ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe

Impacto de Secas e Antropização na Dinâmica da Cobertura Florestal em Fragmento do Domínio Fitogeográfico da Caatinga

Deodato do Nascimento Aquino[1], Eunice Maia de Andrade[2], Evaldo Tavares de Souza Filho[3], Diego Antunes Campos [4]

[1] Engenheiro Agrônomo, Dr. em Engenharia Agrícola, Perito Federal Agrário, Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária – Superintendência Regional do Ceará, Av. Américo Barreira, 4700 – Bela Vista – CEP 60442-800 – Fortaleza – CE (85) 3299 1378. deoagro@hotmail.com (autor correspondente). [2] Eng. Agrônoma, PhD em Recursos Naturais Renováveis pela Universidade, Professora Titular aposentada do Departamento de Engenharia Agrícola, CCA/UFC. Universidade Federal do Ceará/ Professora visitante Sênior da UFERSA, eandrade.ufc@gmail.com. [3] Engenheiro Agrônomo, Mestre em Solos e Nutrição de Plantas, Perito Federal Agrário, Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária – Superintendência Regional do Ceará, Av. Américo Barreira, 4700 – Bela Vista – CEP 60442-800 – Fortaleza – CE (85) 3299 1378 evaldo_souza@yahoo.com.br, [4] Eng. Agrônomo, Mestre em Engenharia Agrícola. Departamento de Engenharia Agrícola, CCA/UFC. Universidade Federal do Ceará, Antunes_diego@gmail.com, Campus do Pici – Bloco 804 – CEP 60356-001 – Fortaleza – CE, Departamento de Engenharia Agrícola, CCA/UFC.

Artigo recebido em 25/06/2020 e aceito em 14/06/2021.

R E S U M O

Este trabalho objetivou avaliar a influência da antropização e de secas severas na dinâmica da cobertura florestal de um fragmento de caatinga na região semiárida do Brasil, ao longo de 32 anos. Para o cálculo do índice de seca, agrupou-se os valores de precipitação média ponderada anual da série histórica (1988 - 2019) em Decis. A partir do quantitativo de área encontrada nas classes de uso e ocupação (cobertura florestal conservada, cobertura natural campestre, área antropizada e corpos d'água) dos anos extremos secos e chuvosos, procedeu-se à análise estatística multivariada pelo método da análise de agrupamento hierárquico. Os valores médios dos agrupamentos foram submetidos à análise estatística e confrontados pelo teste T de Student ($p \leq 0,05$). Foram encontrados três grupos distintos: G1 constituído por anos secos e muito secos da década de 90, o agrupamento 2 formado por anos extremos úmidos e muito úmidos, independentemente do período, e G3 (agrupamento intermediário) constituído tanto por anos típicos secos quanto chuvosos, e especificamente de períodos mais recentes (2000 a 2019). Os grupos G2 e G3 contribuíram com as maiores quantitativo de cobertura florestal conservada, 143.176,50 e 144.928,13 ha, respectivamente. Os resultados demonstram que a precipitação pluviométrica está mais estritamente correlacionada com as áreas antropizadas do que propriamente com a regeneração natural da cobertura florestal. A vegetação arbórea-arbustiva do fragmento investigado tem passado por um processo de regeneração natural na década recente (2002 - 2019) em virtude do abandono de áreas anteriormente antropizadas na década de 90.

Drought and Anthropogenic Effect on the Dynamics of Forest Cover in a Fragment of Caatinga Phytogeographic Domain

A B S T R A C T

The aim of this study was to evaluate the influence of anthropogenic action and severe drought on the dynamics of forest cover in a fragment of caatinga in the semi-arid region of Brazil, over 32 years. To calculate the drought index, the values for weighted mean annual precipitation from an historical series (1988 - 2019) were grouped into deciles. Based on the quantification of the area found in the classes of use and occupation (conserved forest cover, natural rural cover, anthropogenic area and water bodies) for the extreme dry and rainy years, multivariate statistical analysis was carried out using hierarchical cluster analysis. The mean values of the clusters were submitted to statistical analysis and compared by Student's t-test ($p \leq 0.05$). Three distinct groups were found: G1, consisting of dry and very dry years from the 1990s; G2, formed by extreme wet and very wet years regardless of the period; and G3 (intermediate group), comprising both dry and rainy years, specifically from more recent periods (2000 to 2019). Groups G2 and G3 contributed the greatest amount of conserved forest cover, 143,176.50 and 144,928.13 ha respectively. The results show that rainfall is more closely correlated with the anthropogenic areas than with the natural regeneration of forest cover. The woody vegetation of the fragment under investigation has undergone a process of natural regeneration during the last decade (2008 - 2016), due to previously anthropogenic areas being abandoned in the 1990s.

Keywords: Caatinga, remote sensing, desertification.

Introdução

A Caatinga é uma terminologia generalista utilizada para classificar o bioma predominante do Nordeste brasileiro com 844.453 km², correspondente a 54% do território nordestino e 10% do território nacional (Brasil, 2017). O bioma abriga uma rica biodiversidade, que o caracteriza como o semiárido mais biodiverso do mundo (Brasil, 2016; Seyffarth e Rodrigues, 2017). Por ser uma região localizada em baixas latitudes e altitudes a única entrada de umidade no sistema é através da precipitação, a qual se caracteriza por uma alta variabilidade espaço-temporal. Episódios excepcionalmente secos ou úmidos são frequentemente associados a fenômenos de grande escala, como episódios de El Niño e La Niña, ou pelo intenso gradiente de temperatura meridional da superfície do mar sobre o Atlântico tropical (Marengo et al., 2018). A vulnerabilidade das regiões semiáridas às mudanças climáticas e desertificação no Brasil tem sido objeto de estudo de vários pesquisadores (Tomasella et al., 2018; Mariano et al., 2018; Dubreuil et al., 2019).

O semiárido brasileiro é a região mais seca do Brasil, onde predominam chuvas anuais com médias inferiores a 800 mm/ano, índice de aridez de Thorntwaite igual ou inferior a 0,50, e variabilidade espacial e interanual das chuvas extremamente elevada (Nascimento et al., 2020; Lucena et al., 2021; Sudene, 2021). Os eventos pluviométricos são muitas vezes intensos, ultrapassando 200 mm em um único dia. A estação chuvosa se concentra em três ou quatro meses, raramente ultrapassando cinco meses no ano, sendo que apenas entre os meses de janeiro a maio concentram-se 85% do total anual precipitado (Andrade et al., 2018; Andrade et al., 2020). Desta forma, as precipitações pluviométricas são bastante variáveis ano após ano, em quantidade, intensidade e no tempo das estações de estiagem, onde as mudanças ambientais detectadas na superfície podem ser resultado de uma alteração da precipitação (Andrade et al., 2016; Maia et al., 2018; Marengo et al., 2018; Campos e Andrade, 2021).

Apesar das incertezas dos eventos pluviométricos, trata-se do semiárido mais populoso do mundo com 27 milhões de habitantes (SUDENE, 2017), e densidade populacional de até 20 hab.km^{-2}. Desta população, aproximadamente 26,8% dos domicílios da região nordeste (IBGE, 2010) estão localizados na zona rural e apresentam alta dependência da Caatinga para sua subsistência, cuja resultante denota grande vulnerabilidade social, econômica e ambiental. Essa dependência leva à pressão crescente sobre os recursos naturais da região e, consequentemente, tornando-a extremadamente suscetível aos processos de antropização e desertificação (Perez-Marin et al., 2012; Aquino et al., 2018).

A primeira Conferência das Nações Unidas de Combate à Desertificação – UNCOD (United Nations Conference on Desertification), ocorrida em Nairóbi – Quênia, na África no ano de 1977, conceitua a desertificação com a degradação das terras em áreas áridas, semiáridas e subúmidas secas resultante de vários fatores, destacando às variações climáticas e atividades humanas, entre os principais (UNCCD, 2006). Ao longo da história, a Caatinga, vem sendo explorada de maneira não sustentável, acelerando seu processo de degradação, sucessão secundária e, consequentemente à desertificação (Silva et al., 2016; Silva et al., 2019). Apesar do reconhecimento universal da relação bidirecional entre vegetação e regime de chuvas, é preciso compreender como essa interação ocorre no bioma Caatinga e quais outros fatores ambientais e antrópicos são responsáveis pela sua heterogeneidade espacial e temporal (Silva et al., 2016).

Logo, a caracterização precisa da resposta da vegetação às condições de seca em áreas tropicais semiáridas é fundamental para entender a ligação entre mudança climática e degradação do solo (IPCC, 2014). Em sua análise das respostas dos ecossistemas aos extremos climáticos, Xia et al. (2017) e Bezerra et al. (2020) destacam a vulnerabilidade particular das áreas semiáridas às secas de longo prazo cada vez mais frequentes.

