), café (em grão) total, castanha de caju, coco-da-baía, goiaba, laranja, limão, mamão, manga, maracujá, melão, palmito, pimentado-reino, sisal ou agave (fibra), tangerina, urucum (semente) e uva), temporárias (abacaxi, algodão herbáceo (em caroço), alho, amendoim (em casca), arroz (em casca), batata-doce, batata-inglesa, cana-de-açúcar, cebola, fava (em grão), feijão (em grão), fumo (em folha), mamona (baga), mandioca, melancia, melão, milho (em grão), soja (em grão), sorgo (em grão) e tomate), pastagens naturais e pastagens plantadas. Essas culturas ocuparam alguma área em pelo menos uma microrregião. Como foram consideradas 68 culturas no cálculo do SHDI, esse pode assumir o valor máximo de 6,05.

valor e assim, o índice pudesse ser interpretado como o grau de monocultura da produção agrícola.

Foram utilizadas as seguintes variáveis nesse estudo³: **Temporárias**: Área total utilizada com culturas temporárias, em hectares/AE; **Pastagens**: Área total utilizada com pastagens naturais e plantadas, em hectares /AE; **Lotação**: Efetivo bovino/área com pastagens naturais e plantadas dos estabelecimentos agropecuários, em ha; **Tratores.ha**: Número de tratores/AE; **Tratores.ne**: Número de tratores/NE; **Plantio.ha**: Número de máquinas para plantio/AE; **Plantio.ne**: Número de máquinas para plantio/NE; **Colheita.ha**: Número de máquinas para colheita/AE; **Colheita.ne**: Número de máquinas para colheita/NE; **Adubos**: Valor de despesas com adubos e corretivos, em R\$/AE; **Agrotóxicos**: Valor de despesas com agrotóxicos, em R\$/AE; **Combustíveis**: Valor de despesas com combustíveis e lubrificantes, em R\$/AE; **Energia elétrica**: Valor de despesas com energia elétrica consumida, em R\$/AE; **Irrigação**: Área irrigada, em hectares/AE; **Monocultura**: Índice representando o grau de monocultura, obtido por meio do negativo do índice de diversidade de Shannon; **Agropecuária**: Proporção da área utilizada pela produção agropecuária, obtida por meio de 1 - (área ocupada com matas naturais e artificiais/AE); **Solo**: Proporção dos estabelecimentos que não utilizam nenhuma prática de controle da erosão do solo; **Pr.Vegetal**: Proporção dos estabelecimentos que controlam pragas e doenças vegetais; **Pr.Animal**: Proporção dos estabelecimentos que controlam pragas e doenças animais.

Os valores monetários dispendidos pelos agricultores em adubos e corretivos, combustíveis e lubrificantes, agrotóxicos e energia elétrica foram transformados para valores reais de dezembro de 2006 utilizando o índice de preços pagos pelos agricultores para os respectivos estados analisados⁴ (FVG, 1996; 2007).

3 As variáveis utilizadas nesse estudo foram limitadas por aquelas disponíveis no Censo Agropecuário de 1995/96.

4 Para os estados de Sergipe e Alagoas foram utilizados os índices de preços pagos pelos produtores dos estados da Bahia e Pernambuco, respectivamente, dado a indisponibilidade desse índice para esses estados. Os índices utilizados são aqueles dos estados vizinhos em que o índice de preços está disponível.

3 Resultados e discussão

3.1 Interpretação dos fatores

Por meio da análise fatorial, operacionalizada pelo método dos componentes principais, foram extraídos os seis primeiros fatores (Tabela 1), que explicam conjuntamente, aproximadamente 83% da variância total.

A análise fatorial pressupõe que as variáveis sejam correlacionadas entre si e tal correlação pode ser avaliada por meio do teste de esfericidade de Bartlett com distribuição qui-quadrado. O valor para a estatística foi de $\chi^2 = 3.564,35$ com 171 graus de liberdade, indicando que a correlação entre as variáveis é significativa ao nível de significância de 1%. A adequabilidade dos dados foi analisada por meio do critério de Kaiser-Meyer-Olkin. O valor estimado foi de 0,617, que indica a adequação da amostra ao método, segundo Hair et al. (1995).

Tabela 1 – Fatores extraídos pelo método dos componentes principais, microrregiões da Caatinga, 1995/96 e 2006

Fator	Raízes características	Variância explicada (%)	Variância acumulada (%)
F1	5,14	27,06%	27,06%
F2	3,60	18,97%	46,03%
F3	2,27	11,95%	57,98%
F4	1,89	9,97%	67,95%
F5	1,52	8,00%	75,95%
F6	1,16	6,09%	82,04%

Fonte: Dados da Pesquisa.

Os fatores foram então rotacionados pelo método Varimax como estratégia para facilitar e simplificar a interpretação dos fatores. As informações contidas nas variáveis foram reduzidas nos seis fatores extraídos anteriormente. Foram consideradas como variáveis de maior associação (correlação) aos fatores aquelas que apresentaram cargas fatoriais maiores que 0,50, sendo essas destacadas em negrito (Tabela 2). A comunalidade representa a capacidade dos fatores explicar a variância das variáveis originais. Por exemplo, os seis primeiros fatores explicaram 91% da variância total da variável Plantio.ha.

