



Dinâmica Espaço-Temporal da Paisagem Semiárida no Município de Apodi/RN e seus Condicionantes Socioeconômicos e Ambientais

Murianny Katamara Silva de Oliveira¹, Eveline de Almeida Ferreira², Nadjacleia Vilar Almeida³, Eulene Francisco da Silva⁴, Aline de Almeida Vasconcelos⁵

¹Bacharel em Ecologia, Mestranda em Ecologia e Conservação, Universidade Federal Rural do Semi-Árido Campus de Mossoró-RN, Rua: Francisco Mota Bairro, 572, Pres. Costa e Silva, Mossoró-RN, CEP:59625-900. mu_rianny@hotmail.com. ²Doutora e Mestre em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais, Professora Adjunta III, Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Departamento de Biociências, Universidade Federal Rural do Semi-Árido Campus de Mossoró-RN, Rua: Francisco Mota Bairro, 572, Pres. Costa e Silva, Mossoró-RN, CEP:59625-900. eveline@ufersa.edu.br (autora correspondente). ³ Dra. em Geografia. Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Professora Adjunta, Centro de Ciências Aplicadas e Educação, Universidade Federal da Paraíba, Rua da Mangueira, S/N, Companhia de Tecidos Rio Tinto, Rio Tinto-PB, CEP: 58297000, nadjageo@gmail.com. ⁴Dra. em Agronomia, Mestre em Agronomia. Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Ciências Agronômicas e Florestais, Universidade Federal Rural do Semi-Árido Campus de Mossoró-RN, Rua: Francisco Mota Bairro, 572, Pres. Costa e Silva, Mossoró-RN, CEP:59625-900; eulenesilva@ufersa.edu.br ⁵ Dra. em Solos e Nutrição de Plantas, Mestre em Solos e Nutrição de Plantas, Professora Adjunta, Departamento de Ciências Agrárias, Universidade Federal de São João Del-Rei, Rua Sétimo Moreira Martins, Itapoã II, Sete Lagoas-MG, CEP:35702-031, alinevasconcelos@ufsj.edu.br

Artigo recebido em 24/09/2020 e aceito em 04/05/2021

RESUMO

Apodi, assim como muitos municípios do Nordeste, passou por mudanças estruturais direcionadas por dois condicionantes principais: a alternância de modelos socioeconômicos e os períodos de seca sazonais e prolongadas. Dentre os modelos socioeconômicos, Apodi passou por latifúndio, reforma agrária, desapropriação de terras para perímetros irrigados e instalação de empresas do agronegócio. Esses condicionantes impactaram negativamente a cobertura vegetal, degradando a paisagem e ameaçando o Sítio Arqueológico Lajedo de Soledade (SALS) situado em Apodi, importante patrimônio da humanidade. Nesse contexto, o objetivo desse estudo foi analisar as mudanças espaço-temporais na paisagem no entorno do SALS e inferir sobre a influência de condicionantes socioeconômicos e ambientais. Para isso, utilizou-se os seguintes dados: histórico de ocupação e uso da terra, precipitação mensal, produção agrícola das principais lavouras temporárias e perenes, e oito imagens capturadas pelos sensores TM e OLI dos satélites LANDSAT 5 e 8, no período compreendido entre 1984 e 2018. Os dados de precipitação foram modelados com o Índice de Precipitação Padronizado (SPI) e a severidade dos eventos de seca foram avaliados. As imagens foram classificadas com o plugin SCP (QGIS) e a qualidade avaliada com o Índice de Kappa. Foram registradas três secas prolongadas e extremas na região: no final das décadas de 1980 e de 1990 e entre 2013 e 2017. A classificação das imagens indicou períodos de retração da vegetação densa e expansão do solo exposto no período de decadência da cotonicultura, e a inversão desses padrões no período após a reforma agrária, com o estabelecimento da agricultura familiar com base agroecológica. Esse padrão foi novamente invertido, com a menor proporção de vegetação densa (5%) e maior proporção de solo exposto (45%) observadas nessa paisagem, no período de instalação do perímetro irrigado para o agronegócio. Diante do exposto, foi possível inferir que a alternância dos modelos socioeconômicos condicionou a dinâmica espaço-temporal da cobertura vegetal e foi responsável pelos quadros de degradação ambiental no entorno do SALS, sendo esses padrões agravados com a recorrência de períodos de secas prolongadas e extremas. Nesses períodos, o SALS provavelmente esteve mais vulnerável aos efeitos diretos e indiretos das atividades antropogênicas comuns nessa paisagem.

Palavras-chave: Caatinga; Agricultura; Seca; Sensoriamento Remoto.

Spatio-Temporal Dynamics of the Semi-Arid Landscape in Apodi/RN and its Socioeconomic and Environmental Drivers

ABSTRACT

Apodi, like many municipalities in the Northeast, underwent structural changes conducted by two main drivers: alternation of socioeconomic models and seasonal and prolonged periods of drought. Among the socioeconomic models, Apodi passed by large landowners, agrarian reform, expropriation of land for irrigated perimeters and installation of agribusiness companies. These conditions negatively impacted the vegetation cover, degrading the landscape and threatening the Lajedo de Soledade Archaeological Site (SALS) located in the middle of this landscape, an important

cultural and environmental patrimony. In this context, the objective of this study was to analyze the spatio-temporal changes in the landscape around SALS and to infer about the influence of socioeconomic and environmental drivers. For this, a survey of the region's history, precipitation data, agricultural production of the main crops, and eight images captured by the TM and OLI sensors of the LANDSAT 5 and 8 satellites, between 1984 and 2018, were used. Precipitation data was modeled using the Standardized Precipitation Index (SPI). The images were classified using the SCP plugin (QGIS) and the quality was assessed using the Kappa Index. It was observed that there were three prolonged and extreme droughts events in the region: late 1980s and 1990s and between 2013 and 2017. The classification of the images indicated periods of dense vegetation reductions and exposed soil expansions, in the period of decay of cotton culture, and the reversal of these patterns after agrarian reform, with the establishment of family farming on an agroecological basis. This pattern was again reversed, with the lowest proportion of dense vegetation observed (5%) and a higher proportion of exposed soil (45%) observed in this landscape, during the period of installation of the irrigated perimeter for agribusiness. Thus, it was possible to infer that the alternation of socioeconomic models conditioned the spatio-temporal dynamics of the vegetation cover and was responsible for the environmental degradation conditions surrounding the SALS, these patterns being aggravated by the recurrence of periods of extreme and prolonged drought. During these periods, SALS was probably more vulnerable to the direct and indirect effects of anthropogenic activities common in this landscape.

Keywords: Caatinga; Agriculture; Drought; Remote Sensing.

Introdução

O semiárido nordestino é caracterizado pela precipitação pluviométrica média em torno de 800 mm anuais, índice de aridez de Thornthwaite igual ou inferior a 0,50, e déficit hídrico diário igual ou superior a 60% (SUDENE, 2017). As variações espaciais e temporais nas condições climáticas, juntamente com a diversidade de rochas (70% cristalina e 30% sedimentares) e o relevo, condicionam a grande diversidade de solos e formações vegetais no semiárido brasileiro (Marques et al., 2014; Silva et al., 2017). Em decorrência dessa heterogeneidade nas condições abióticas é comum encontrar solos arenosos e profundos a poucos metros de distância de solos argilosos e rasos, e diferentes formações vegetais associadas.

A elevada heterogeneidade edafoclimática do semiárido modelou sua vegetação predominante, a floresta tropical sazonalmente seca, a qual exibe pelo menos 13 fisionomias diferentes, as caatingas. Por esse motivo, as caatingas se apresentam tanto como áreas abertas, dominadas por espécies arbustivas e cactáceas, como também florestas com espécies arbóreas de pequeno e médio porte, arbustos e herbáceas, que variam em grau de conservação de acordo com o histórico de uso e ocupação humana (Queiroz et al., 2017; Monteiro & Kurtz, 2020). Diferentemente das espécies vegetais de outros biomas brasileiros, as espécies da Caatinga desenvolveram adaptações únicas para sobreviver às condições climáticas do semiárido (Marques et al. 2020), como troncos retorcidos, folhas pequenas, presença de espinhos, acúmulo de água nos tecidos (espécies suculentas), diferentes graus de sensibilidade à seca em espécies arbóreas, respostas fisiológicas rápidas em herbáceas, que crescem e florescem após os primeiros eventos chuvosos (Queiroz et al., 2009;

Mesquita et al., 2018). Outra adaptação marcante é a perda de folhas em espécies arbóreas e arbustivas com o avanço da estação seca (Queiroz et al., 2009). Assim, constata-se que o regime de precipitações é um importante modelador da produção de biomassa vegetal no semiárido (Castanho et al., 2020; Silva et al. 2020a), no entanto, em anos de secas prolongadas, observa-se elevada mortalidade e retração da maioria das formações vegetais, causando graves prejuízos econômicos, ecológicos e humanos (Cunha et al., 2012; De Azevedo et al., 2018; Lima et al., 2016; Barbosa et al., 2019; Rocha Junior et al., 2019; Silva et al. 2020a).