Nas últimas três décadas, observa-se um cenário de intensa alterações climáticas na região semiárida brasileira, onde de acordo com Castanho et al. (2020), entre os anos de 2008 e 2017, mais de 90% da região mudou para um espaço climático mais seco em comparação com o período de referência de 1950 a 1979. A partir de um conjunto de modelos climáticos globais (baseado no IPCC AR5) há indicações de que até o final do século XXI as fisionomias mais secas da Caatinga (vegetações espinhosas para áreas não vegetadas) poderiam expandir de 55% para 78% (RCP 2.6) ou até 87% (RCP8.5) da região. Essas mudanças corresponderiam a uma diminuição de 30% a 50% da biomassa em equilíbrio acima do solo no final do século XXI (Castanho et al., 2020).

Acredita-se que os fenômenos de secas severas potencializam o impacto antrópico na dinâmica e regeneração da cobertura florestal em fragmentos de caatinga no semiárido brasileiro. Diante o exposto, o presente trabalho objetiva avaliar a influência da antropização e de secas severas na dinâmica da cobertura florestal em um

fragmento de caatinga do semiárido brasileiro, ao longo dos últimos 32 anos.

Material e métodos

Descrição da Área de Estudo

A área do fragmento do Domínio Fitogeográfico da Caatinga (DFC) estudado corresponde ao município de Quixadá, macrorregião do Sertão Central Cearense, referente a uma área de 2.019,82 km^2 (IPECE, 2011) (Figura 1). A sede do município de Quixadá está localizada na seguinte posição: 496.302,24 m E e 9.450.940,67 m N (projeção UTM - Datum SIRGAS 2000, MC -39º).

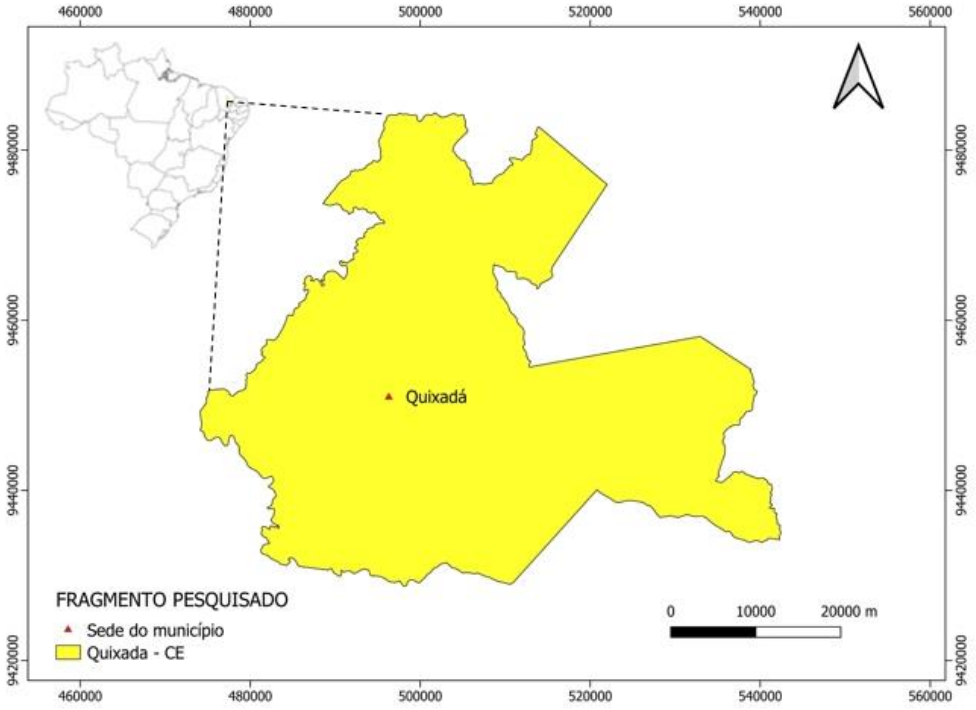


Figura 1. Localização da área do fragmento de Domínio Fitogeográfico da Caatinga (DFC) no território brasileiro.

O clima da região é caracterizado como tropical quente semiárido, com média pluviométrica anual de 715 mm.ano^{-1} (1985 - 2019), sendo o período chuvoso entre os meses de fevereiro a maio, e temperaturas médias anuais variando entre 26ºC e 28ºC (IPECE, 2011). A cobertura vegetal predominante é composta por caatinga arbustiva densa, caatinga arbustiva fechada e floresta caducifólia espinhosa, que repousam sobre diferentes classes de solos, destacando-se os Luvissolos, Neossolos Litólicos, Planossolos, Argissolos e Neossolos Regolíticos (Santos et al., 2018). A depressão sertaneja e os maciços residuais são as principais feições que ocorrem no relevo local (IPECE, 2011).

O município de Quixadá, caracteriza-se por um aumento da população entre os anos de 2010 a 2019, ampliando de 80.604 para 87.728 habitantes (IBGE, 2020). Ademais, no tocante ao contingente de animais bovinos, constata-se um decréscimo de aproximadamente 34% entre o mesmo período, reduzindo de 60.000 para 39.502 indivíduos (IBGE, 2020). Ainda de acordo com Instituto supramencionado, a atividade da agropecuária predominou sobre as demais atividades produtivas no meio rural do município para o ano de 2017, destacando-se as áreas destinadas para pastagens naturais (27.345 ha); lavoura temporária (17.777 ha), pastagens plantadas (1.974 ha) e lavouras permanentes (1.132 ha).

Dados de Precipitação

Os dados de precipitações pluviométricas diárias para o intervalo temporal de 1988 a 2019 (32 anos) foram obtidos junto à base de dados da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME, 2020), considerando os posto pluviométrico de Quixadá (496.302 m E; 9.450.940 m N) e outros cinco municípios circunvizinhos, a saber: Canindé (466.713 m E; 9.519.125 m N), Ocara (545.444 m E; 9.503.672 m N), Morada Nova (571.957 m E; 9.426.405 m N), Banabuiú (509.265 m E; 9.412.344 m N) e Quixeramobim (468.911 m E; 9.425.160 m N), cuja distribuição espacial foi plotada com auxílio

do software Q.GIS 3.10, adotando-se o sistema de projeção de coordenadas UTM 24M, Datum SIRGAS 2000, meridiano central -39° (Figura 2). Optou-se por tais postos pluviométricos por apresentarem medições completas e ininterruptas da série histórica estudada.

Na determinação das áreas de influência dos pluviômetros das seis estações levantadas, empregou-se o Método de Thiessen, e para tal a ferramenta de sistema de informação geográfica QGIS 3.10 (polígono de Voroni) considerando a não uniformidade da distribuição espacial das chuvas das estações (Figura 2).

Objetivando caracterizar a ocorrência e a intensidade de anos severamente secos e intensamente chuvosos no município de Quixadá, optou-se pelo uso do método dos Decis – MD.

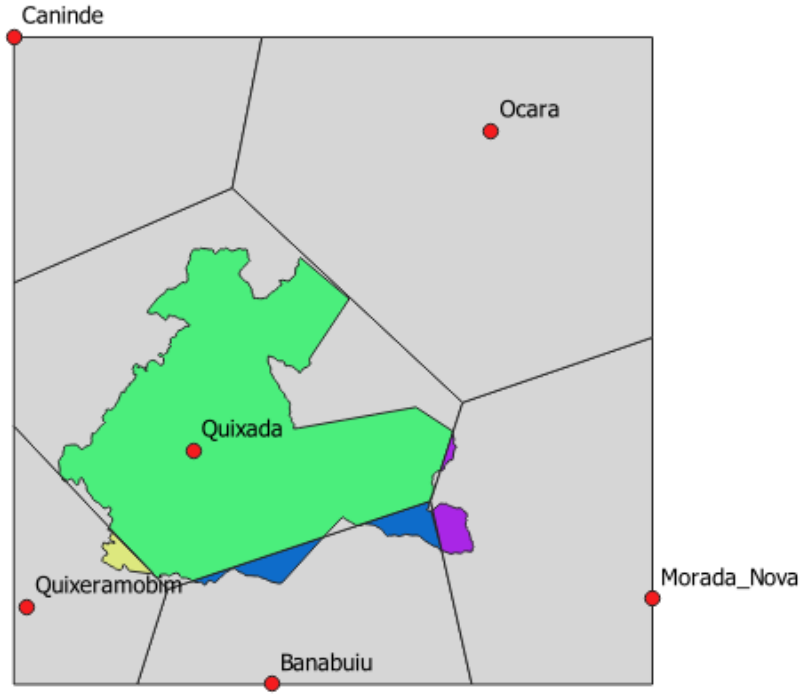


Figura 2. Polígono de Thiessen no fragmento de Domínio Fitogeográfico da Caatinga (DFC) - Quixadá-CE.