A degradação agropecuária proveniente do manejo do solo por máquinas e equipamentos está retratado nos fatores 1 e 5, uma vez que as variáveis para máquinas de plantio e colheita estão positivamente correlacionadas ao fator 1, enquanto os tratores estão correlacionados ao fator 5. Os fatores 1 e 5 explicaram conjuntamente 36,06% da variância comum.

A degradação do solo, potencial poluição dos cursos de água e contaminação de humanos, estão relacionados nos fatores 2 e 3 por meio das variáveis relacionadas ao uso de bioquímicos, como adubos, corretivos, agrotóxicos e medicamentos para o controle de pragas e doenças em animais, bem como o consumo de combustíveis e lubrificantes, necessários para a aplicação de agrotóxicos, adubos e corretivos utilizando tratores. Também estão relacionados ao fator 2 a potencial

degradação do solo por meio da irrigação, representada pela proporção da área irrigada e consumo de energia elétrica, enquanto o fator 3 também incorporou a proporção dos produtores agropecuários que declararam não utilizar nenhuma técnica de controle da erosão do solo pelos ventos ou pela água das chuvas.

Por fim, a degradação relacionada à intensidade da exploração ou uso da terra está retratada pelos fatores 4 e 6. O quarto fator está positivamente correlacionado com as culturas temporárias, ao número de cabeças de bovinos por área de pastagem (natural e plantada), monocultura e negativamente ao percentual da área dos estabelecimentos ocupada com pastagens. O sexto fator está positivamente correlacionado à proporção da área utilizada para a agropecuária e à proporção da área ocupada com pastagens (naturais e plantadas).

Tabela 2 – Cargas fatoriais, comunalidade e variância explicada pela análise fatorial após a rotação vari-max para as microrregiões da caatinga, 1995/96 e 2006

Variável	Cargas fatoriais						Comunalidade
	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4	Fator 5	Fator 6	
Plantio.ha	0,94	-0,01	-0,02	0,15	-0,08	0,06	0,91
Colheita.ha	0,93	-0,01	-0,03	0,15	-0,08	0,06	0,91
Platio.ne	0,88	-0,08	-0,21	-0,08	0,19	-0,01	0,86
Colheita.ne	0,88	-0,07	-0,18	-0,08	0,13	-0,01	0,83
Adubos	-0,05	0,95	0,04	0,06	0,09	-0,06	0,92
Agrotóxicos	-0,05	0,93	0,07	-0,01	0,06	-0,07	0,88
Energia elétrica	-0,04	0,82	0,33	0,08	0,16	-0,13	0,84
Combustíveis	-0,10	0,64	0,57	0,12	0,11	-0,15	0,79
Irrigação	0,26	0,49	0,38	-0,10	-0,10	-0,16	0,50
Solo	-0,21	0,16	0,87	0,09	0,08	-0,06	0,85
Pr.Vegetal	-0,10	0,15	0,85	-0,25	-0,11	0,00	0,83
Pr.Animal	0,12	-0,14	-0,83	-0,29	0,01	0,10	0,81
Monocultura	0,01	0,08	-0,09	0,86	0,02	-0,09	0,77
Temporárias	0,13	-0,08	0,15	0,76	0,07	0,30	0,71
Lotação	0,10	0,15	0,17	0,68	0,01	-0,15	0,55
Tratores.ne	0,03	0,21	0,03	-0,18	0,91	-0,10	0,92
Tratores.ha	0,05	0,05	-0,03	0,35	0,86	0,17	0,90
Agropecuária	0,14	-0,15	-0,06	0,14	0,09	0,91	0,91
Pastagens	-0,12	-0,14	-0,16	-0,56	-0,10	0,72	0,90

Fonte: Dados da Pesquisa.

Desta forma, os escores fatoriais referentes a esses seis fatores rotacionados foram calculados e utilizados no cálculo do Índice Geral de Degrada-

ção – IGD. Os valores para o IGD e sua análise são apresentados na próxima subseção.

3.2 Índice geral de degradação agropecuária da caatinga

O Índice Geral de Degradação foi calculado (Tabela 3) como forma de avaliar a pressão potencial que a atividade agropecuária exerce sobre a caatinga utilizando os escores fatoriais (rotacionados), como apresentado anteriormente pelas Equações (2) e (3).

Há uma redução na importância agropecuária para a degradação nas microrregiões analisadas ao

longo dos dois períodos, retratada pela redução do valor médio IGD em todos os estados (Tabela 3). Entretanto, destaca-se que o IGD alcançou o maior valor (0,556) em 2006 no estado da Paraíba, embora esse tenha sido o estado com também menor IGD (0,104) para aquele ano. De forma geral, a atividade agropecuária representou a maior contribuição como agente de degradação ambiental em Alagoas e Sergipe, em ambos os anos estudados, enquanto apresentou o menor impacto nos estados do Piauí e do Ceará.