Além disso, a região do semiárido apresenta um histórico secular de alterações antrópicas, que se intensificaram no interior do Nordeste a partir do século XVIII. Nesse período, a economia era baseada na pecuária bovina extensiva, e a produção de alimentos voltada para subsistência (Almeida, 2012; Sampaio et al., 2009). Com o crescimento da população, a cobertura vegetal natural foi desmatada para fornecer lenha e para dar espaço para lavouras e espaços urbanos (Souza, 1979). Pelo fato de o algodão ser uma espécie muito adaptada ao clima semiárido (Silva et al., 2020), no século XIX, mais de dois milhões de hectares da caatinga foram convertidos em plantios de algodão arbóreo, mesclado com algodão herbáceo (esse em menor proporção) ambos destinados ao mercado externo (Furtado, 1968). No entanto, depois da década de 1980, diversos fatores enfraqueceram a cotonicultura no Nordeste, entre eles as reduções tributárias sobre as fibras de algodão estrangeiras (Beltrão, 1996), as secas prolongadas (Marengo et al., 2018) e os ataques da praga bicudo (*Anthonomus grandis* Boheman). Como

consequência, a cotonicultura no Nordeste quase desapareceu, deixando várias áreas em estado de erosão avançado (Sampaio et al., 2017).

No semiárido, a cotonicultura e outras atividades antropogênicas como o desmatamento e as queimadas para a agricultura, o corte seletivo de espécies arbóreas para produção de lenha e carvão vegetal (Gioda, 2019; Hora et al. 2021), e a sobrecarga animal têm aumentado a susceptibilidade dos solos à desertificação, sendo esse processo agravado em períodos de secas prolongadas (Almeida et al., 2017; Lemos et al., 2020; Sá et al., 2010; Marengo et al. 2016; Tomasella et al., 2018; Ramalho & Guerra, 2018). Todos esses fatores têm aumentado a vulnerabilidade social no semiárido (Vieira et al., 2020), que historicamente teve sua mão de obra explorada nos latifúndios e atualmente isso se repete nas empresas do agronegócio. Apesar de ter um histórico de reforma agrária na década de 1990, a população do município de Apodi vivenciou uma mudança drástica no sistema produtivo em 2011, quando o governo desapropriou mais de 13 mil hectares de terras para instalação de um perímetro irrigado e empresas do agronegócio, o que tem gerado diversos conflitos (BRASIL, 2011; Pinto et al., 2015; Pinto Filho e Lunes, 2019; Rêgo et al., 2021).

No meio dessa paisagem marcada por tantas mudanças socioeconômicas e ambientais, encontra-se o Sítio Arqueológico Lajedo de Soledade (SALS), que conta com mais de 1 km² de afloramentos calcáreos, inúmeros fósseis e pinturas rupestres, sendo considerado um dos mais importantes sítios arqueológicos do Brasil (Porpino, 2004). Além disso, pesquisas recentes encontraram peixes anuais raríssimos nas lagoas intermitentes do SALS, demonstrando também sua importância ecológica (Oliveira et al., 2018). No entanto, todo esse patrimônio encontra-se ameaçado de maneira direta pelas atividades antropogênicas circundantes, e indiretamente pela redução na cobertura vegetal natural, que atua como proteção e barreira ao SALS, fato esse agravado com a recorrência de secas prolongadas. Nesse contexto, o objetivo do presente estudo foi analisar as mudanças espaço-temporais na paisagem do entorno do SALS utilizando uma série temporal de 34 anos (1984 a 2018) de dados e inferir sobre seus condicionantes socioeconômicos e ambientais (recorrência das secas prolongadas). Considerando que: (i) muitas atividades antrópicas acarretam mudanças mais drásticas na cobertura vegetal e no solo, muitas vezes até irreversíveis; (ii) e que muitas espécies da Caatinga apresentam adaptações ao déficit hídrico decorrente de secas

sazonais, será avaliada a hipótese de que os condicionantes socioeconômicos impactam de maneira mais preponderante a paisagem, quando comparada aos condicionantes ambientais.

Material e métodos

Área de estudo

O Sítio Arqueológico Lajedo de Soledade (SALS) está localizado no distrito de Soledade (05°35' S e 037° 48' W), no município de Apodi, território potiguar na microrregião da Chapada do Apodi, estado do Rio Grande do Norte (Figura 1), a cerca de 420 km de Natal, a capital do estado (Spencer, 2005). Segundo a classificação de Köppen o clima da região é semiárido quente, tipo BSw'h', com as chuvas de verão se retardando para o outono, com temperatura média anual de aproximadamente 28°C e precipitação acumulada média anual de 500 a 800 mm, distribuídas geralmente entre três a seis meses (Lima Júnior, 2014; Velloso et al., 2002).

Para identificar a área de influência da paisagem do entorno do SALS optou-se por utilizar a legislação que delimita a Zona de Amortecimento (ZA) no entorno de uma Unidade de Conservação (UC), pois não foi identificado legislação que delimite a área de influência ou de amortecimento para sítios arqueológicos. No contexto de uma UC, a ZA tem como objetivo filtrar ou reduzir os impactos gerados pelas atividades antrópicas da paisagem do entorno da UC. Para isso utilizamos como referência o raio de 10 km (*buffer*) gerado ao redor do ponto central do SALS. O limite de 10 km era definido para a ZA na Resolução do CONAMA de N°13/90, que apesar de ter sido revogada pela Resolução de N° 428/2010, diminuindo a ZA para UC sem plano de manejo, optou-se pelo maior valor deste parâmetro por ser mais conservativo. A área total compreendida dentro desse *buffer* de 10 km de raio foi de 364,8 km² (Figura 1).

Geologia e Solo

A região do Oeste Potiguar é composta por materiais de dois períodos geológicos, a zona sedimentar e a zona do cristalino. A zona sedimentar data das eras mesozoica e cenozoica, onde se encontram o calcário da formação Jandaíra e o Arenito-Açu. Além disso, são encontradas também fósseis de conchas de moluscos e ossos de vertebrados quaternários. Na zona do cristalino encontram-se formações da era pré-cambriana, com rochas metamórficas e magmáticas intrusivas (Porpino, 2004). Os solos predominantes no município de Apodi são mais profundos e de alta

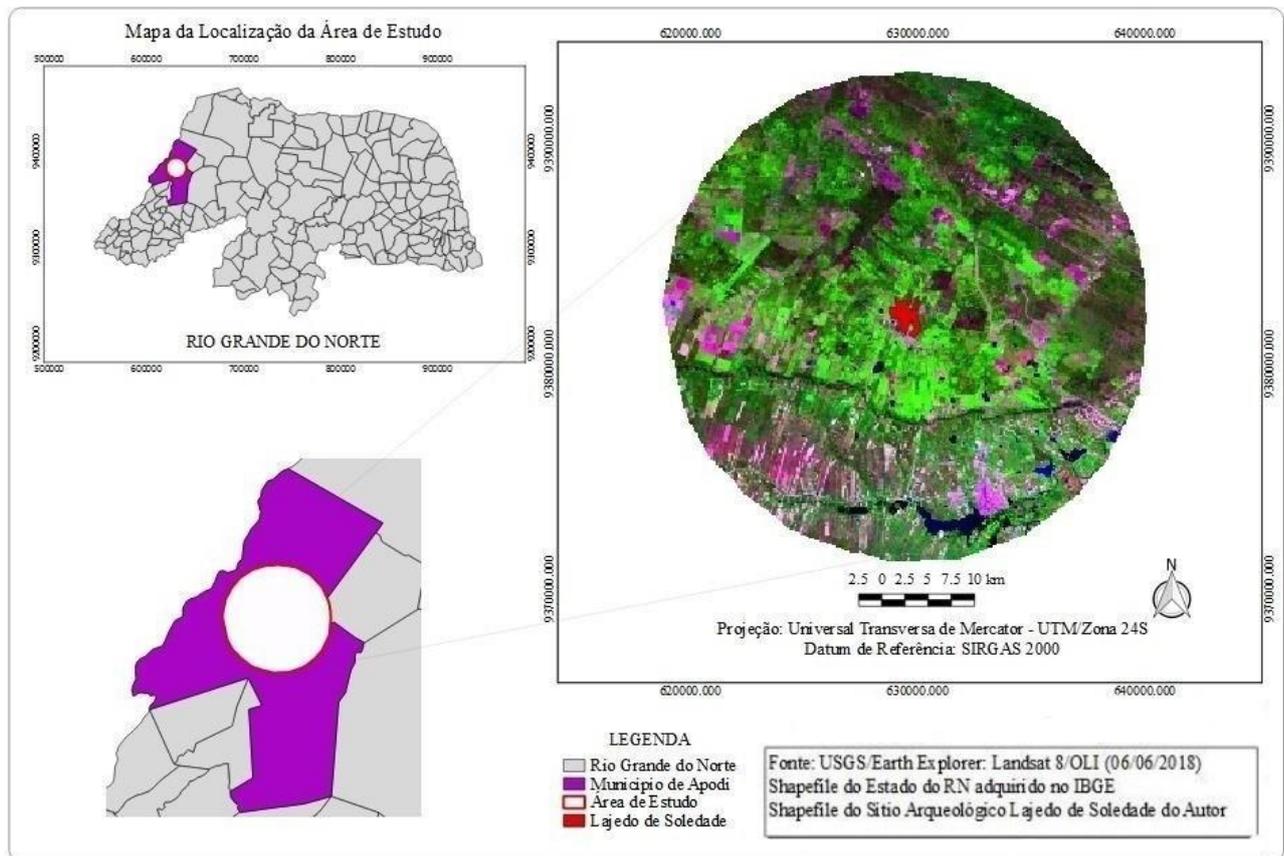


Figura 1. Localização do Sítio Arqueológico Lajedo de Soledade (SALS), no município de Apodi/RN, com destaque para a paisagem estudada.

fertilidade natural sendo as classes predominantes Argissolos Vermelho-Amarelo, Cambissolos e

Vegetação

Em Apodi são encontradas a vegetação ciliar remanescente de caatinga, composta basicamente de palmeiras carnaúba (*Copernicia prunifera*), e a vegetação caatinga hiperxerófila. A vegetação ciliar remanescente ocorre nas várzeas do rio Apodi e no entorno da lagoa do Apodi, na região mais ao sul da paisagem estudada. Já a vegetação caatinga hiperxerófila é composta por espécies arbóreas e arbustivas, e tem distribuição mais ampla na paisagem. Os exemplares mais comuns nessa paisagem são a jurema-preta (*Mimosa tenuiflora*), faveleira (*Cnidoscolus quercifolius Pohl*), catingueira (*Caesalpinia pyramidalis*), e o mandacaru (*Cereus jamacaru*) (Prado, 2003; Velloso et al., 2002).