Para o cálculo desse índice, agrupou-se os valores de precipitação média ponderada anual da série histórica de 31 anos (1988 - 2018) em Decis (décimos da distribuição dos dados), dividindo-se a série em dez partes iguais, em ordem crescente, da menor precipitação até a precipitação mais elevada, de forma a gerar uma distribuição de frequências acumuladas. Detalhes dessa metodologia pode ser encontrada em Lima et al. (2019). A classificação da severidade de seca foi realizada pelo método do Decis proposto por Gibbs e Maher (1967).

Os supramencionados autores propõem o agrupamento dos anos conforme os seguintes intervalos de Decis: anos muito seco, seco, próximo ao normal, úmido e muito úmido (Tabela 1).

Tabela 1- Classificação dos Decis quanto à severidade de seca usando o índice Gibbs e Maher (1967).

Gibbs e Maher (1967)		Anos Climáticos Extremos
Decis	Intensidade da seca	
10-9	Muito Úmido	1989, 2009
8-7	Úmido	1994, 2002, 2004, 2011, 2017, 2018
6-5	Próximo ao Normal	-
4-3	Seco	1990, 1991, 1997, 2014
2-1	Muito Seco	1993, 1998, 2015, 2016

Na definição dos agrupamentos considerou apenas os intervalos de anos extremos: muito seco, seco, úmido e muito úmido.

Mapas Temáticos

Foram obtidos os arquivos matriciais dos níveis de uso e ocupação do solo representativos apenas dos anos climáticos extremos, junto a coleção 4 da plataforma MapBiomas em ambiente de processamento do Google Earth Engine (MapBiomas, 2019). Os arquivos em formato raster foram adquiridos da coleção supramencionada, e posteriormente convertidas para vetorial (shapefile) em software livre QGIS 3.10. Em seguida, as imagens de cada um dos anos extremos climáticos foram fragmentadas para obtenção do quantitativo de área ocupada por quatro distintas feições de uso e cobertura da terra, a saber: a.) formação com cobertura florestal de caatinga (Códigos 3 e 4 da versão 4 do MapBiomas); b) formação natural não florestal campestre (Código 12); c.) áreas antropizadas (mosaico de exploração agrícola e/ou pecuária, áreas urbanas, mineração e outras áreas não vegetadas, contemplando os códigos 15, 18, 19, 21, 25 e 30 do MapBiomas, e d.) corpos d'água (Código 33).

Análise Estatística

A partir do quantitativo de área das quatros feições supramencionadas em todas as imagens dos anos climáticos extremos para o fragmento do DFC estudado, procedeu-se inicialmente à análise estatística descritiva e posteriormente a análise multivariada, esta pelo método da análise de agrupamento hierárquico, empregando o algoritmo aglomerativo Ward e o quadrado da distância euclidiana como medida de similaridade. A técnica de agrupamento hierárquico interliga as amostras por suas associações, produzindo um dendrograma em que "indivíduos semelhantes" - anos climáticos extremos, a partir das variáveis escolhidas – quantitativo de área das classes de uso e cobertura da terra. Conforme preceituado por Manly (2008) a suposição básica de sua interpretação é quanto menor a distância reescalada entre os elementos, maior a semelhança entre os indivíduos no grupo.

A definição dos grupos foi feita pelo corte de uma linha paralela ao eixo horizontal, partindo da metade do primeiro maior "salto" ou distância. O critério de corte objetivo atende ao recomendado por Johnson e Wichern (1982).

Os dados foram analisados quanto a distribuição normal ou homogeneidade da variância, pelo teste de Levene's ($p \leq 0,05$). Os valores médios dos quantitativos de áreas com cobertura florestal natural e antropizadas encontrados nos grupos definidos pela análise de agrupamento foram submetidos ao teste de média através do teste T de Student ($p \leq 0,05$), além da utilização de gráficos de análise de regressão linear.

Resultados e discussão

Dados Precipitação

A grande variabilidade interanual da precipitação pluviométrica no fragmento estudado (Figura 3) se confirma pela presença de anos úmidos a muito úmidos com precipitações superiores a 1.000 mm (1989, 2004 e 2009), e outros tipicamente secos, cujas precipitações foram inferiores a 410 mm (1993, 1998 e 2016).

Portanto, após a aplicação do método do Decis, constatou-se que para a área em estudo entre os anos de 1988 e 2018 houve a formação de seis períodos climáticos extremos distintos e bem característicos (Figura 3), sendo três períodos anuais oscilando de secos a muito secos, e outro três de úmido a muito úmido. Aplicou-se ainda a média móvel (3 anos) com intuito de suavizar o efeito temporal da precipitação pluviométrica média ponderada a fim de contribuir com a discussão da influência desta sobre a alteração das classes de uso e ocupação dos solos.

Torna-se importante destacar que para o período em estudo (1988 a 2018), a média histórica da precipitação pluviométrica ponderada para os quatros postos pluviométricos considerado, foi de 687,77 mm/ano. A média móvel com três anos (Figura 3) permitiu evidenciar cristas e depressões configurando os períodos secos e chuvosos. Uma vez que tanto a supressão da vegetação, quanto a regeneração natural são influenciadas também por chuvas de anos anteriores, e não somente do momento atual (Aquino, et al., 2018), o emprego da média móvel pode evidenciar a contribuição da precipitação anual na alteração da cobertura florestal.

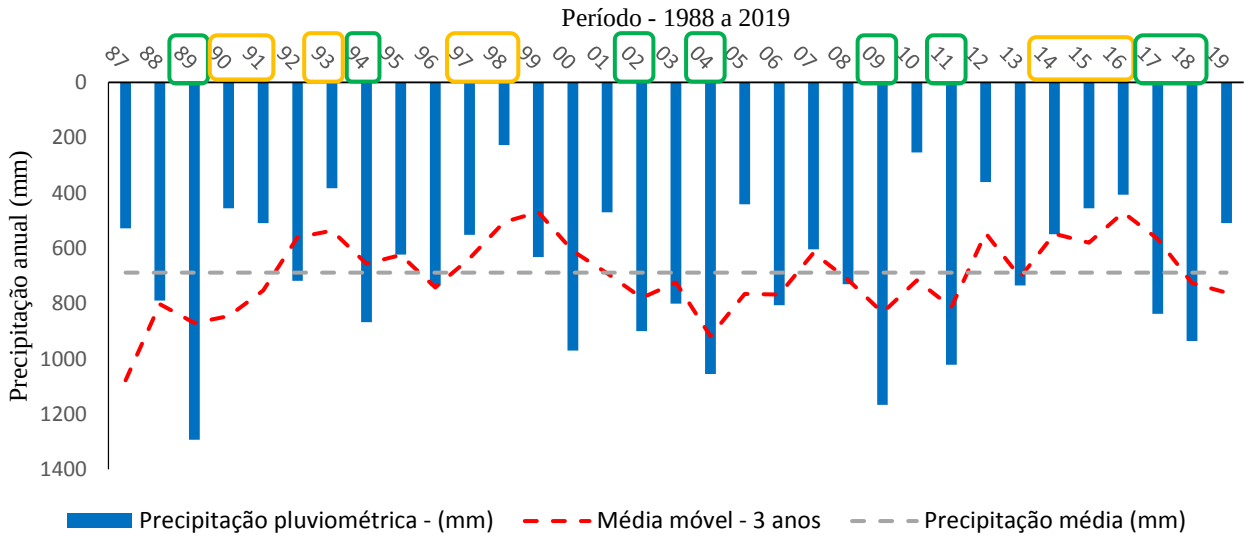


Figura 3. Distribuição sazonal da precipitação média pluviométrica anual (mm) e dinâmica da média móvel (3 anos) destacando os períodos climáticos extremos no fragmento de Domínio Fitogeográfico da Caatinga, Quixadá, CE. Período chuvoso - caixas verdes e períodos secos, caixas laranjas.

Tendo-se por base o método de Decis e enquadramento na classificação proposta por Gibbs e Maher (1967), verificou-se a formação de três períodos característicos representados por anos úmidos a muitos úmidos (1989 - 1994, 2002 – 2004 - 2009 e 2011 – 2017 - 2018), e outros três secos a muitos secos (1990-1991-1993, 1997-1998 e 2014-2015-2016), totalizando assim 16 anos climáticos extremos de uma série histórica de 32 anos. A variabilidade intra e interanual na precipitação é decorrente de diferentes sistemas atmosféricos que atuam no Nordeste brasileiro (Silva et al., 2012), destacando-se os Vórtices Ciclônicos em Ar Superior, Distúrbios Ondulatórios de Leste, Zona de Convergência do Atlântico Sul, os Sistemas Frontais e o avanço da Zona de Convergência Intertropical entre janeiro e maio, com um máximo em março-abril sobre o Nordeste. Esses fenômenos influenciam direta e indiretamente na ocorrência de chuvas sobre a região do Nordeste do Brasil (Guerreiro et al., 2013; Marengo et al., 2018 e Andrade et al., 2020).