Tabela 3 – Estatísticas descritivas para o IGD para as microrregiões da caatinga, 1995/96 e 2006

Estado	Média		Coeficiente de variação		Mínimo		Máximo	
	1996	2006	1996	2007	1996	2007	1996	2007
Alagoas	0,346	0,235	0,139	0,126	0,311	0,203	0,414	0,274
Bahia	0,293	0,200	0,161	0,217	0,255	0,157	0,422	0,299
Ceará	0,255	0,209	0,222	0,294	0,129	0,145	0,424	0,418
Paraíba	0,307	0,208	0,107	0,504	0,261	0,104	0,362	0,556
Pernambuco	0,285	0,182	0,135	0,227	0,230	0,135	0,346	0,262
Piauí	0,223	0,133	0,093	0,151	0,203	0,114	0,256	0,160
Rio Grande do Norte	0,281	0,188	0,126	0,199	0,239	0,133	0,358	0,273
Sergipe	0,345	0,246	-	-	0,345	0,246	0,345	0,246
Média	0,278	0,200	0,187	0,321	0,129	0,104	0,424	0,556

Fonte: Resultados da Pesquisa.

A queda do IGD pode ser atribuída à redução da área percentual ocupada com lavouras temporárias (de 19% para 16%), redução da pressão exercida pelos bovinos por área de pastagem (de 1,01 para 0,71), bem como a redução no gasto adubos, corretivos e agrotóxicos, combustíveis e lubrificantes, energia elétrica, à redução no número de produtores que declararam não utilizar nenhuma prática de conservação do solo (de 90% para 38%), redução da área irrigada e aumento da diversificação, embora que pequeno, com o índice para monocultura reduzindo de 1,25 para 1,20⁵, em média.

A redução da área ocupada com culturas temporárias ou anuais pode ser considerada como um indicador de redução da degradação, uma vez que as culturas anuais deixariam o solo mais exposto à ação erosiva das chuvas (SAMPALHO; ARAÚJO; SAMPALHO, 2005), que combinado com o baixo uso de práticas de conservação do solo (90% dos

estabelecimentos agropecuários declararam não utilizar nenhuma prática de conservação do solo em 1995/96), implica empobrecimento do solo, erosão, queda de produtividade e necessidade de utilizar fertilizantes para repor os nutrientes perdidos. Destaca-se também que, se forem aplicados fertilizantes no momento do plantio, esses podem ser carregados para os corpos de água e – contaminá-los.

Ademais, a necessidade de que o solo seja trabalhado a cada ciclo de plantio por meio da aração e gradagem, no plantio convencional, reduz a biodiversidade animal nos solos, aumenta a compactação dos solos pelo trânsito de máquinas e equipamentos, o que potencializa a erosão superficial pela diminuição da infiltração das águas e pela criação de um perfil compactado no solo. A redução da lotação dos bovinos por área de pastagem também reduz a compactação do solo, degradação das pastagens e erosão.

A redução no uso de agrotóxicos é um fator po-

5 A estatística descritiva para todas as variáveis está apresentada em anexo.

sitivo ambientalmente, uma vez que, segundo Fernandes, Cunha e Silva (2005), os agricultores não seguem as recomendações de aplicação. Ademais, a aplicação de agrotóxicos demanda diversos cuidados, como não aplicar quando houver umidade excessivamente alta ou baixa, não estar ventando, a dosagem e o momento da aplicação deve ser tal que o momento da colheita respeite o tempo mínimo necessário para que os produtos não apresentem resíduos e contaminantes. É necessário que o aplicador também tome certos cuidados para evitar ser contaminado durante a aplicação e também é necessário que o descarte das embalagens vazias (e contaminadas) dos agrotóxicos seja feito adequadamente.

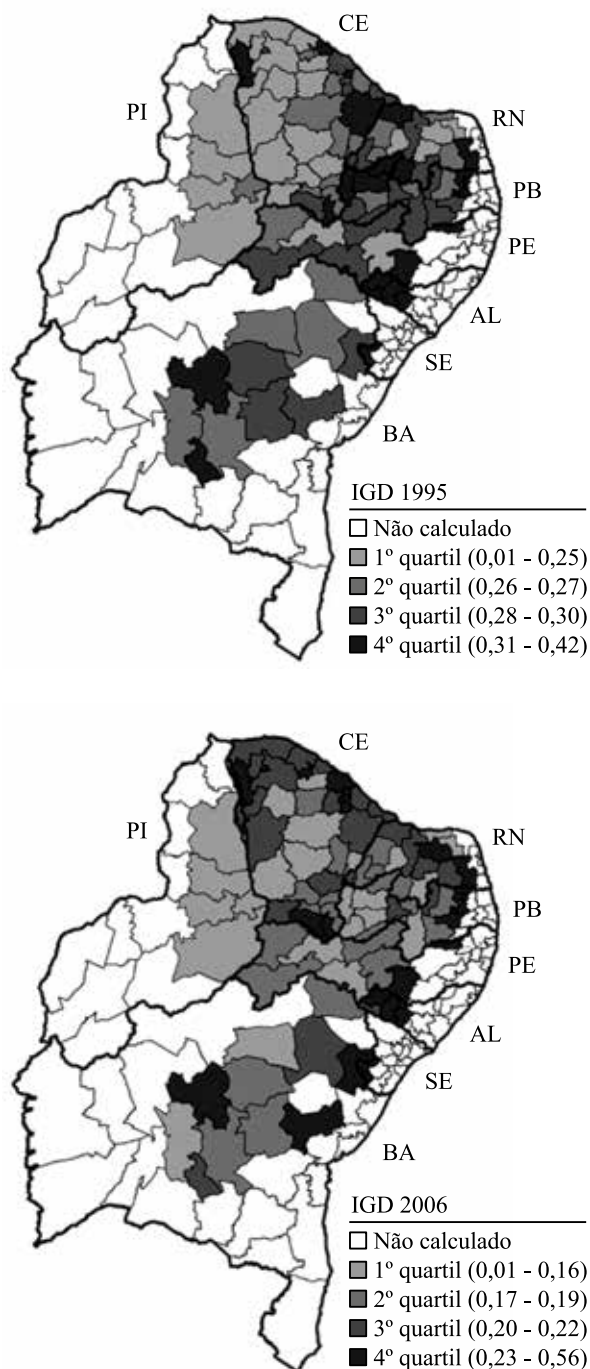
A redução da área irrigada também diminui o potencial de degradação da agricultura, uma vez que segundo Rebouças (1997) e Sampaio, Araújo e Sampaio (2005), a utilização de água com teores elevados de sais, juntamente com o manejo inadequado da irrigação e solos mal drenados pode salinizar o solo, o que comprometerá a produção agropecuária nessa área. Segundo Rebouças (1997), esse seria um problema nos perímetros irrigados do baixo Jaguaribe (CE), baixo Açu (RN) e Souza (PB). Esse mesmo autor destaca a falta de apoio e treinamentos técnicos aos produtores para a utilização de tecnologias modernas de uso do solo e irrigação. Também é importante destacar que o uso em dosagens elevadas de fertilizantes em solos mal manejados também pode salinizar o solo.