Histórico do uso da terra na Chapada do Apodi

Até a década de 1970, a Chapada do Apodi/RN estava dividida entre grandes latifundiários, que plantavam principalmente algodão arbóreo. No entanto, a partir da década de 1990, com a crise do algodão, os latifundiários ficaram enfraquecidos, o que impulsionou a luta

Latossolos Eutrófico, com mananciais hídricos abundantes.

dos agricultores pela reforma agrária. Neste período, vários assentamentos rurais foram criados por meio da desapropriação de terras realizadas pelo Instituto Nacional de Reforma Agrária (INCRA). No período entre 1990 e 2010, a região estava caracterizada por vários assentamentos rurais baseados na agricultura familiar com o uso agroecológico do solo, água e resíduos (Pinto et al., 2015). Porém, em 2011 foi publicado um Decreto Presidencial (nº 0-001 de 10 de junho de 2011) que autorizava a desapropriação de mais de 13 mil hectares de terras produtivas (BRASIL, 2011) para as obras do Perímetro de Agricultura Irrigada de Santa Cruz Apodi e instalação de empresas do agronegócio, que efetivaram suas atividades em 2016.

Esse novo modelo produtivo, baseado no monocultivo extensivo e exportador, com uso do pacote tecnológico da Revolução Verde (Pinto Filho e Lunes, 2019), que inclui defensivos agrícolas, maquinário pesado, e fertilizantes químicos, resultou nos mais diversos impactos negativos em diversas áreas, como em saúde pública, condições dos trabalhadores, concentração

de terras, problemas ambientais, até sociais e políticos (Rigotto, 2011).

É importante destacar que o SALS, objeto central do presente estudo, está localizado na área de influência do perímetro irrigado e das empresas do agronegócio instaladas (porção norte da paisagem estudada). No entanto, os impactos dessas obras sobre o SALS não foram contemplados no relatório de impacto ambiental (RIMA) desses empreendimentos. Dessa forma, outros dispositivos legais, como o relatório de caracterização e avaliação da situação atual do patrimônio arqueológico, assim como o programa de prospecção e resgate não foram realizados, deixando o SALS à merce dos impactos negativos decorrentes dos empreendimentos (DOSSIÊ, 2018; Jacinto, 2015).

Coleta de dados

A variabilidade dos condicionantes ambientais na paisagem de Apodi foi sumarizada de duas formas: (1) com a variação temporal da precipitação acumulada anualmente; (2) com o Índice de Precipitação Padronizado (*Standardized Precipitation Index*, SPI) que estima a severidade dos períodos de seca (Mckee et al., 1993), calculado semestralmente. Basicamente, o SPI compara o padrão de precipitação do período estudado com o padrão de precipitação histórico, gerando desvios positivos, que indicam períodos chuvosos, e desvios negativos, que indicam períodos secos. Para ambas métricas utilizou-se dados mensais de precipitação, de janeiro de 1984 a dezembro de 2018, para o município de Apodi. A modelagem do SPI foi realizada no programa estatístico R, versão 4.0.2, utilizando o pacote SPEI

(Beguería e Vicente-Serrano, 2017). Os dados de precipitação foram adquiridos no site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), para a Estação Climatológica de Apodi (número sinótico 82590).

A produção agrícola no município esteve presente na forma de cultivos temporários e perenes. Ela foi avaliada por meio do cálculo da área anual média plantada com cultivos temporários e perenes, considerando somente as principais espécies cultivadas em Apodi. Utilizou-se como critério de seleção de importância as espécies que foram plantadas em mais de 100 ha ao longo de um ano. Foi representada também a variabilidade na área total anual plantada com as principais lavouras temporárias (arroz, feijão, melancia, melão, milho e sorgo) e perenes (algodão, banana, castanha de caju e mamão). Para ambas as séries temporais foram utilizados dados de produção para o período entre 1988 a 2018. Dados anteriores a esse período não estavam disponíveis. As informações foram obtidas no banco de dados online do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (<https://sidra.ibge.gov.br/>).

Para analisar e interpretar as mudanças espaciais e temporais na paisagem foram selecionadas oito imagens de satélites da cena 216/064 da série Landsat (Tabela 1), disponibilizadas gratuitamente pelo banco de dados da *United States Geological Survey* - USGS (<https://earthexplorer.usgs.gov/>). Utilizou-se como critérios a presença de até 10% de nebulosidade na cena, e a data de captura de cada imagem coincidindo com o período de transição entre a estação chuvosa e a seca na região (Tabela 1).

Tabela 1. Características das imagens de satélite utilizadas.

Satélite	Sensor	Órbita/Ponto	Resolução Espacial	Resolução Espectral	Data de Aquisição
Landsat 5	TM	216/064	30m	8 Bits	26/07/1984
					09/08/1989
					26/08/1995
					04/07/1999
					02/08/2004
Landsat 8	OLI	216/064	30m	16 Bits	01/09/2009
					14/08/2014
					06/06/2018

Análise de dados

Todos os procedimentos e elaboração de mapas descritos foram realizados no software QGIS 2.18.13 'Las Palmas'. Inicialmente, todas as imagens foram reprojatadas para o hemisfério sul e convertidas para o datum SIRGAS 2000 e zona 24S (EPSG: 31984). Para identificar as unidades da paisagem da área, foi utilizada a composição falsa cor (RGB). Para isso foram empilhadas as bandas 5 4 3 do L5 e as bandas 6 4 3 do L8 (*bandset*). A escolha dessa composição justifica-se pela facilidade de visualizar as diferenças entre formações vegetais, solos, corpos aquáticos e áreas urbanas (INPE 2001).

A classificação supervisionada foi realizada com o plugin *SCP (Semi- Automatic Classification Plugin)*. Inicialmente foi realizada a calibração radiométrica de cada banda, para todas as imagens estudadas, utilizando a opção *Pre-processing*. Utilizou-se o algoritmo *Minimum Distance* na classificação das imagens. Para auxiliar na fotointerpretação dos elementos do *bandset*, foram considerados os padrões de tonalidade e cor, textura, forma e tamanho dos objetos. Assim, foi possível distinguir cinco classes de uso e cobertura do solo: vegetação densa, que corresponde à caatinga arbórea arbustiva e plantação de mamoeiros (Figuras 2A e 2B), vegetação semidensa, que corresponde à caatinga

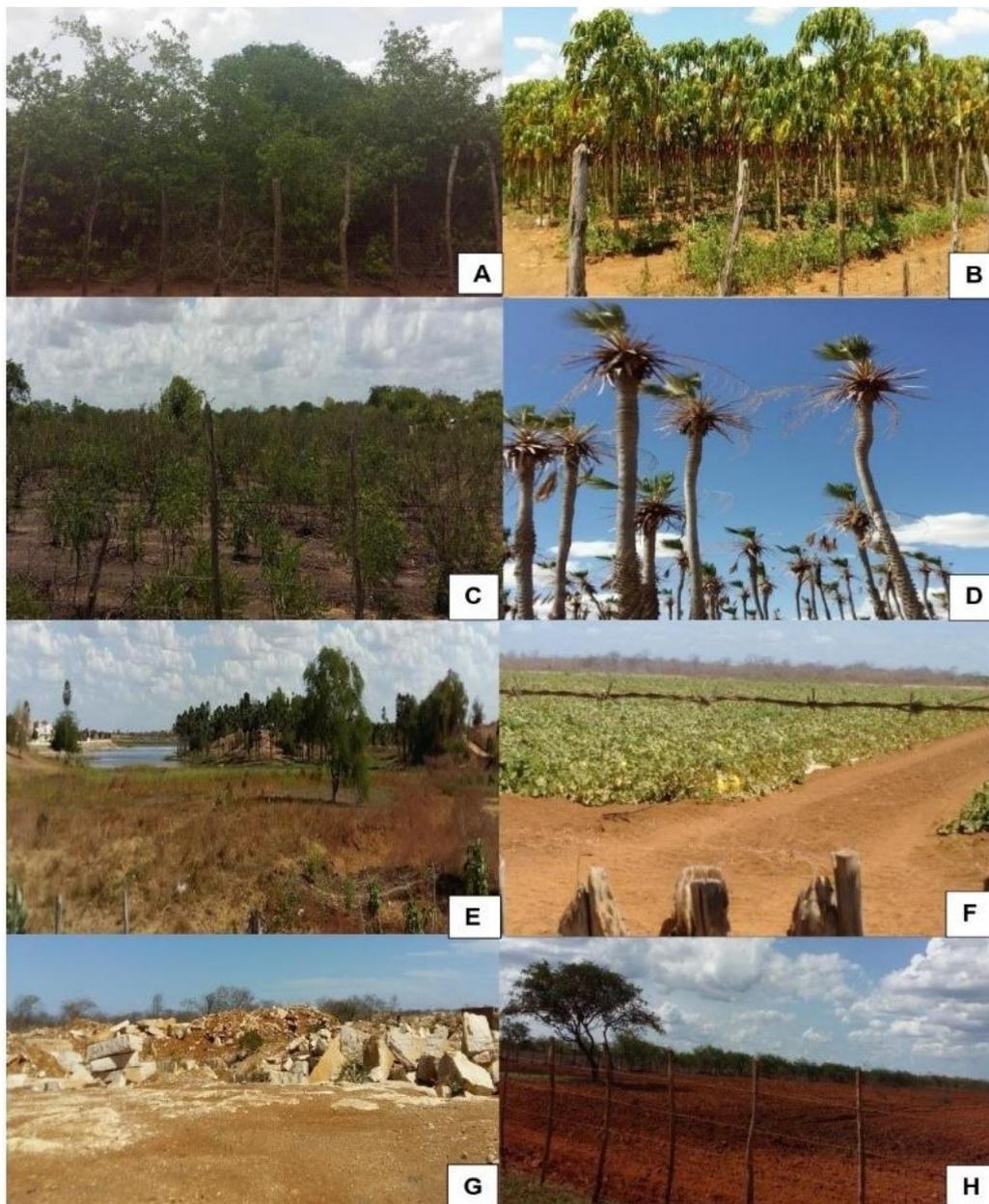


Figura 2: Registros fotográficos das classes do uso e cobertura identificados em campo: vegetação densa (A e B), vegetação semidensa (C e D), vegetação aberta (E e F), solo exposto (G e H) e corpos aquáticos (E).