Portanto, frente a tais interferências fica evidenciado que o clima da região se configura por sua extrema variabilidade (Figura 3), e influências de eventos climáticos extremos recorrentes, como por exemplo El Niño/La Niña, conforme discutido por Guerreiro et al. (2013) e Marengo et al. (2018). Comparado com outras regiões semiáridas do planeta, a exemplo do Sahel Africano, cuja precipitação média anual é de 549 mm.ano^{-1} (Panthou et al., 2018), o vale central do rio Ebro na Espanha, 326 mm.ano^{-1} (Sergio e Serrano, 2007) e média de aproximadamente 429 mm.ano^{-1} para Israel (Ziv et al., 2014), o fragmento do DFC apresenta valores elevados de precipitação média anual. A limitação da disponibilidade hídrica na região é determinada pela concentração temporal das chuvas apenas em quatro meses (fevereiro a maio) com uma longa estação de estiagem (8 meses) e evapotranspiração potencial duas ou três vezes superior ao total precipitado (Andrade et al., 2020). A região apresenta um déficit hídrico em 10 ou 11 dos 12 meses anuais, sendo que a evapotranspiração potencial média entre os anos de 1998 e 2019 foi da ordem de 2.123 mm.ano^{-1} (INMET, 2020), 3 vezes superior à precipitação média anual para o mesmo período. No tocante a apresentação da análise descritiva dos dados monitorados, segue-se a tabela 2. Constata-se que os maiores valores de assimetria e curtose foram evidenciados para a variável cobertura natural campestre.

Mapas temáticos

A técnica de análise de agrupamento aplicada às áreas obtidas com cobertura florestal de caatinga; formação natural não florestal campestre; áreas antropizadas e corpos d'água, possibilitou agrupar os anos com características semelhantes tendo como referência a amostra dos 16 anos típicos muito secos, secos, úmidos e muito úmidos obtidos pelo método dos Decis. O número de grupos foi definido pela primeira grande diferença entre os coeficientes reescalonados de agrupamento (Figura 4).

Variáveis	N	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão	Assimetria	Curtose
Precipitação anual (mm)	16	231,43	1.271,70	718,84	314,03	0,19	-1,23
Cobertura florestal - (ha)	16	135.485,00	149.824,00	142.537,00	4.125,52	0,01	-0,70
Cobertura campestre (ha)	16	5,76	603,99	89,03	154,32	2,99	9,08
Área antropizada (ha)	16	50.853,50	64.575,10	57.094,65	4.207,05	0,24	-0,60
Corpos d'água (ha)	16	1.612,62	9.942,93	4.539,27	2.405,62	0,99	0,38

Tabela 2. Análise estatística descritiva das variáveis estudadas entre os anos de 1988 e 2019.

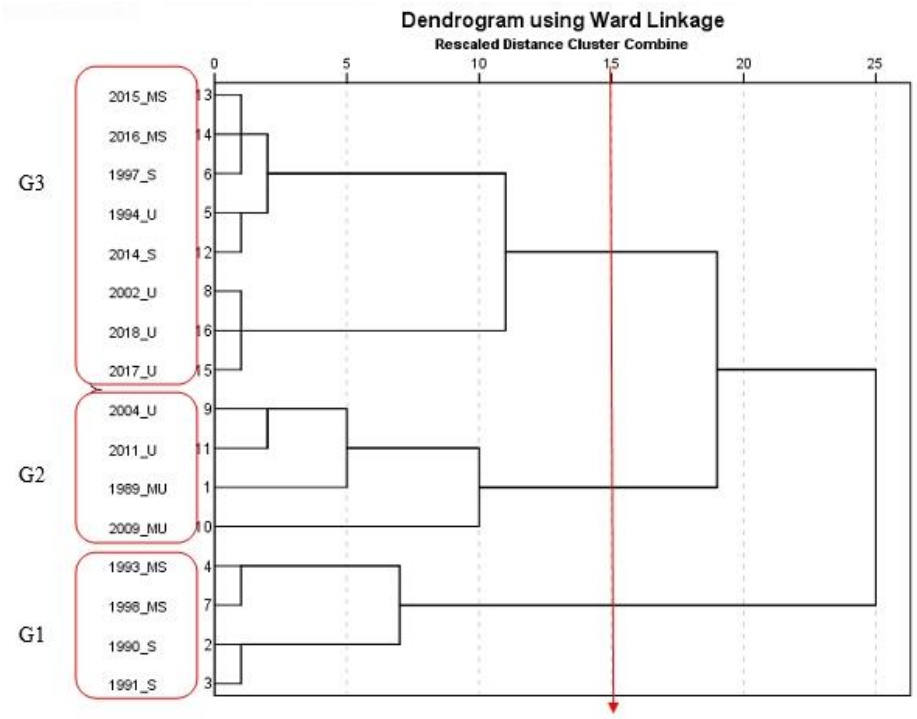


Figura 4. Dendrograma da análise de agrupamento dos anos tipificados como secos, muito secos, úmidos e muito úmidos pelo método dos Decis. A similaridade fundamentou-se nas feições: cobertura florestal de caatinga, cobertura natural não florestal campestre, áreas antropizadas e corpos d'água. MS-muito seco, S-seco, U-úmido e MU-muito úmido.

O Grupo 1 é constituído por anos tipificados como seco a muito seco da década de 90 com média anual de 395 mm (1990/91,1993 e 1998), anos que foram influenciados pela ocorrência do fenômeno El Niño (Marengo et al., 2018). Neste grupo, destacam-se as precipitações anuais inferiores em 54% da média histórica dos 32 anos, a exemplo dos anos de 1993 e 1998, com precipitações médias de 370,6 mm.ano^{-1} e 231,4 mm.ano^{-1}, respectivamente.

A ocorrência do fenômeno El Niño (1997/1998) gerou uma grande seca no semiárido do nordeste brasileiro, em 1998 (Figura 3), talvez a mais intensa nos últimos 150 anos (Marengo et al., 2011). O semiárido brasileiro também é vulnerável a enchentes e chuvas intensas (Alves et al., 2005). Entre os anos mais chuvosos na região, têm-se: 1964, 1967, 1974, 1985, 1986, 1988, 1989, 1994, 2004 e 2009 (Marengo et al., 2018).

No tocante ao Grupo 2, este aglutinou apenas amostras representativas dos anos úmidos a muito úmidos, principalmente da primeira década dos anos 2000, cujas amostras contabilizam a média anual de precipitação pluviométrica de

1.117,72 mm.ano^{-1}. Os anos amostrais deste período foram influenciados pelo efeito do fenômeno La Niña (Marengo et al., 2011), caracterizado por alturas pluviométricas médias superiores a 1.000 mm anuais.

Já o Grupo 3 foi formado tanto por anos secos, muitos secos e úmidos, principalmente de períodos mais recentes (2002 a 2018), além dos anos 1994 e 1997. A média pluviométrica para este grupo foi de 681,74 mm.ano^{-1}, a qual se assemelha a média histórica para o período estudado, 687,77 mm.ano^{-1}. Logo, o comportamento evidenciado no grupo 3, diverge completamente daqueles apresentados nos anteriores, em que se constata que o uso e ocupação do solo em décadas anteriores contribuiu para separar os períodos climáticos extremos secos e chuvosos.

De acordo com as informações apresentadas na Figura 5, diferenças significativas ao nível de 5% ocorreram, em caráter geral, entre o Grupo 1 e os demais agrupamentos formados. Importante destacar que tanto o ano chuvoso de 1989, quanto àqueles úmidos e muito úmido do início do Século XXI (Grupo 2), além dos anos recentes (Grupo 3) indiferentemente da característica climática, sejam eles extremamente secos ou chuvosos, contribuíram com os maiores quantitativos de área com cobertura florestal conservada, 143.176,50 ha e 144.928,13 ha, respectivamente (Figura 5a). Outrossim, de acordo com a figura 5b, também contribuíram com as menores áreas antropizadas durante o período estudado, 53.949,6 ha (Grupo 2) e 56.315,34 ha (Grupo 3).

Destarte, se faz importante destacar que comportamento contrário foi verificado nos anos típicos que ocorreram o fenômeno do El Niño (Grupo 1 - secas na década de 1990), na qual se evidenciou uma redução significativa ($p \leq 0,05$) de áreas com cobertura florestal conservada e concomitante aumento das áreas antropizadas (expansão de mosaico com pastagens extensivas e agricultura de sequeiro com culturas anuais (Figura 5a, b).