Apesar da redução absoluta média do índice de degradação, algumas microrregiões tiveram um aumento relativo do índice de degradação em relação às demais microrregiões. Alguns estados que apresentavam maior número de microrregiões no primeiro quartil (menores valores relativos para a degradação) em 1995/96 tiveram um aumento no número de microrregiões nos quartis superiores em 2006, e portanto um aumento relativo da degradação, como o Ceará (Figura 1). É importante destacar que os estratos foram definidos considerando 4 quartis para cada ano, e portanto refletem as microrregiões com menor e maior IGD em cada ano com cada classe incorporando aproximadamente 23 microrregiões.

Por outro lado, alguns estados apresentaram redução relativa (e absoluta) na degradação advinda da agropecuária. Dentre as cinco microrregiões analisadas para o estado do Piauí em 1995/96, uma estava no segundo quartil de degradação e as de-

mais no primeiro. Contudo, em 2006, além do valor médio do IGD para o Estado ter reduzido de forma absoluta (Tabela 3), a degradação relativa às outras microrregiões também se reduziu, uma vez que todas as microrregiões desse Estado ficaram no quartil mais baixo de degradação (primeiro quartil do IGD).

Figura 1 – Índice geral de degradação para 1995/96 e 2006 por microrregiões da caatinga



Fonte: Resultado da pesquisa.

Por outro lado, outros estados continuam liderando o ranque das microrregiões de maior degradação potencial advinda da atividade agropecuária, como Alagoas e Sergipe. O comportamento do IGD em ambos os estados chama a atenção uma vez que as áreas mais escuras nesses estados (quartis elevados) também são aquelas que apresentam áreas em processo de desertificação de “moderada” a “muito grave” (BRASIL. MMA, 2007). A degradação proveniente da agropecuária também merece atenção no estado do Ceará, uma vez que esse Estado apresentou, de forma geral, um aumento da degradação proveniente da agropecuária ao longo dos períodos analisados.

3.3 Trajetórias da intensidade para as microrregiões da caatinga brasileira

A trajetória das microrregiões quanto à degradação potencial advinda da atividade agropecuária foi analisada distribuindo as microrregiões em grupos homogêneos quanto à trajetória de degradação. Para tal, foi calculada a variação dos fatores rotacionados extraídos entre 2006 e 1995/96 para cada microrregião, sendo essa variação utilizada como indicador do sentido e intensidade da degradação, em seguida, as microrregiões foram agrupadas segundo essas variações por meio da análise de *cluster*.

A análise de *cluster* foi implementada como descrito anteriormente: primeiramente foi utilizado o método de variância mínima de Wald, utilizado o critério de parada pseudo F de Calinski Harabasz (1974), que indicou o agrupamento das microrregiões em quatro grupos⁶. Uma vez determinado o número de grupos a serem formados (quatro), o método de média k foi empregado para determinar quais microrregiões deveriam ser enquadradas em cada grupo homogêneo, sendo que cada grupo foi tratado como incorporando microrregiões homogêneas em relação às trajetórias de degradação da agropecuária e cada agrupamento representando divergência entre si quanto à evolução da degradação.

6 Os valores calculados para a estatística pseudo F foram 21,61 (2 grupos), 18,02 (3 grupos) 22,90 (4 grupos), 21,87 (5 grupos) e 22,37 (6 grupos). O maior valor calculado para a estatística indica o número de agrupamentos, nesse caso o maior valor foi 22,90.