arbustiva e aos carnaubais (Figuras 2C e 2D), vegetação aberta, que equivale à vegetação herbácea nativa e lavouras rasteiras (Figuras 2E e 2F), solo exposto que incluem cultivos em pousio,

afloramentos rochosos e urbanização (Figuras 2G e 2H), e corpos aquáticos, que corresponde à lagoado Apodi e lagoas temporárias (Figura 2E).

A validação dos dados foi feita apenas para o ano de 2018, pela inexistência de informações para os anos anteriores. Para isso, utilizou-se como verdade terrestre 168 amostras (unidades da paisagem) localizadas na paisagem estudada, visitadas em 28/09/2017 e 8/03/2018. As coordenadas foram obtidas com GPS Garmin modelo GPSMAP 78s. Essas amostras foram utilizadas para construir a matriz de confusão e para o cálculo da acurácia geral. Em seguida, foi calculado o coeficiente de Kappa (Bishop et al., 1975). Para avaliar a qualidade da Acurácia Geral utilizou-se a classificação sugerida por Landis e Koch (1977) que considera valores de K entre 0,4 e 0,6 como bom; entre 0,6 e 0,8 muito bom e entre 0,8 e 1 excelente.

Resultados e Discussão

Varição temporal no regime de precipitação no município de Apodi

A precipitação acumulada anual, para o período compreendido entre 1984 e 2018, apresentou-se bastante variada (Figura 3), com valores mínimos anuais próximos a zero, muitos anos com valores intermediários entre 800mm e 1200mm e um ano com valor extremo de 1800mm (1985). Os anos mais secos foram 1989, 1993, 2001, 2012 e 2015 (Figura 3). O período compreendido entre 2002 e 2011 foi o mais chuvoso para a série de dados estudada.

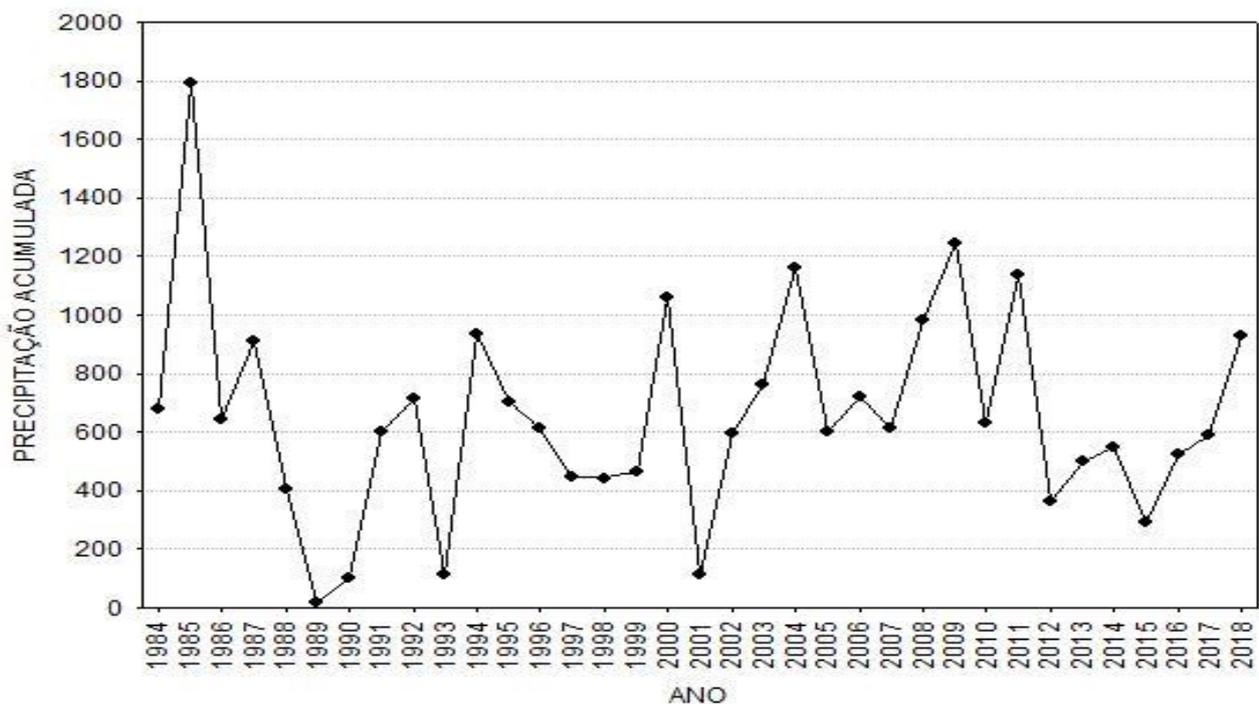


Figura 3. Variação temporal da precipitação anual acumulada (mm) para a região de Apodi, no período compreendido entre 1983 e 2018.

Durante o período de 1983 a 2018, a região passou por vários eventos de seca prolongada com duração muitas vezes de dois anos ou mais, como as que ocorreram no final da década de 1980, entre 1997 e 1999, e entre 2012 e 2017 (Figura 4) (Cunha et al., 2018; Cunha et al., 2019; Martins et al., 2018a; Martins et al., 2018b;), sendo este último

período considerado uma das secas mais severas das últimas décadas (De Azevedo et al., 2018) A maioria dos eventos de seca foram classificados, pelo menos em algum ano, como severos (valores entre -1,5 e -2) ou extremos (valores menores que -2) (Figura 4), o que mostra que mesmo as secas sazonais podem ter impactos negativos na região.

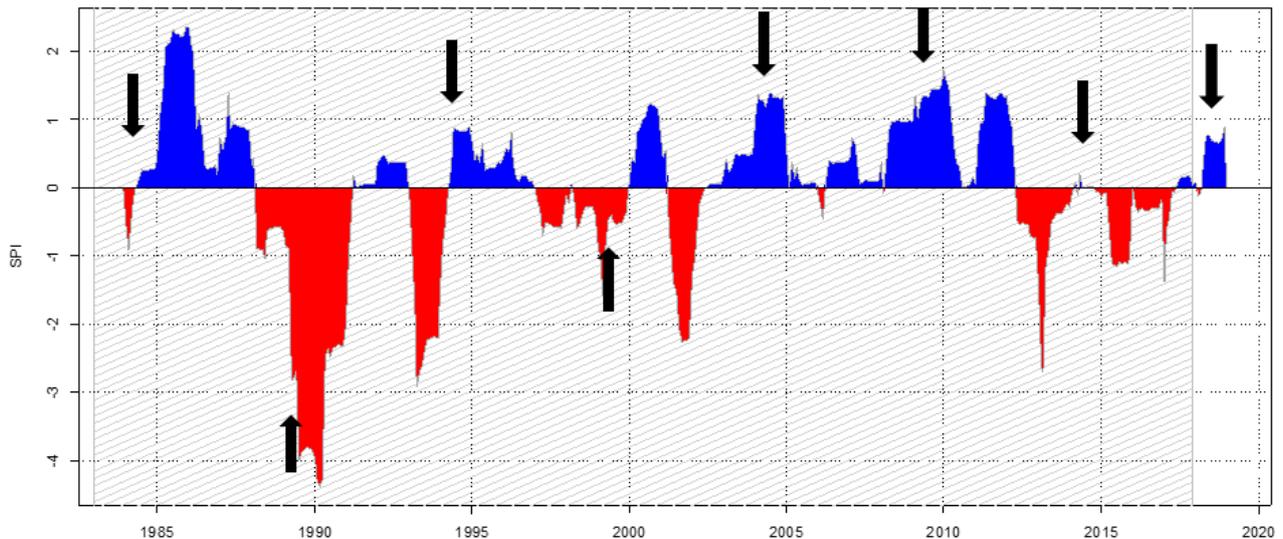


Figura 4. Variação temporal do Índice de Precipitação Padronizado (SPI) para a região de Apodi, para o período entre 1984 e 2018. As setas em preto indicam as datas que a paisagem foi avaliada com as imagens de satélites.