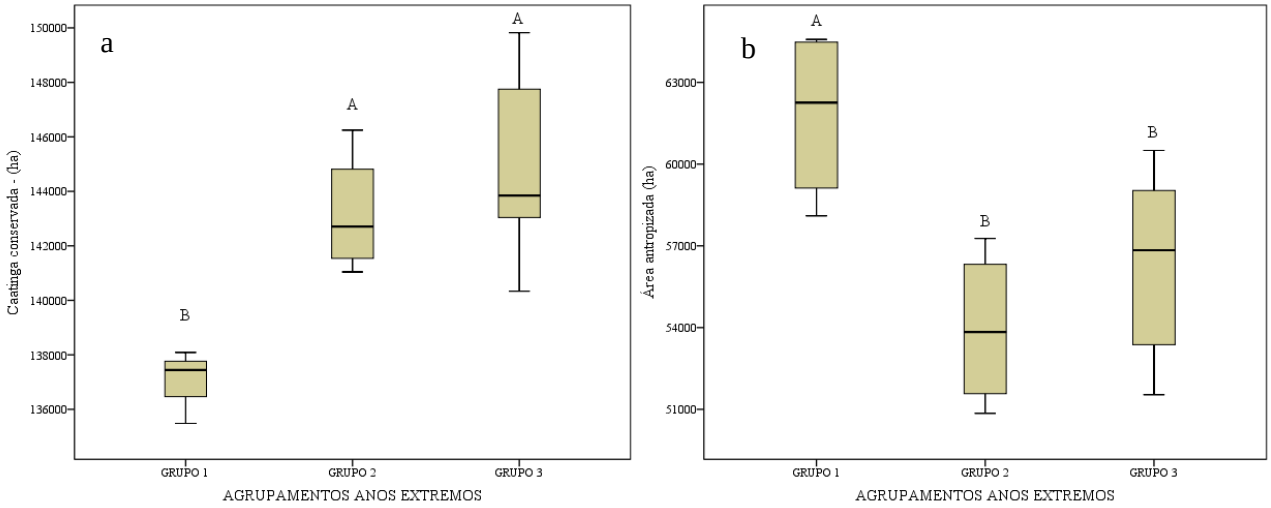


Figura 5. Box plot e análise estatística entre os grupos homogêneos de anos climáticos extremos em um fragmento de caatinga no semiárido brasileiro. Letras iguais entre os grupos não diferem estatisticamente pelo teste T de Student ($p \leq 0,05$).

A exploração agrícola com práticas de agricultura itinerante (onde consta o desmatamento e a queimada desordenada), tem modificado tanto o estrato herbáceo como o arbustivo-arbóreo. A intensificação do uso do solo, bem como seu emprego além da capacidade natural de regeneração dos ecossistemas vem causando na região da caatinga perdas na biodiversidade da fauna e da flora, erosão do solo (Palácio et al., 2016; Andrade et al., 2018; Sousa et al., 2020), sedimentação dos reservatórios e dos rios (Araújo, 2003), com consequente declínio da atividade econômica e da qualidade de vida da população (Araújo Filho, 2013). Extremos climáticos intensos associados à degradação do solo, poderiam levar à aceleração do processo de desertificação no semiárido; assim, a possibilidade de secas mais intensas e prolongadas poderia elevar ainda mais o grau de exposição e vulnerabilidade das populações que habitam o semiárido, especialmente daqueles mais pobres (Marengo et al., 2011).

Na mesma linha, Seyffarth e Rodrigues (2017), destacam que o futuro da distribuição da cobertura vegetal do bioma poderá ser afetado pela combinação dos impactos da mudança climática e da mudança no uso da terra, inferindo que tais alterações deverão ter impacto na biodiversidade do bioma. Dessa forma, podemos considerar que a biodiversidade da caatinga pode estar mais

vulnerável às secas, no presente, devido ao processo de desertificação e poderá estar ainda mais vulnerável, no futuro, com o acúmulo dos impactos da desertificação e das mudanças climáticas (Seyffarth e Rodrigues, 2017; Castanho et al., 2020).

Quando se analisa apenas o comportamento encontrado no período mais recente, essencialmente o Grupo 3, não se observa alterações na cobertura florestal, tampouco mudanças na área antropizadas em função das oscilações de precipitação pluviométrica, pois este grupo contempla elementos tantos de anos típicos chuvosos quanto extremamente secos (Figura 4). Ademais, importante ainda destacar, que o quantitativo de áreas com cobertura florestal do Grupo 3 (período mais recente) foram superiores às encontradas em períodos de estiagem da década de 90 do século XX (Grupo 1). Portanto, o resultado demonstra que tem ocorrido, mesmo em decorrência do longo período de escassez hídrica vivenciado nos anos mais recentes (de 2012 a 2016) um processo de regeneração natural da vegetação no fragmento estudado. A área com cobertura florestal do grupo 3 (144.928,13 ha) foi estatisticamente superior às encontradas no Grupo 1 (137.115,25 ha), ao nível de 5% de significância (Figura 5a). Outrossim, corroborando com o argumento supramencionado, verifica-se ainda nas figuras 4 e 5a, que mesmo em períodos de escassez hídrica recente a exemplo dos anos de 2014, 2015 e 2016 (Grupo 3), a cobertura florestal se manteve equiparada à períodos anteriores de La Niña, a exemplo dos anos de 2004, 2009 e 2011 (Grupo 2).

O Comportamento supramencionado, deve estar associado ao padrão fenológico das espécies da caatinga que ao longo de sua evolução desenvolveram adaptações associadas com o evitar, resistir ou tolerar ao déficit hídrico, principalmente quando não sofre pressões antrópicas (Mayfield, 2010). Desta maneira, as espécies caducifólias evitam o período desfavorável, reduzindo a área de transpiração através da perda das folhas ao longo da estação seca, e mantêm altas taxas fotossintéticas durante as chuvas (Barros e Soares, 2013).

Os resultados acima mencionados nos levam a inferir que na década de 90 do século XX, as áreas com cobertura florestal foram influenciadas negativamente por anos com baixas precipitações pluviométricas, logo os anos secos deste período impulsionaram a pressão e aumento das áreas antropizadas. No entanto, tal comportamento não foi verificado para os anos secos atuais (2014 - 2016). Nestes, independentemente do aspecto climático, observa-se regeneração da cobertura florestal e redução do impacto antrópico, mesmo em períodos críticos de El Niño (Figura 5).

Acreditamos que esse comportamento esteja relacionado com a regeneração natural do estrato arbustivo em decorrência do pousio de áreas antes empregadas na agropecuária, visto que durante o período de 2012 a 2016 as chuvas foram escassas ficando bem abaixo da média histórica da região. Ademais, além dessas intervenções pontuais, a intensidade menor do desmatamento se justifica também por mudanças estruturais como a redução do interesse e a viabilidade econômica cada vez menor das atividades agrícolas e pecuárias na região, o abandono da atividade agrícola e o êxodo rural (Ndagijimana et al., 2015).

Nas últimas décadas tem sido crescente o fluxo migratório populacional originário das áreas rurais com destino aos grandes centros populacionais urbanos no território nacional. Desta maneira, Vergolino e Dantas (2005) destaca que uma combinação entre crescimento acentuado da população e falta de acesso à terra contribui para expulsar parte da mão-de-obra do campo, gerando altas taxas de imigração nas cidades. O Nordeste, por outro lado, apresenta uma composição bastante distinta de suas populações rural e urbana. Em 1991, respondia por 46,4% da população rural brasileira e por apenas 23% da urbana; ou seja, a participação da população rural nordestina era, na época, duas vezes maior que a sua participação na população urbana nacional (Martine, 1994). Na área em estudo, observou-se um decréscimo marcante da população rural entre o ano de 1991 e 2010, esta reduziu de 45% para apenas 29% da população total (IBGE, 2010).

O intensivo êxodo rural nas últimas décadas, principalmente da população jovem economicamente ativa em busca de um maior nível educacional e ocupacional, tem contribuído para desequilíbrios demográficos da população rural em vários territórios, e eles constituem uma ameaça à sustentabilidade social no contexto rural (Costa, 2013). Ademais, têm sido verificado um envelhecimento da população rural, conforme indicam os números do último recenseamento demográfico brasileiro (IBGE, 2010). Corroborando com Sathler et al. (2015), têm-se que os incentivos econômicos, além das políticas ambientais de comando e controle, a exemplo da fiscalização, são fatores que podem estar contribuindo para o abandono das atividades antrópicas e consequentemente regeneração natural da caatinga.