A variação dos escores fatoriais e do IGD no período foram pequenas quando se considera o valor médio para toda a Caatinga (Tabela 4). Entretanto, a análise dos agrupamentos apresenta maiores diferenças, indicando que aproximadamente em 90% das microrregiões a degradação se reduziu, enquanto em aproximadamente 10% a degradação advinda da agropecuária aumentou. Ademais, a análise das regiões por agrupamentos permite determinar quais as principais características de cada agrupamento que estariam associadas à redução ou elevação da degradação.

Nesse sentido, a segunda trajetória agrupa as microrregiões que tiveram uma elevação da degradação. Esse resultado indica a importância da análise considerando as regiões similares quanto à evolução da degradação, uma vez que a análise da média não permite observar que a degradação em algumas regiões aumentou; pelo contrário, indica que essa teria reduzido em 0,08. A análise por agrupamentos destaca também que apenas duas microrregiões tiveram a maior redução da degradação, em média 0,14.

A análise das principais características de cada trajetória (ou agrupamento), considerando a variação dos escores fatoriais e a relação de cada fator às variáveis relacionadas à degradação⁷, indica que as microrregiões inseridas no primeiro agrupamento apresentaram ganhos ambientais mais equilibrados quando se comparam as demais microrregiões, uma vez que a primeira trajetória apresentou redução em todos os indicadores, exceção do primeiro fator que aumentou apenas 0,01, enquanto nas demais trajetórias de degradação há a elevação em pelo menos outro fator. A primeira trajetória pode ser caracterizada, principalmente, pela redução da contaminação e melhoria da qualidade do solo, uma vez que a redução do terceiro fator implica redução no uso de produtos químicos para controle de pragas e doenças vegetais, bem como a redução da irrigação e aumento dos produtores que utilizam técnicas de conservação do solo.

7 Como analisado anteriormente, a degradação proveniente da mecanização está retratada pelos fatores 1 e 5, a contaminação ambiental por adubos, defensivos está retratada pelos fatores 2 e 3 e a degradação pelo uso intensivo do solo está retratado pelos fatores 4 e 6.

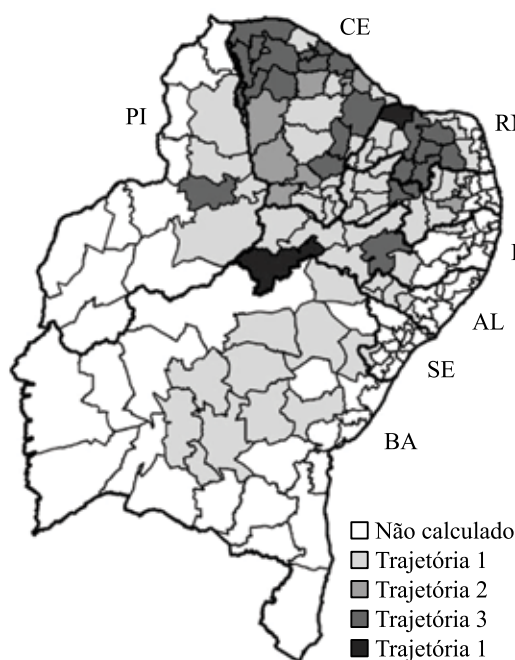
Tabela 4 – Variação média dos fatores extraídos por grupos de trajetória de degradação das microrregiões da caatinga analisadas entre 1995/96 e 2006

Trajetoórias	Nº de regiões	Δ Fator 1	Δ Fator 2	Δ Fator 3	Δ Fator 4	Δ Fator 5	Δ Fator 6	Δ IGD
1	57	0,01	0,00	-0,51	-0,04	0,00	-0,02	-0,10
2	10	0,27	-0,02	-0,07	-0,11	0,01	0,13	0,04
3	24	0,02	-0,06	-0,48	-0,04	0,05	0,28	-0,07
4	2	0,05	-0,73	0,03	-0,04	0,31	-0,28	-0,14
Média	93	0,04	-0,04	-0,44	-0,05	0,02	0,07	-0,08

Fonte: Resultados da análise

O segundo agrupamento é caracterizado pelo aumento da degradação, sendo que esse aumento pode ser atribuído ao crescimento do número de equipamentos mecânicos (fator 1 e 5) e da área utilizada pela agropecuária (fator 6). Destaca-se que oito das dez microrregiões que apresentaram essa trajetória se concentram no estado do Ceará (Figura 2). As demais microrregiões estão no estado da Paraíba. O aumento da degradação proveniente da agropecuária no estado do Ceará já havia sido indicado anteriormente, uma vez que o número de microrregiões no quarto quartil havia aumentado entre os anos de estudo (Figura 1).

Figura 2 – Trajetórias de degradação advinda da produção agropecuária, entre 1995/96 e 2006, microrregiões da caatinga



Fonte: Resultados da pesquisa.

A terceira trajetória possui comportamento semelhante à primeira, entretanto, há um aumento do uso do solo destinado à produção agropecuária. Por fim, a quarta trajetória foi aquela que compreendeu as microrregiões (Petrolina e Mossoró) como maior redução na degradação potencial advinda da atividade agropecuária. Essa queda seria resultado da redução do uso do controle de pragas e doenças e irrigação, bem como o crescimento nas práticas de controle do solo e a redução na intensidade de uso do solo.