Quando se compara os eventos de seca indicados pelo SPI, para o município de Apodi, com as secas documentadas para toda a região Nordeste (1987, 1992-93, 1997-98, 2002-03, 2010 e de 2012-15), no intervalo de interesse dessa pesquisa (CGEE, 2016), alguns períodos coincidem parcialmente, como em 97-98, 2002 e 2003, e 2012 a 2015. Por outro lado, em Apodi parece ter ocorrido um evento mais longo e contínuo de seca no final de 1980 e início de 1990 (Figuras 3 e 4).

Essas diferenças devem ser interpretadas com cautela, uma vez que os dados de precipitação para esse período apresentavam muitos registros com valor zero, o que pode ser entendido como algum equívoco na etapa de registro, leitura ou digitalização desses dados, ou mesmo um indício de que Apodi diferiu da tendência do Nordeste. De fato, os dados de área plantada nesses anos (Figuras 5, 6, 7 e 8) indicam que a produção agrícola foi baixa entre 1989 e 1990, corroborando com a hipótese de que o período de seca em Apodi foi mais prolongado e severo que a região Nordeste em geral. Observou-se diferença também para o ano de 2010, que na série do SPI apontou como ano chuvoso para Apodi, porém para a região Nordeste indicaram se tratar de ano seco. No entanto, no Ceará, estado muito próximo de Apodi, não foi relatado seca em 2010, somente entre 2012-2016 (SRH – CE), de maneira semelhante à calculada pela modelagem do SPI. Assim, é possível que a região tenha se comportado novamente de maneira distinta da maior parte do Nordeste.

Variação temporal nas áreas plantadas com culturas temporárias e perenes no município de Apodi

As culturas temporárias foram plantadas em todos os anos estudados, com valores anuais médios entre 1000 e 2000 hectares, exceto para 1990, 1993, 2010, e para o período entre 2012 e 2018, quando os valores médios plantados foram inferiores a 1000 ha (Figura 5). Deve-se atentar para o tamanho das barras de desvio-padrão, que para a maioria dos anos foram grandes (Figura 5), indicando que dentro dessa amostra de dados existem valores não homogêneos, o que pode estar ligado aos cultivos temporários de feijão e milho (Figura 7) que apresentaram valores de área plantada comparativamente superiores às demais espécies temporárias.

Comparativamente às culturas temporárias, as culturas perenes tiveram em média maiores valores médios de área plantada, entre 1000 e 2200 hectares por ano (Figura 6). A variação interanual média também foi menor em relação às culturas temporárias, que dependem mais intimamente do regime de chuvas da região (pelo menos até 2015, quando o perímetro irrigado ainda não tinha sido concluído). As barras de desvio-padrão também foram acentuadas para as espécies perenes, provavelmente em decorrência dos cultivos de algodão e castanha de caju (Figura 8) que apresentaram valores de área plantada desproporcionalmente maiores que os demais cultivos.

Agora avaliando separadamente as espécies cultivadas, as culturas temporárias que mais se destacaram em área plantada até 2012 foram o feijão e o milho, plantados em consórcio com o algodão arbóreo (Figuras 7 e 8) e herbáceo. A cotonicultura, por sua vez, apresentou expansão máxima em 1995 e declínio nos anos subsequentes, não sendo mais notificado seu plantio a partir de 2015 (Figura 8). Os cultivos de feijão e milho, apesar de apresentarem quedas drásticas em alguns períodos, mostravam recuperação nos anos seguintes (1989, 1992, 1995 e 1997; Figura 7). No entanto, a partir de 2012, essas culturas reduziram. Em contrapartida, a partir de 2000, o sorgo e o arroz expandiram. Porém, a partir de 2012 o sorgo deixou de ser plantado na região e o arroz foi reduzindo em área plantada. Em 2015, observou-se o avanço da fruticultura, com destaque para a expansão das áreas cultivadas com melancia e melão (Figura 7).

No município de Apodi, até o começo da década de 1990, a cotonicultura estava vinculada aos latifúndios, no entanto, foi enfraquecida por diversos motivos, entre eles, as secas recorrentes (Figuras 3 e 4), o impacto negativo da praga do algodoeiro (*Anthonomus grandis*), e a baixíssima

tributação e maior qualidade das fibras estrangeiras (Bezerra, 2011; Beltrão, 1996). Esses fatores, somados aos movimentos sociais, impulsionaram a reforma agrária em Apodi. Com isso, observou-se a redução do plantio de algodão e a expansão de cultivos de subsistência, como feijão, milho, arroz e o sorgo, este último utilizado como alimento para rebanhos no semiárido (Bezerra, 2011; Regitano Neto, 2016). Essa expansão dos plantios de feijão pode estar associada também à ocorrência de anos mais chuvosos entre 2000 e 2011, uma vez que essa espécie responde de maneira acentuada à variabilidade na precipitação (Batista et al., 2018).

Observou-se também a expansão das áreas cultivadas com cajueiros, que chegaram a quase 10 mil hectares em 2015 (Figura 8), como resultado do aprimoramento de técnicas de plantio (Serrano e Pessoa, 2016). No entanto, em 2018 houve uma redução drástica na área plantada com cajueiros, chagando a menos de 3 mil hectares, que pode estar mais relacionada às alterações no sistema produtivo, com o agronegócio voltado para fruticultura e expansão dos cultivos de melão e melancia (Figura 7), considerando que 2018 foi um ano chuvoso (Figuras 3 e 4).

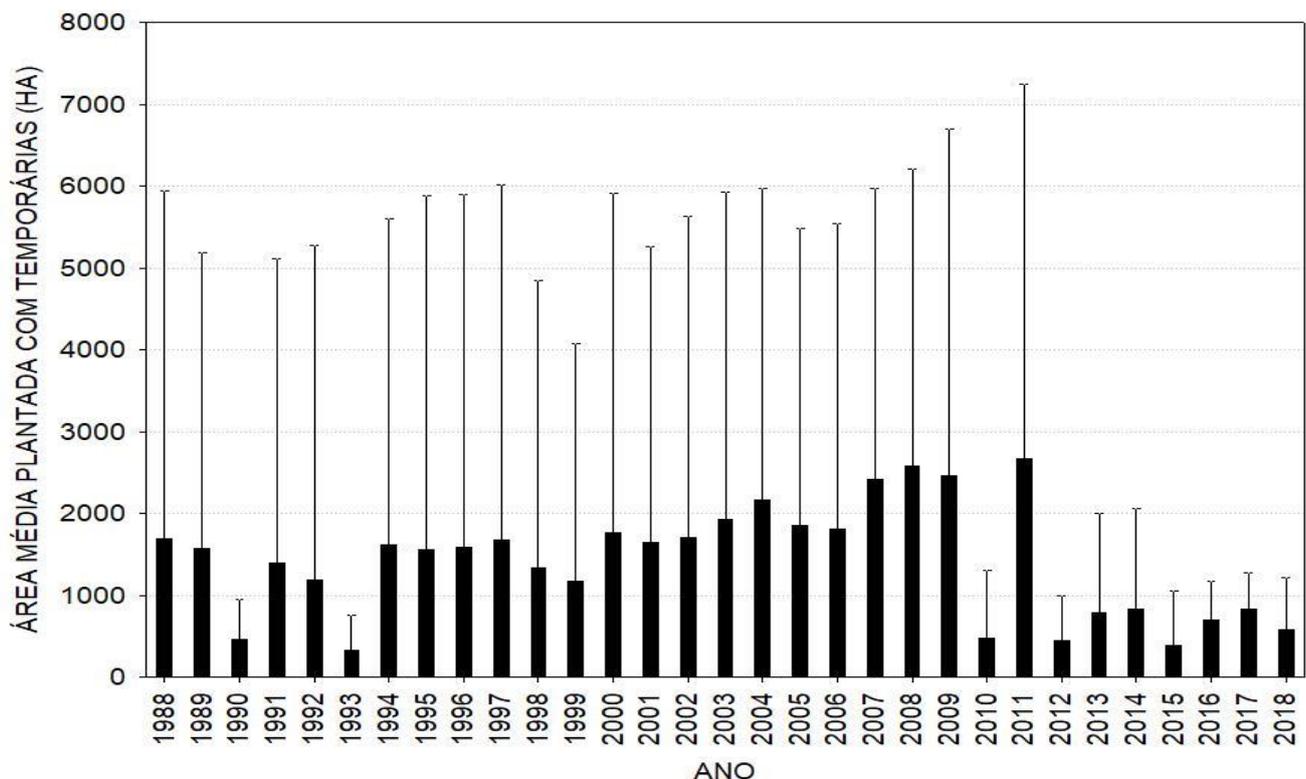


Figura 5. Variação temporal na área média anual plantada (ha) com lavouras temporárias no município de Apodi, no período entre 1988 e 2018. As colunas em preto representam os valores médios anuais e a barras o desvio-padrão. Fonte: IBGE.