Analisando as flutuações do uso e cobertura do solo do fragmento estudado em anos climáticos extremos entre o período de 1989 a 2018, constata-se na figura 6, que em oposição às

áreas com cobertura florestal conservada, percebe-se uma tendência de avanço das áreas antropizadas em anos predominantemente secos a muitos secos, principalmente na década de 90. No entanto, ao longo de todo período estudado as áreas com caatinga conservada apresentaram as maiores percentagens de permanência, sempre superiores a 65%, apresentando ligeiro aumento com taxas de ocupação sempre superiores à média a partir do ano 2011. Tal comportamento pode ser explicado pelo fato de áreas anteriormente ocupadas com pastagens e agriculturas de sequeiros terem sido recentemente abandonadas, o que ocorre no contexto principalmente da agricultura itinerante desenvolvida pelo pequeno produtor com culturas de subsistência e pecuária extensiva, estritamente dependente dos períodos de regularidades pluviométricas.

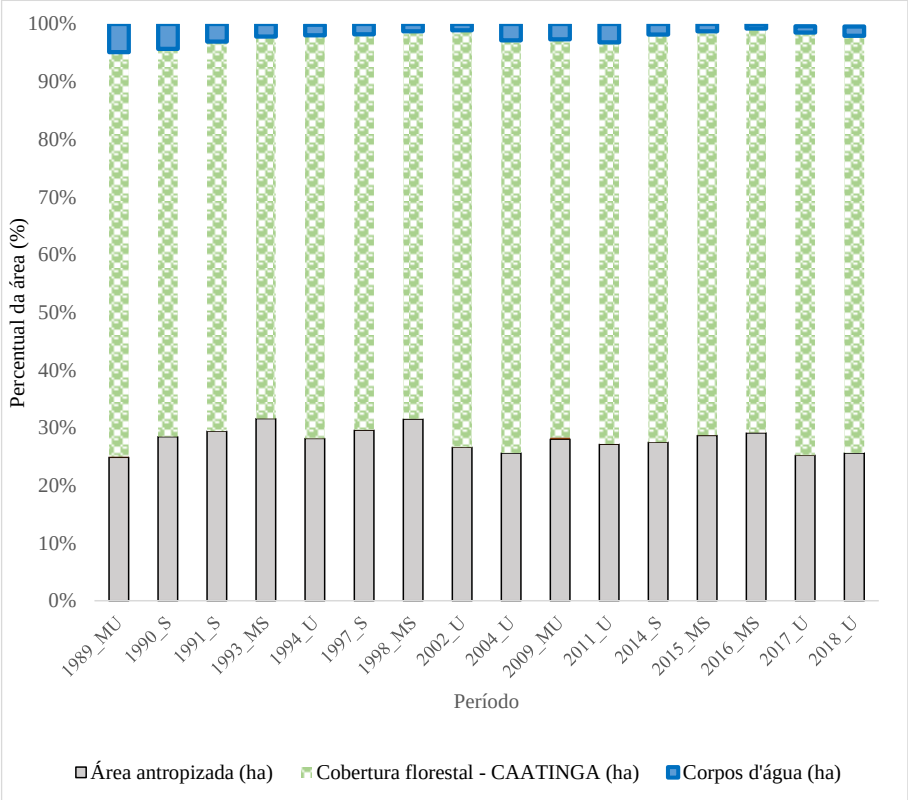
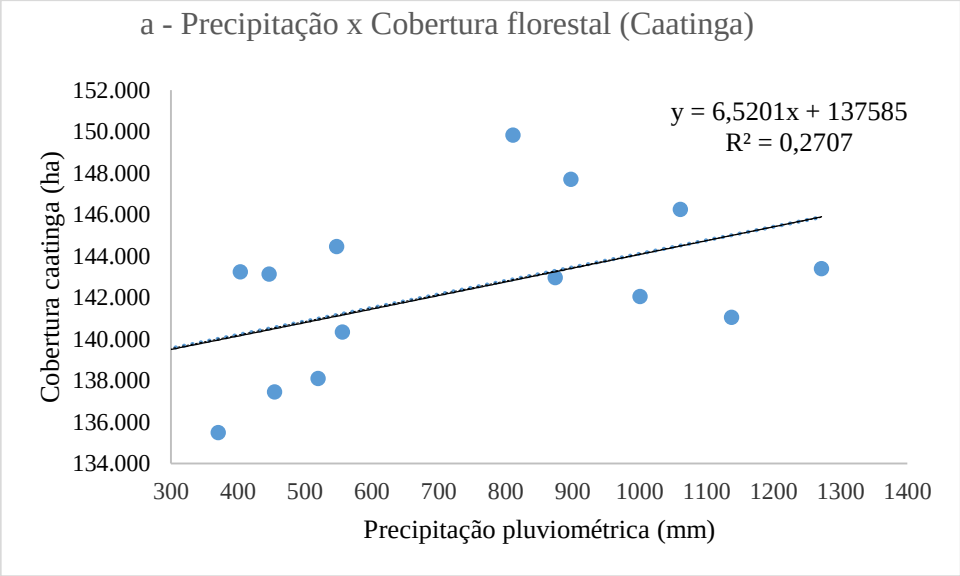


Figura 6. Oscilação do uso e cobertura do solo de um fragmento de caatinga no semiárido brasileiro em anos climáticos extremos entre o período de 1989 a 2018. MS-muito seco, S-seco, U-úmido e MU-muito úmido.

No tocante a dinâmica de intervenção humana no ambiente, constata-se que a precipitação pluviométrica apresentou melhor ajuste com as áreas antropizadas do que propriamente com a regeneração natural da cobertura florestal (Figuras 7a, b). No ambiente semiárido a análise da cobertura vegetal é considerada complexa devido á variabilidade interanual da precipitação, onde as mudanças ambientais detectadas na superfície podem ser resultado de uma alteração da precipitação (Maia et al., 2018). Embora se identifique uma tendência de correlação positiva evidenciado pelo acréscimo da cobertura vegetal decorrente do aumento das médias anuais de precipitações (Figura 6a), não se encontrou boa correlação, uma vez que a medida de ajuste foi baixa ($R^2 = 0,2707$). Destarte, quando se adota a correlação da precipitação com as áreas antropizadas (Figura 7b), percebe-se uma correlação negativa e um melhor ajuste, além de maior poder preditivo da equação da reta. Portanto, a variação das áreas antropizadas é melhor explicada pela dinâmica de alterações da precipitação pluviométrica ($R^2 = 0,6479$). Logo, a tendência é que em anos de severidades climáticas tenhamos maiores intervenções antrópicas.



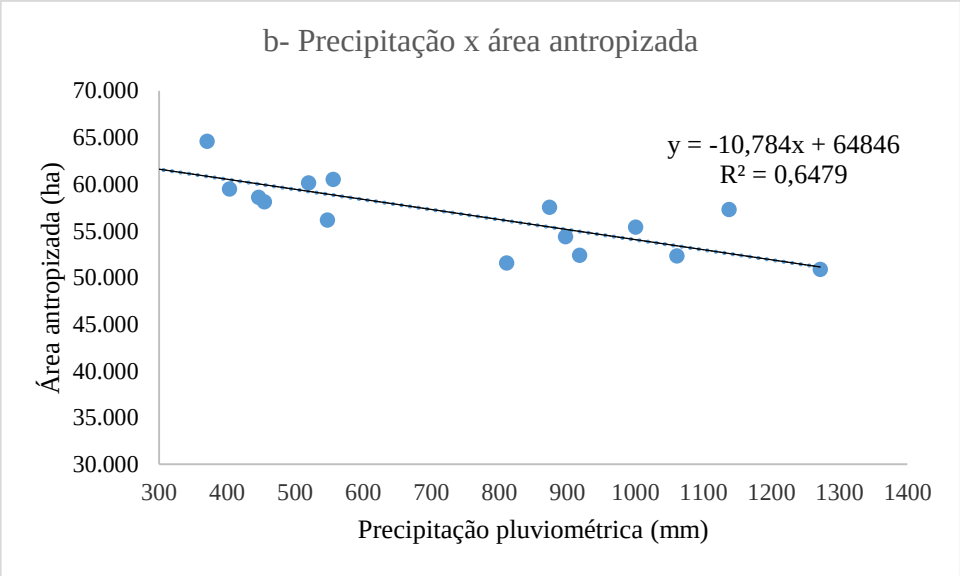


Figura 7. Correlação linear da precipitação pluviométrica com a cobertura florestal de caatinga conservada (a) e área antropizadas (b) referente à 16 anos climáticos extremos em fragmento de caatinga no semiárido brasileiro.

Outrossim, este aumento das áreas antropizadas em períodos críticos de estiagem (Figuras 6 e 7b), pode ser explicado por uma maior pressão humana aos recursos naturais, pois produtos oriundos das florestas secas são fontes primárias de energia e de complementação da renda de famílias rurais campesinas do semiárido brasileiro. Na região semiárida, os recursos florestais são continuamente explorados pelas famílias, comércio e indústrias locais, assumindo importante papel no contexto econômico e social (PNUD/FAO/IBAMA, 1993). Além do mais são utilizados tanto na geração de energia para indústrias e domicílios, quanto para a obtenção de produtos florestais não-madeireiros, a exemplo da forragem animal, mel, frutos, fibras e outros que se tornam alternativa de geração de renda para muitas famílias (Gariglio et al., 2010).