Na análise da trajetória das microrregiões, chama a atenção que o estado da Bahia tenha apresentado todas as microrregiões analisadas apenas na primeira trajetória, ou seja, houve redução na degradação proveniente da agropecuária nesse Estado. Por outro lado, é importante observar que a maior parte das microrregiões inseridas na segunda trajetória (com aumento da degradação) e as microrregiões de terceira trajetória (aquelas que apresentaram a menor redução média do IGD) estarem localizadas em áreas com maior probabilidade de incidência de secas, entre 80 a 100% (BRASIL. MMA, 2007). Essas seriam as regiões em que a produção agropecuária seria mais ariscada e nas quais a conservação seria mais necessária como forma de reduzir as perdas da capacidade produtiva, já que a incidência de secas compromete a produção e produtividade agropecuárias.

A tendência da degradação representada pelos escores fatoriais pode ser ilustrada analisando a variação média de algumas variáveis relacionadas aos escores fatoriais (Tabela 5), como apresentado anteriormente. Assim, é possível perceber a redução expressiva no número de estabelecimentos que declararam não utilizar nenhuma técnica de conservação do solo em todas as trajetórias, bem

como os ganhos da redução da pressão ambiental mais equilibrados na trajetória 1, que apresentou, de forma geral, as maiores reduções e menores aumentos de intensidade da produção agropecuária.

O aumento na quantidade de máquinas para o plantio e colheita pelo número de estabelecimentos e a redução no número de bovinos por pastagens destacam-se na trajetória 2. Há também um aumento da diversificação das culturas plantadas nos estabelecimentos, excetuando os estabelecimentos do quarto agrupamento. Por fim, o quarto agrupamento foi aquele que apresentou a maior re-

dução no uso de produtos químicos, como adubos, maior redução da área irrigada e maior redução no número de produtores que declaram não utilizar nenhuma prática de conservação do solo.

Esses resultados indicam uma tendência de redução da degradação proveniente da agropecuária, entretanto, deve ser dada atenção para as microrregiões nas quais o IGD aumentou. O foco para a redução do IGD nessas regiões poderia ser via aumento da diversificação das atividades agropecuárias e correto manejo do solo, usando máquinas e implementos agrícolas adequadamente.

Tabela 5 – Variação média de algumas variáveis selecionadas por trajetória, microrregiões da caatinga, 1995/96 e 2006

Variáveis	Variação média por trajetória			
	Trajétória 1	Trajétória 2	Trajétória 3	Trajétória 4
Platio.ne	0,35	2,19	0,57	0,75
Colheita.ne	0,07	0,34	0,14	0,14
Adubos	-84,10	-84,20	-191,92	-2.538,68
Irrigação	-0,19	0,34	-0,57	-0,58
Solo	-54%	-24%	-58%	-61%
Monocultura	-0,03	-0,04	-0,10	0,03
Bovinos	-0,17	-0,60	-0,46	-0,25

Fonte: Resultados da Pesquisa.

Ademais, a diversificação de plantios em uma mesma área, o uso de rotação de culturas, cultivo consorciado e integração lavoura-pecuária melhorariam a qualidade do solo. Esses são pontos que devem ser trabalhados por meio da melhor transmissão do conhecimento aos produtores. Esse ponto é crítico pelo fato de apenas 10% dos produtores receberam assistência técnica na região, segundo dados do Censo Agropecuário de 2006 (IBGE, 2014a). A rotação de culturas e a produção em sistemas agrofloretais também são pouco utilizados na região, sendo praticados, em média, em 8% e 6% dos estabelecimentos agropecuários na região, respectivamente.

Embora o índice de degradação tenha se reduzido na maioria das microrregiões, esse estudo indica a necessidade do aumento da utilização, manejo e conservação do solo nos estabelecimentos agropecuários em todas as microrregiões. Ademais, destaca a necessidade de ações para a redução da degradação proveniente da agropecuária, principalmente no estado do Ceará que teve um aumento na degradação no período analisado.

4 Conclusões e considerações finais

Investigar a evolução da degradação proveniente da agropecuária em um bioma frágil como a Caatinga é de vital importância para o melhor entendimento e para o desenvolvimento de políticas para redução dessa degradação. Nesse sentido, o presente trabalho se propôs a analisar as trajetórias das microrregiões inseridas no bioma Caatinga entre os anos de 1996 e 2006. Os resultados identificaram quatro trajetórias de degradação considerando o uso de máquinas e implementos agrícolas, uso de produtos químicos agropecuários (fertilizantes, agrotóxicos, corretivos, etc), práticas de manejo e, ou conservação do solo e intensidade da produção agropecuária.

Ao longo do período de análise, há uma redução geral da degradação ambiental proveniente da agropecuária. Entretanto, essa redução não foi homogênea, uma vez que algumas regiões reduziram mais do que outras e assim, essas passaram a figurar nos estratos mais baixos da distribuição do índice de degradação. Aproximadamente

madamente 10% das microrregiões apresentaram aumento da degradação no período analisado, das quais 80% estão localizadas no estado do Ceará.