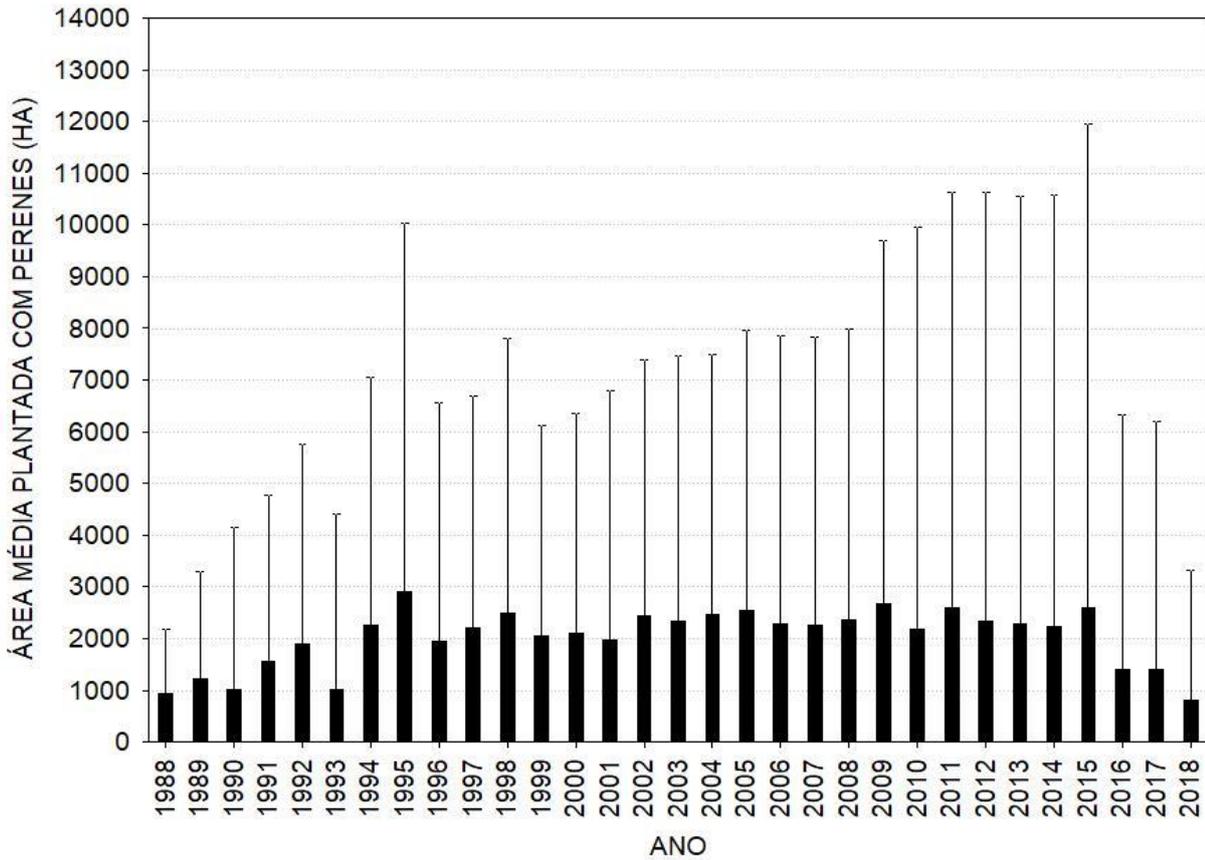


Figura 6. Variação temporal na área média anual plantada (ha) com lavouras perenes no município de Apodi, no período entre 1988 e 2018. As colunas em preto representam os valores médios anuais e a barras o desvio-padrão. Fonte: IBGE.

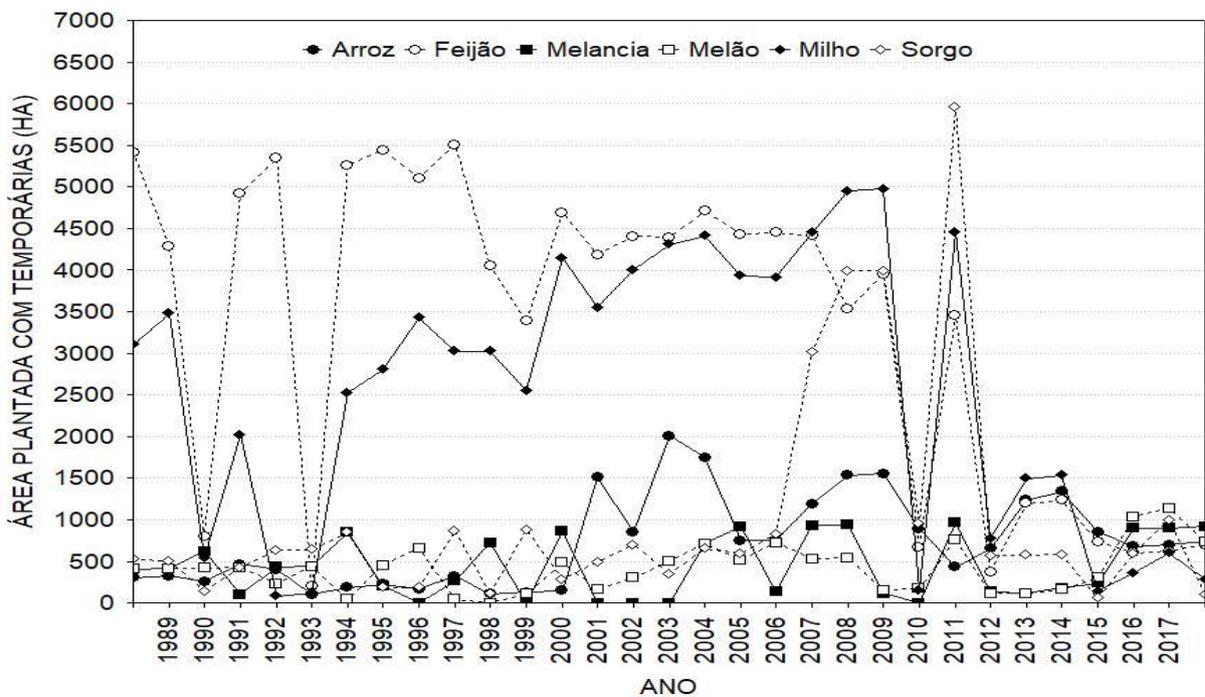


Figura 7. Variação temporal na área total anual plantada (ha) com as principais lavouras temporárias (arroz, feijão, melancia, melão, milho e sorgo) no município de Apodi, no período entre 1988 e 2018. Fonte: IBGE.

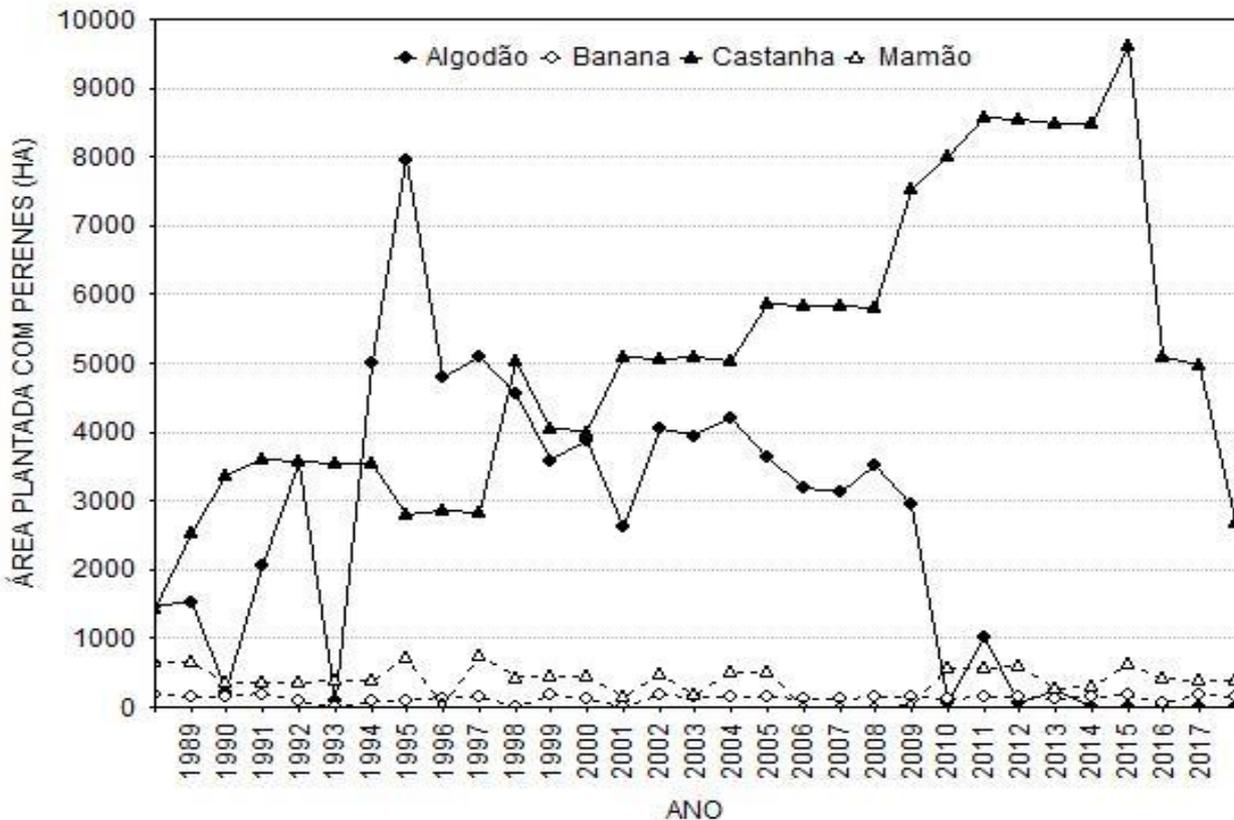


Figura 8. Variação temporal na área total anual plantada (ha) com as principais lavouras permanentes (algodão, banana, castanha de caju e mamão) no município de Apodi, no período entre 1988 e 2018. Fonte: IBGE.

Varição espaço-temporal das classes que compõem a paisagem no entorno da SALS

A avaliação da qualidade da representação da realidade terrestre para o mapeamento realizado no ano de 2018, expressos com a Acurácia Geral e o Índice de Kappa, apresentaram resultados satisfatórios, com valores superiores a 84%. De acordo com a classificação da qualidade do Índice de Kappa, o mapa classificado de 2018 (Kappa = 0,84) pode ser considerado excelente, o que legitima a representação da realidade terrestre para esse ano, como também aumenta a confiança na classificação dos demais anos.