Este comportamento está associado à incorporação de terras antes ocupadas por vegetação arbóreo-arbustiva em áreas agrícolas e/ou pastagem nativa, decorrente de que a agricultura de subsistência predominante na região é sustentada em cultivos de sequeiros dependentes da sazonalidade climática. No tocante a pecuária extensiva, essa por sua vez, leva a um consumo de toda a vegetação herbácea deixando o solo descoberto, principalmente nas épocas secas, assim, no início das chuvas, o solo encontra-se plenamente exposto à erosão hídrica (Perez-Marin et al., 2012). Portanto, a cobertura vegetal apresenta elevada importância para a diminuição do desenvolvimento da desertificação, uma vez que protege o solo da ação inicial dos processos erosivos. No mesmo sentido, a ausência da cobertura vegetal pode anunciar a susceptibilidade

dos solos ao ataque dos agentes desencadeadores da desertificação (Gois et al., 2015).

Os resultados encontrados divergem de estudos desenvolvidos por Aquino et al. (2018). Os referidos autores estudando um fragmento de região susceptível a desertificação no município de Tauá-Ceará, verificaram que as atividades antrópicas foram mais intensas em épocas de anos úmidos, enquanto, em períodos de estiagem o comportamento foi inverso, caracterizado pela regeneração natural do estrato arbustivo-arbóreo em decorrência do abandono das áreas agrícolas e pastoris.

As atividades produtivas desenvolvidas desde a colonização e os principais aspectos socioculturais da região a tornam extremamente suscetível a um processo muito mais amplo do que simplesmente os episódios de seca isoladamente (Viana, 2013). O esclarecimento desta questão é importante porque as secas afetam consideravelmente o semiárido e têm sido bastante estudadas no Nordeste brasileiro, a exemplo das iniciativas de Marengo et al., (2018); Dubreuil et al., (2019); Andrade et al., 2020 e Campos e Andrade (2021); mas infelizmente têm recebido pouca ênfase dos grupos que trataram de desertificação no Brasil (Sampaio, et al., 2005).

Conclusões

Em períodos de secas severas (El Nino) da década de 90 do século XX, a pressão antrópica no meio natural foi mais pronunciada quando comparada com ciclos de anos chuvosos, o que acarretou naquela época pressão antrópica e considerável redução da cobertura florestal da caatinga. Entretanto, no período de seca dos anos recentes já não se evidenciam a influência humana no desflorestamento da cobertura natural, fato justificado pela oportunidade de regeneração da vegetação com caatinga natural mesmo em períodos de escassez de chuvas. A vegetação arbórea-arbustiva tem passado por um processo de regeneração natural na década recente (2002 - 2018) em virtude do abandono de áreas anteriormente antropizadas na década de 90.

Os resultados demonstram que a precipitação pluviométrica está mais estritamente correlacionada com as áreas antropizadas do que propriamente com a regeneração natural da cobertura florestal.

Torna-se necessário se aprofundar no levantamento de outros fatores econômicos, sociais e culturais para além dos efeitos climáticos das secas na biodiversidade da região semiárida tropical brasileira. Este estudo aponta para indícios de que o processo de desflorestamento da caatinga esteja relacionado diretamente à ação antrópica impulsionada em tempos pretéritos pelas secas intensas na região. Tais indícios demonstram a necessidade de se aprofundar em pesquisas que contemplem o efeito cumulativo das secas, intervenção antrópica e mudanças climáticas sobre a cobertura florestal da caatinga. Logo, no entendimento do processo de desflorestamento, torna-se necessário considerar para além dos aspectos climáticos, às atividades produtivas desenvolvidas desde a colonização e os aspectos socioculturais da região, e não somente episódios de seca severas isoladamente como balizador da adoção de medidas mitigadoras do processo de desertificação.

Referências

Alves, L. M., Silva Aragão, M. R., Góis, R. S. S. 2005. Análise de intensidades máximas de chuva no Nordeste do Brasil. In. Simpósio Internacional de Climatologia, A Hidroclimatologia e Impactos Ambientais em Regiões Semi-áridas, Fortaleza.

Aquino, D. N., Rocha Neto, O. C., Moreira, M. A., Teixeira, A. S., Andrade, E. M. 2018. Utilização de sensoriamento remoto para identificação de áreas em risco de degradação na região semiárida. Revista Ciência Agronômica, 49, 420-429.

Araújo, J. C. 2003. Assoreamento em reservatórios do semi-árido: Modelagem e Validação. RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos,8, n.2, 39-56.

Araújo Filho, J. A. 2013. Manejo pastoril sustentável da caatinga. 1ª ed. Recife: Projeto Dom Helder Câmara.

Andrade, E. M.; Rodrigues, R. N.; Palácio, H.A.Q.; Brasil, J.B.; Ribeiro Filho, J.C. 2018. Hydrological responses of a watershed ot vegetation changes in a tropical semiarid region. Rev. Caatinga, 31, 161-170.

Andrade, E. M; Guerreiro, M. J. S.; Palácio, H. A. Q.; Campos, D. A. 2020. Ecohydrology in a Brazilian tropical dry forest: thinned vegetation impact on hydrological functions and ecosystem services. Journal of Hydrology: Regional Studies, 27, 100649.

Andrade, E. M., Sena, M. G. T., Silva, A. G. R., Pereira, F. J. S., Lopes, F. B. 2016. Uncertainties of the rainfall regime in a tropical semi-arid region: the case of the State of Ceará. Revista Agro@mbiente [Online] 10, 88-95. Disponível: https://revista.ufrr.br/ agroambiente/article/ view/3500. Acesso em: 17 abr. 2020.

Barros, I. O., Soares, A. A. 2013. Adaptações anatômicas em folhas de marmeleiro e velame

da caatinga brasileira. Revista Ciência Agronômica, v. 44, n. 1, p. 192-198.

Bezerra, A.C.; Silva, J.L.B.; Silva, D.A.O.; Batista, P.H.D.; Pinheiro, L.C. 2020. Monitoramento Espaço-Temporal da Detecção de Mudanças em Vegetação de Caatinga por Sensoriamento Remoto no Semiárido Brasileiro. Revista Brasileira de Geografia Física,13, 286-301.

Brasil. Ministério do Meio Ambiente. 2016. 5º Relatório Nacional para a Convenção sobre diversidade biológica. Série Biodiversidade, v. 50. Brasília.

Brasil. Ministério do Meio Ambiente. 2017. Caatinga. Brasília.

Campos, D. A.; Andrade, E. M. 2021. Seasonal trend of climate variables in an area of the Caatinga phytogeographic domain. agro@mbiente on-line, 15, 1-18.

Castanho, A. D. A., Coe, M., Brando, P., Macedo, M., Baccini, A., Walker, W., Andrade, E. M. 2020. Potential shifts in the aboveground biomass and physiognomy of a seasonally dry tropical forest in a changing climate. Environmental Research Letters, 15, 034-053.

Costa, F. A. 2013. Sete teses sobre o mundo rural brasileiro: antíteses. Revista da ABRA, São Paulo, ed. Especial.

Dubreuil, V.; Fante, K.P.; Planchon, O.; Sant'anna Neto, J.L. Climate change evidence in Brazil from Köppen's climate annual types frequency. International Journal of Climatology, 39, 1446-1456, 2019.

Funceme. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos, 2020. Séries Históricas. Disponível: http://www.funceme.br/produtos/script/chuvas/Download_de_series_historicas/downloadHistoricos/postos/121.txt. Acesso: 06 mar. 2020.

Gariglio, M. A., Sampaio, E. V. S. B., Cestaro, L. A., Kageyama, P. Y. 2010. Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da Caatinga. Serviço Florestal Brasileiro, Brasília, p. 368.

Gibbs, W. J., Maher, J. V. 1967. Rainfall deciles as drought indicators. Melbourne: Bureau of Meteorology. 84.

Gois, D. V., Melo, F. P., Araujo, W. S., Melo e Souza, R. 2015. Índices de Vegetação e suscetibilidade à desertificação no município de poço redondo - Sergipe. In: GeoAlagoas, n. 3, Anais. ed. UFAL, 175-180. Maceió.

Guerreiro, M. J. S., Andrade, E.M., Abreu, I., Lajinha, T. 2013. Long-term variation of precipitation indices in Ceará State, Northeast Brazil. Int. J. Climatol. n. 33. p. 2929-2939.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R. K., Meyer, L. A. (eds.)]. Geneva, Switzerland, 151 pp.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2010. Censo 2010 - Resultados. Brasil. Disponível: https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/quixada/panorama. Acesso: 17 abr. 2020.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2017. Censo Agropecuário ano de 2017 – município de Quixadá. Brasil. Disponível: https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/quixada/pesquisa/24/76693. Acesso: 17 abr. 2020.