Ademais, a primeira trajetória associada a aproximadamente 60% das microrregiões apresentou um processo de redução da degradação mais homogêneo, reduzindo todos os fatores analisados associados à degradação agropecuária (exceção ao primeiro fator). As regiões que obtiveram maior sucesso em reduzir a degradação da agropecuária foram aquelas que tiveram uma redução da área destinada à agropecuária com redução no uso de defensivos agropecuários e irrigação.

Apesar da queda do índice de degradação, essa queda é pequena e muito ainda necessita ser feito na região, principalmente quando se considera o pequeno número de estabelecimentos que adotam práticas de manejo adequadas do solo.

Referências

- ARMSWORTH, P. R.; KENDALL, B. E.; DAVIS, F. W. An introduction to biodiversity concepts for environmental economists. **Resource and Energy Economics**, Amsterdam, v. 26, n. 2, p. 115 - 136, June, 2004.
- ARAÚJO, F. S. et al. Repartição da flora lenhosa no domínio da Caatinga. In: ARAÚJO, F. S.; RODAL, M. J. N.; BARBOSA, M. R. de V. (Orgs). **Análise das variações da biodiversidade do bioma caatinga**: suporte a estratégias regionais de conservação. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005. p. 15-34.
- BERTOL, O. J. et al. Perdas de solo e água e qualidade do escoamento superficial associadas à erosão entre sulcos em área cultivada sob semeadura direta e submetida às adubações mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 31 n. 4, p. 781-792, jul.-ago. 2007.
- BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Avaliação e identificação de áreas e ações prioritárias para a conservação, utilização sustentável e repartição dos benefícios da biodiversidade nos biomas brasileiros**. Brasília: MMA/SBF, 2002. 404 p.
- BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Atlas das áreas suscetíveis à desertificação no Brasil**. Brasília: MMA/Secretaria de Recursos Hídricos. 2007. 134p.
- CALINSKI, T.; HARABASZ, J. A dendrite method for cluster analysis. **Communications in Statistics**, v. 3, n. 1, p. 1-27, mar. 1974.
- CASTELLETTI, C. H. M. et al. Quanto ainda resta da Caatinga? Uma estimativa preliminar. In: LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; J. M. C. da (Eds.). **Ecologia e conservação da caatinga**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2003. p. 719-734.
- COSTA, T. C. C. et al. Análise da degradação da caatinga no núcleo de desertificação do Seridó (RN/PB). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 13, Suplemento, p. 961-974, 2009.
- CUNHA, N. R. S. et al. A Intensidade da exploração agropecuária como indicador da degradação ambiental na região dos Cerrados, Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Rio de Janeiro, v. 46, n. 2, p. 291-323, abr.-jun. 2008.
- DANTAS, K. P.; MONTEIRO, M. S. L. Valoração econômica dos efeitos internos da erosão: impactos da produção de soja no cerrado piauiense. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v. 48 n. 4, p. 619-633, out.-dez. 2010.
- DI, H. J.; CAMERON, K. C. Calculating nitrogen leaching losses and critical nitrogen application rates in dairy pasture systems using a semi-empirical model. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, Wellington, v. 43, n. 1, p. 139-147, jan.-mar. 2000.
- DI, H. J.; CAMERON, K. C. Nitrate leaching in temperate agroecosystems: sources, factors and mitigating strategies. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 64, n. 3, p. 237-256, nov. 2002.

- FERNANDES, E. A.; CUNHA, N. R. S.; SILVA, R. G. Degradação ambiental no estado de Minas Gerais: indicadores e índices. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 43, n. 1, p. 179-198, jan.-mar. 2005.
- FOLEY, J. A et al. Global consequences of land use. **Science**, v. 309, n. 5734, p. 570-574, July, 2005.
- FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS - FVG. Índices econômicos. **Revista Conjuntura Econômica**, v. 50, n. 12, p. 58-59, dez. 1996.
- FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS - FVG. Índices econômicos. **Revista Conjuntura Econômica**, v. 61, n. 6, p. 87, jun. 2007.
- HAIR, J. F. et al. **Multivariate data analysis: with readings**. New Jersey: Prentice Hall, 1995.
- HOFFMAN, R. **A dinâmica da modernização da agricultura e a distribuição de renda em 157 microrregiões homogêneas do Brasil**. Piracicaba, SP: ESALQ/USP, 1992.
- HOGAN, D. J. Demographic dynamics and environmental change in Brazil. **Ambiente & sociedade**, v. 4, n. 9, p. 43-73, jul.-dez. 2001.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Censo Agropecuário 2006: segunda apuração**. Disponível em < <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pesquisas/ca/default.asp?z=p&o=2#3>>. Acesso em: 27 jul. 2014a.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Indicadores de desenvolvimento sustentável** - Edição 2013. Disponível em: < <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pesquisas/ids/default.asp?o=10&i=P>>. Acesso em: 21 ago. 2014b.
- KAGEYAMA, A.; LEONE, E. T. Trajetórias da modernização e emprego agrícola no Brasil, 1985-1996. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 40, n. 1, p. 9-28, jan.-mar. 2002.
- KIILL, L. H. P. et al. **ABC da Agricultura Familiar: preservação e uso da caatinga**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Petrolina: Embrapa Semiárido, 2007. 39 p.
- LEMOS, J. J. S. Indicadores de degradação no Nordeste sub-úmido e semiárido. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 34., 2001, Brasília, DF. **Anais...** Brasília, DF: SOBER, 2001. p. 1-10.
- LIMA, M. A.; PESSOA, M. C. P. Y.; LIGO, M. A. V. **Emissões de metano da pecuária**. Brasília: Embrapa Meio Ambiente, 2006, 76p.
- MACHADO, R. E.; VETTORAZZI, C. A.; XAVIER, A. C. Simulação de cenários alternativos de uso da terra em uma microbacia utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 727-733, jul.-ago. 2003.
- MARQUES, J. F. Custos da erosão do solo em razão dos seus efeitos internos e externos à área de produção agrícola. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 36, n. 1, p. 61-80, jan.-mar. 1998.
- MEYER, L. F. F. **Modernização da agricultura e desenvolvimento sustentado: o caso de Minas Gerais - 1970 a 1985**. 1997. 120f. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997.
- MINGOTI, S.A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem multivariada**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2007. 295p.
- PINTO, N. G. M.; CORONEL, D. A. Degradação ambiental do Rio Grande do Sul: uma análise dos municípios e mesorregiões. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 9, n. 1, 3-17, abr. 2014.
- PUNJ, G.; STEWART, D. W. Cluster analysis in marketing research: review and suggestions for application. **Journal of Marketing Research**, v. 20, n. 2, p. 134-148, may, 1983.