De maneira geral, a paisagem no entorno do SALS apresentou-se bastante dinâmica no espaço e no tempo, com alternância entre períodos de retração e expansão das classes de vegetação densa, e na direção oposta, a classe solo exposto (Figura 9). do SALS apresentou-se bastante dinâmica no espaço e no tempo, com alternância entre períodos de retração e expansão das classes de vegetação densa, e na direção oposta, a classe solo exposto (Figura 9). Por exemplo, entre 1984 e 1995, observou-se a retração da vegetação densa e expansão do solo exposto (Figura 9). É importante destacar que a classe solo exposto em 1995 ocupou

quase metade da área da paisagem estudada (Figuras 9 e 10 C). Já a vegetação aberta diminuiu de 1984 a 1989, aumentando em 1995 (Figura 9), principalmente na região ao norte do SALS (Figura 10 C), região com maior aptidão agrícola.

Em 1989 observou-se o predomínio da vegetação semidensa, que ocupou quase 45% da área total da paisagem (Figuras 9 e 10 B). Por outro lado, em 1995, a classe solo exposto estava predominando na paisagem, exceto nas regiões mais ao norte do SALS (Figura 10 C).

Os padrões observados entre 1984 e 1995 podem estar relacionadas a três processos: o ciclo do algodão, as secas prolongadas que assolaram a região e, por fim, a reforma agrária. O declínio (de 1984 a 1989) e o último pico (em 1995) da cotonicultura podem estar expressos em duas classes, a **vegetação densa**, que reduziu e a **vegetação aberta**, que expandiu em 1995. A inserção do algodão nessas duas classes se justifica pelo fato de nesse período terem sido cultivados duas espécies de algodão: o arbóreo e o herbáceo. Então, dependendo da idade do plantio, da densidade de indivíduos plantados e da predominância da espécie plantada (arbóreo ou herbáceo) esses plantios podem aparecer em uma das classes de vegetação citadas (densa ou aberta).

Além disso, a retração da vegetação densa pode ter sido agravada por outros fatores como os quatro anos de secas extremas que assolaram a região entre 1984 e 1995, e atividades humanas como desmatamento e queimadas para agricultura, assim como o corte seletivo de espécies arbóreas para produção de lenha, carvão vegetal (Gioda, 2019; Hora et al., 2021), e construção civil, atividades comuns nos municípios do Nordeste brasileiro

(Bezerra, 2011; Oliveira, 2015). A expansão da vegetação aberta em 1995 pode estar refletindo também a resposta positiva da agricultura de sequeiro em decorrência de dois anos chuvosos. É possível visualizar essa expansão nas áreas plantadas com algodão (Figura 8), com feijão e milho (Figura 7) em 1995.

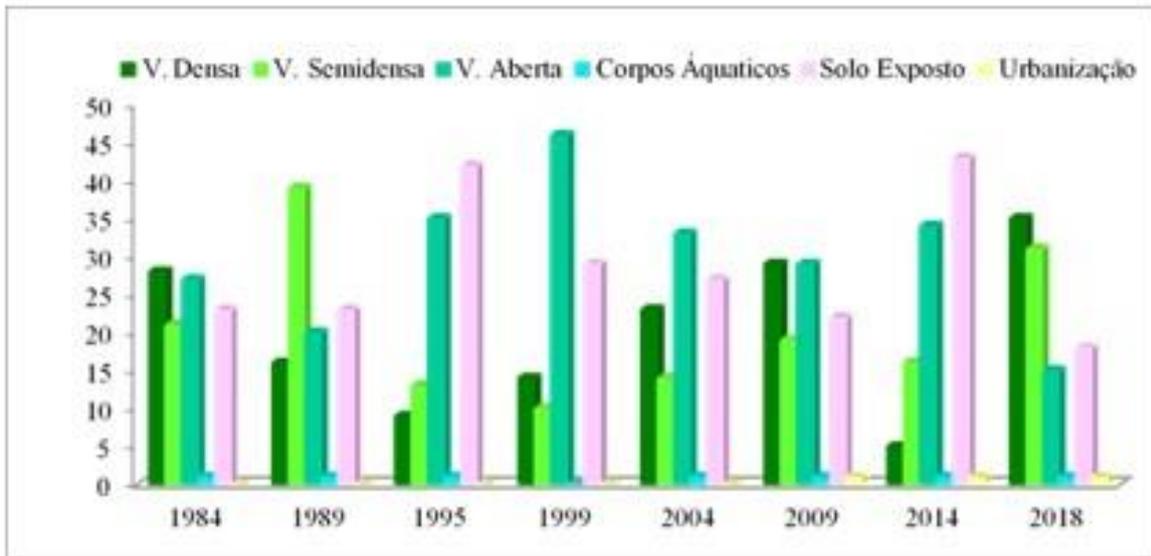


Figura 9. Percentual das classes de uso e cobertura do solo na paisagem do entorno do SALS no período entre 1984 e 2018. V. Densa = Vegetação Densa; V. Semidensa = Vegetação Semidensa; V. Aberta = Vegetação Aberta.

Nos períodos seguintes (1999 a 2009), observou-se um padrão oposto, a expansão da vegetação densa e semidensa, e a retração da vegetação aberta e do solo exposto (Figuras 10 D, 10 E e 10 F). Nesse período, a reforma agrária estava consolidada, sendo o modelo produtivo baseado na agricultura familiar, com base agroecológica, com a adoção de períodos de descanso da terra (pousio - incluído na classe solo exposto) e a presença da reserva legal (Pinto et. al., 2015; Pinto Filho et al., 2020). Essas práticas (pousio e reserva legal) podem estar relacionadas com a expansão da vegetação semidensa, como reflexo do processo de sucessão ecológica nessas áreas.

Por outro lado, a expansão da vegetação

densa pode estar ligada ao aprimoramento das técnicas de plantio de caju, que aumentaram em área plantada nessa década (Figura 8), se tornando um importante produto destinado ao mercado externo (Pinto et. al., 2015). Já a redução da vegetação aberta pode estar relacionada ao declínio do algodão (Figura 8). Em contrapartida, observou-se a expansão de outras culturas, como feijão, milho, arroz e sorgo (Sousa et al. 2019) (Figura 7). É importante destacar que essa década foi considerada chuvosa, marcada apenas por um ano de seca regular e um ano de seca extrema, o que favoreceu a biomassa vegetal da paisagem como um todo (Castanho et al, 2020).

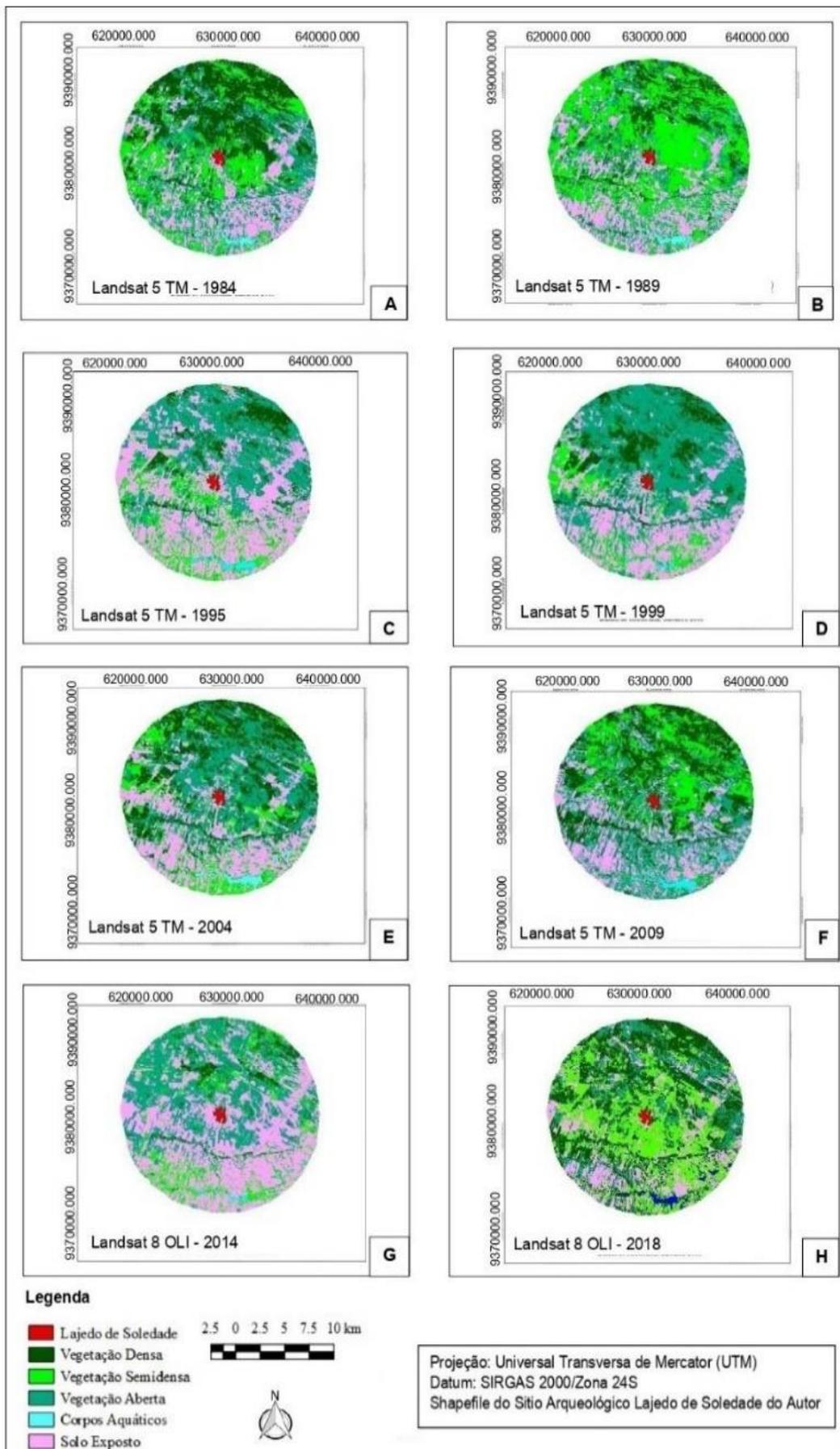


Figura 10. Paisagem do entorno do SALS classificada quanto às classes de uso e cobertura do solo, para os anos de: A - 1984; B - 1989; C - 1995; D - 1999; E - 2004; F - 2009; G - 2014 e H - 2018.