INMET. Instituto Nacional de Metereologi, 2020. Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP). Brasil. Disponível: http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep. Acesso: 11 jun. 2020.

Johnson, R.A., Wichern, D. W. 1982. Applied Multivariate Statistical Analysis. Madison: Prentice Hall International. p. 607.

Lima, R. P. C., Silva, D. D., Pereira, S. B., Moreira, M. C., Passos, J. B. M. C. Coelho, C. D., Elesbon, A.A.A. 2019. Development of an annual drought classification system based on drought severity indexes. Annals of the Brazilian Academy of Sciences, 91, 1-11.

Lucena, R.L.; Ferrer, G.; Guilhermino, M.M. Mitigando os riscos da seca através de ações de recuperação e preservação do bioma caatinga no semiárido brasileiro. Brazilian Journal of Development,7, 36546-36557.

Maia, A.R.S., Lopes, F.B., Andrade, E.M., 2018. Influence of Climatic Seasonality on a Survey of Land Use and Cover in the Semi-arid Region. Journal of Agricultural Science, 10, 311-325.

Mariano, D.A., Santos, C.A., Wardlow, B.D., Anderson, M.C., Schiltmeyer, A.V., Tadesse, T., Svoboda, M.D., 2018. Use of remote sensing indicators to assess effects of drought and human-induced land degradation on ecosystem health in Northeastern Brazil. Remote Sensing of Environment, 213, 129-143.

Mayfield, M.M., Bonser, S. P., Morgan, J. W., Aubin, I., Mcnamara, S., Vesk, P. A. 2010. What does species richness tell us about functional trait diversity? Predictions and evidence for responses of species and functional trait diversity to land-use change. Global Ecology and Biogeography, 19, 423-431.

Manly,B.F.J. 2008. Métodos estatísticos multivariados: uma introdução. 3. ed. Porto Alegre: Bookman.

Mapbiomas. 2019. Coleção 4.0 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil. Disponível: https://mapbiomas.org/downloads_collections-1-2?cama_set_ language=pt-BR. Acesso: 02 mar. 2020.

Marengo, J. A., Alves, L. M., Beserra, L. A., Lacerda, F. F. 2011. Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. In: _____(Org.). Recursos Hídricos em Regiões Áridas e Semiáridas. Campina Grande, PB: Instituto Nacional do Semiárido, p.383-416.

Marengo, J.A.; Alves, L.M.; Alvala, R.; Cunha, A.P.; Brito, S.; Moraes, O.L. 2018. Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region. Anais da Academia Brasileira de Ciências, v.90, n.2, supl. 1. p.1973-1985.

Martine, G. 1994. A redistribuição espacial da população brasileira durante a década de 80. Brasília: IPEA. Texto para Discussão n. 329.

Nascimento, K.R.P.; Alves, E.R.; Alves, M.V.S.; Galvíncio, J.D. 2020. Impacto da precipitação e do uso e ocupação do solo na cobertura vegetal na Caatinga. Journal of Environmental Analysis and Progress, 05 221-231.

Ndagijimana, C., Pareyn, F. G. C., Riegelhaulpt, E. 2015. Uso do solo e desmatamento da Caatinga: um estudo de caso na Paraíba e no Ceará - Brasil. Estatística Florestal da Caatinga, Recife, 2, 18-29.

Palácio, H. A. Q., Ribeiro Filho, J. C., Santos, J. C. N., Andrade, E. M., Brasil, J. B. 2016. Precipitação efetiva e perdas de solo em diferentes sistemas de cobertura vegetal no bioma caatinga. Revista Caatinga, v. 29, n. 4, p. 956-965.

Panthou, G., Lebel, T., Vischel, T., Quantin, G., Sane, Y., Ba, A., Ndiaye, O. A., Diongue-Niang, A., Diopkane, M. 2018. Rainfall intensification in tropical semi-arid regions: the Sahelian case. Environmental Research Letters. n. 13.

Perez-Marin, A. M., Cavalcante, A. M. B., Medeiros, S. S., Tinôco, L. B. M., Salcedo, I. H. 2012. Núcleos de desertificação no semiárido brasileiro: ocorrência natural ou antrópica? Parcerias Estratégicas, 17, 87-106.

PNUD, FAO, IBAMA. 1993. Diagnóstico florestal do Rio Grande do Norte. Natal: [s.n.],.45 p.

Sampaio, E. V. S. B., Araújo, M. S. B., Sampaio, Y. S. B. 2005. Impactos ambientais da agricultura no processo de desertificação no Nordeste do Brasil. Revista de Geografia [Online] 22, Disponível: https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia/article/view/228637/23060. Acesso: 08 mar. 2020.

Santos, H. G. et al. 2018. Sistema brasileiro de classificação de solos. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 356 p.

Sergio, M., Serrano, V. 2007. Evaluating the Impact of Drought Using Remote Sensing in a Mediterranean, Semi-arid Region. Natural Hazards, 40, 173-208.

Seyffarth, J. A., Rodrigues, V. 2017. A seca 2010-2017 no Semiárido brasileiro. Parcerias Estratégicas, 22, 41-62.

Sathler, B., Adamo, S. B, Lima, E. 2015. Mudanças climáticas e mitigação no setor florestal: REDD+, políticas nacionais e desenvolvimento sustentável local na Amazônia Legal. Revista Bras. de Est. Populacional, 32, 619-630.

Silva, V. P. R., Pereira, E. R. R., Almeida, R. S. R. 2012. Estudo da variabilidade anual e intra-anual da precipitação na região Nordeste do Brasil. Revista Brasileira de Meteorologia, 27, 163-172.

Silva, B. B., Braga, A. C., Braga, C. C., Oliveira, L. M. M., Montenegro, S. M. G. L. et al. 2016. Procedures for calculation of the albedo with OLI-Landsat 8 images: Application to the Brazilian semi-arid. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 20, 3-8.

Silva, D.A.O., Lopes, P.M.O., Moura, G.B.A., Silva, E.F.F., Silva, J.L.B., Bezerra, A.C., 2019. Evolução Espaço-Temporal do Risco de Degradação da Cobertura Vegetal de Petrolina PE. Revista Brasileira de Meteorologia 34, p. 1-11.

Sousa, M.M.M.; Palácio, H. A. Q.; Andrade, E.M.; Ribeiro Filho, J. C.; Moura, M.M.S. 2020. Determinant pluviometric characteristics of sediment transport in a catchment with thinned vegetation in the tropical semiarid. Revista Caatinga, 33, 785-793.

SUDENE. Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste, 2021. Semiárido. Disponível em: http://antigo.sudene.gov.br/delimitacao-do-semiarido Acesso: 21 Mai 2021.

SUDENE. Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste, 2017. Nova Delimitação do Semiárido: Resoluções CONDEL n. 107 de 27/07/2017 e 115 de 23/11/2017. Disponível: http://www.sudene.gov.br/images/arquivos/semiarido/arquivos/Rela%C3%A7%C3%A3o_de_Munic%C3%ADpios_Semi%C3%A1rido.pdf. Acesso: 24 mar. 2020.

Tomasella, J.; Vieira, R.M.S.P.; Barbosa, A.A.; Rodriguez, D.A.; Santana, M.O.; Sestini, M.F. 2018. Desertification trends in the Northeast of Brazil over the period 2000-2016. International

Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 73, 197- 206.

UNCC. United Nations Convention to Combat Desertification in those Countries Experiencing Serious Drought and/ or Desertification, Particularly in Africa, 2006. Governing Global Desertification: Linking Environmental Degradation, Poverty and Participation, in: Johnson, P. M., Mayrand, K., Paquin, M. (Org.), 1 ed. Ashgate Publishing, Hampshire.

Vergolino, J. R., Dantas, M. M. 2005. Os determinantes do processo de urbanização da região Nordeste do Brasil: 1970-1996. Economia, 31, n. 7-33.

Viana, C. F. G. 2013. Da seca como episódio à desertificação como processo: uma questão (não) institucionalizada. Tese de Doutorado (Centro de Desenvolvimento Sustentável – Universidade de Brasília). Brasília, 244p.

Xia, J., Ning, L., Wang, Q., Chen, J., Wan, L., Hong, S. 2017. Vulnerability of and risk to water resources in arid and semi-arid regions of West China under a scenario of climate change. Climatic Change, 144, 549–563.

Ziv, B., Saaroni, H., Pargament, R., Harpaz, T., Alpert, P. 2014. Trends in rainfall regime over Israel, 1975–2010, and their relationship to large-scale variability. Reg Environ Change, 14, 1751-1764.