- REBOUCAS, A. C. Água na região Nordeste: desperdício e escassez. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 11, n. 29, p. 127-154, abr. 1997.
- RODRIGUES, W. Valoração econômica dos impactos ambientais de tecnologias de plantio em região de Cerrados. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Rio de Janeiro, v. 43, n. 01, p. 135-153, jan.-mar. 2005.
- SAMPAIO, E. V. S. B.; ARAÚJO, M. S. B.; SAMPAIO, Y. S. B. Impactos ambientais da agricultura no processo de desertificação no Nordeste do Brasil. **Revista de Geografia**, Recife, v. 22, n. 1, p. 90-112, jan. - abr. 2005.
- SILVA, R. G.; RIBEIRO, C. G. Análise da degradação ambiental na Amazônia ocidental: um estudo de caso dos municípios do Acre. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 42, n. 1, p. 91-110, jan.-mar. 2004.
- SILVA, F. D. et al. Soil carbon indices as affected by 10 years of integrated crop–livestock production with different pasture grazing intensities in Southern Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 190, p. 60-69, Jun. 2014.
- SIPILÄINEN, T.; HUHTAL, A. Opportunity costs of providing crop diversity in organic and conventional farming: would targeted environmental policies make economic sense? **European Review of Agricultural Economics**, v. 40, n. 3, p. 441-462, Aug. 2013.
- SOUZA, F. P. et al. Carbon and nitrogen in degraded brazilian semi-arid soils undergoing desertification. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 148, p. 11-21, Feb. 2012.
- STRUIK, P. C.; BONCIARELLI, F. Resource use at the cropping system level. **European Journal of Agronomy**, v. 7, n. 1-3, p. 133-143, sep. 1997.
- TOYOSHIMA, S.; SANTOS, A.; FORTUNATO, W. Aglomerações Produtivas e Desempenho sócio-econômico dos municípios de Minas Gerais. In: FONTES, R.; FONTES, M. **Crescimento e desigualdade regional em Minas Gerais**. Viçosa, MG: Folha de Viçosa, 2005. p. 61-84.
- VIANA, J. H. M. et al. **Manejo do solo para a cultura do milho**. Sete Lagoas, MG: Embrapa, 2006. 14 p. (Circular Técnica, 77).
- VITOUSEK, P. M. et al. Nutrient imbalances in agricultural development. **Science**, v. 324, n. 5934, p. 1519-1520, Jun. 2009.

Anexo I – Estatísticas descritivas

Tabela AI – Estatísticas descritivas das variáveis utilizadas para as microrregiões selecionadas da caatinga, 1995/96 e 2006

Variável	1995/1996		2006	
	Médias	Desvio padrão	Médias	Desvio padrão
Temporárias	0.19	0.09	0.16	0.08
Pastagens	0.35	0.14	0.45	0.15
Lotação	1.01	0.74	0.71	0.31
Tratores.ha	7.7E-04	7.5E-04	9.2E-04	8.1E-04
Tratores.ne	0.02	0.02	0.02	0.03
Plantio.ha	3.5E-04	0.00	0.04	0.14
Platio.ne	0.01	0.02	0.62	1.20
Colheita.ha	7.0E-05	1.2E-04	0.01	0.03
Colheita.ne	1.9E-03	2.7E-03	0.12	0.20
Aubos	171.82	414.22	7.10	14.82
Agrotóxicos	118.83	266.79	4.21	9.54
Combustíveis	268.40	198.82	13.30	9.46
Energia elétrica	204.26	270.36	19.94	42.33
Irrigação	0.31	0.42	0.07	0.29
Monocultura	1.25	0.37	1.20	0.42
Agropecuária	0.69	0.10	0.75	0.10
Solo	0.91	0.16	0.38	0.13
Pr.Vegetal	0.38	0.17	0.07	0.06
Pr.Animal	0.09	0.16	0.45	0.14

Fonte: Resultados da Pesquisa.