Em 2014 observou-se uma redução drástica na vegetação densa (5% de cobertura na paisagem) e expansão da classe solo exposto (cerca de 45% da paisagem), o que pode estar relacionado com os seguintes fatores: as obras do perímetro irrigado; o desalojamento das famílias rurais; e o avanço da seca prolongada que se iniciou em 2013 na região (Figuras 3 e 4). Em 2018 a vegetação densa e semidensa expandiram, e a vegetação aberta e solo exposto diminuíram. Nesse ano as empresas do agronegócio já estavam funcionando em Apodi (Pinto Filho e Lunes, 2019; Pinto Filho et al., 2020), investindo em lavouras com espécies arbóreas, como banana e mamão, que contribuíram para expansão da vegetação densa, assim como as lavouras de melancia e melão, que contribuíram na expansão da vegetação aberta (Figura 10 H).

Os corpos aquáticos e a urbanização apresentaram os menores valores de extensão na paisagem, em comparação com as demais classes porém a urbanização dobrou em área ao longo das décadas estudadas, apesar de 50% da população do município ser residente rural, pelo menos até 2010 (IBGE, 2010). É possível que essa proporção tenha sido modificada atualmente, uma vez que centenas de famílias foram desalojadas de suas terras em 2011.

Conclusões

As atividades agrícolas, notadamente o cultivo do algodão, a abertura dos assentamentos rurais, e o agronegócio condicionaram a dinâmica espaço-temporal da cobertura vegetal, e foram responsáveis pelos quadros de degradação ambiental, representados na classe de solo exposto no entorno do SALS. Esses padrões foram agravados pela recorrência de períodos de secas prolongadas e extremas, que assolaram a região no período estudado. Além disso, nos períodos de retração da cobertura vegetal natural, o SALS provavelmente esteve mais vulnerável aos efeitos diretos e indiretos das atividades antropogênicas comuns nessa paisagem.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Programa de Iniciação Científica Institucional (PICI) da Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA) pela concessão de bolsa de Iniciação Científica.

Referências

- Almeida, N.V. 2012. Ordenamento territorial geambiental da bacia hidrográfica do rio Taperoá, semiárido paraibano. Tese de doutorado em Geografia. Universidade Federal Fluminense. Niterói, Rio de Janeiro, Brasil. 238p.
- Almeida, N.V., Nascimento, F.R., Cunha, S.B. 2017. Condicionantes histórico e socioeconômico do processo de ocupação e degradação da bacia hidrográfica do rio taperoá In: Paraíba Pluralidade e Representações Geográfica / Da Silva, A.B., Gutirres, H.E. P., Galvão, J. C. (Org.). Campina Grande: Edufcg, V2. 420 P.
- Barbosa, H.A., Kumar, T.V.L., Paredes, F., Elliott, S., Ayuga, J.G. 2019. Assessment of Caatinga response to drought using Meteosat-SEVIRI Normalized Difference Vegetation Index (2008–2016). *Isprs Journal Of Photogrammetry And Remote Sensing*, [S.L.], v. 148, p. 235-252, fev. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2018.12.014>.
- Batista, C.B., Santos, J.P.O., Silva Filho, J.A., Sousa, J.I., Félix, R.J.S., Silva, J.L.C. 2018. Influence of rainfall variability on bean production (*Phaseolus vulgaris* L.) in a municipality of Brazilian semiarid. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, v. 03 N. 01, p. 001-007. 10.24221/jeap.3.1.2018.1590.001-007.
- Beguiría, S.; Vicente-Serrano, S.M. 2017. Calculation of the Standardised Precipitation-Evapotranspiration Index. R Package, version 1.7.
- Beltrão, N.E.M. 1996. Informações sobre o algodão no Brasil: situação atual, problemas, perspectivas e possíveis soluções. Série EMBRAPA-CNPA. Documentos, 48. Campina Grande: EMBRAPA-CNPA. p. 20.
- Bezerra, G.B. 2011. Avaliação da Eficiência de uso da Água no Algodoeiro irrigado na Chapada do Apodi sendo Simulações do Modelo SWAP. 2011. 139 f. Tese (Doutorado) - Curso de Meteorologia, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.
- Bishop, Y.M. Fienberg, Stephen E., Holland, Paul W. 1975. *Discrete Multivariate Analysis* -

- Theory and Practice. Cambridge, The Mit Press, p. 357.
- BRASIL. Decreto nº0-001, de 10 de junho de 2011. Declara de utilidade pública, para fins de desapropriação, pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas – DNOCS, a área de terra que menciona, localizada no município de Apodi, no estado do Rio Grande do Norte. 2011
- Castanho, A.D.A., Coe, M., Andrade, E.M., Walker, W., Baccini, A., CAMPOS, D.A., FARINA, M. 2020. A close look at above ground biomass of a large and heterogeneous Seasonally Dry Tropical Forest - Caatinga in North East of Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, [S.L.], v. 92, n. 1, p. 1-18, abr. 2020. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765202020190282>
- CGEE. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. 2016. Desertificação, degradação da terra e secas no Brasil. Brasília – Df: (cgee), p. 252. 2016. Disponível em: <<https://www.cgee.org.br/documents/10195/734063/DesertificacaoWeb.pdf>> Acesso em: 17 jun. 2020.
- Cunha, A.P.M.A. Tomasella, J., Ribeiro-Neto, G.G., Brown, M., Garcia, S.R.; Brito, S.B., Carvalho, M. A. 2018. Changes in the spatial-temporal patterns of droughts in the Brazilian Northeast. *Atmospheric Science Letters*, [S.L.], v. 19, n. 10, p. 1-8, 19 set. 2018. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/asl.855>.
- Cunha, A.P.M.A., Zeri, M., Leal, K.D. Costa, L., Cuartas, L.A., Marengo, J.A., Tomasella, J., Vieira, R. M., Barbosa, A.A., Cunningham, C. 2019. Extreme Drought Events over Brazil from 2011 to 2019. *Atmosphere*, [S.L.], v. 10, n. 11, p. 1-20, 24 out. 2019. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/atmos10110642>.
- Cunha, J.E.B.L., Rufino, I.A.A., Silva, B.B., Chaves, I.B. 2012. Dinâmica da cobertura vegetal para a Bacia de São João do Rio do Peixe, PB, utilizando-se sensoriamento remoto, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. Campina Grande, PB. v.16, n. 5 p 539-548 <https://doi.org/10.1590/S1415-43662012000500010>
- De Azevedo, S.C., Cardim, G.P., Puga, F., Singh, R.P., Silva, E.A. Analysis of the 2012-2016 drought in the northeast Brazil and its impacts on the Sobradinho water reservoir. *Remote Sensing Letters*, [S.L.], v. 9, n. 5, p. 438-446, 6 fev. 2018. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/2150704x.2018.1437290>.
- DOSSIÊ PERÍMETROS IRRIGADOS: Perímetro Irrigado Santa Cruz de Apodi: Projeto De Irrigação Santa Cruz Do Apodi – Rio Grande Do Norte. Disponível em: <<https://dossieperimetrosirrigados.wordpress.com/estudos-de-caso/perimetro-irrigado-santa-cruz-de-apodi/>> Acesso em: 20 nov. 2018.
- Furtado, C. 1968. Formação econômica do Brasil 8. ed. São Paulo, Companhia Editora Nacional.
- Gioda, A. 2019. Residential fuelwood consumption in Brazil: environmental and social implications. *Biomass And Bioenergy*, [S.L.], v. 120, p. 367-375, jan. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2018.11.014>.
- Hora, J.S.L., Feitosa, I.S., Albuquerque, U.P., Ramos, M.A., Medeiros, P.M. 2021. Drivers of species' use for fuelwood purposes: a case study in the Brazilian semiarid region. *Journal Of Arid Environments*, [S.L.], v. 185, p. 1-7, fev. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jaridenv.2020.104324>.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas. Censo Demográfico 2010. Apodi/RN. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/?1=>>>. Acesso em: 9 mar 2018.
- Jacinto, L.C.S. 2015. Projeto de irrigação Santa Cruz do Apodi sob a perspectiva da violação ao direito internacional dos direitos humanos. *Revista de Filosofia do Direito, do Estado e da Sociedade*, Natal, v. 6, n. 2, p. 286-299.
- Landis, J.R.; Koch, G.G. 1977. The Measurement of Observer Agreement for Categorical

- Data. *Biometrics*, v. 33, n. 1, p. 159. <http://dx.doi.org/10.2307/2529310>.
- Lemos, J.E. Souza, B.I., Diniz, M.T.M. 2020. Sistemas, caos e o processo de desertificação no Semiárido Brasileiro: complexidade e interações. *Ateliê Geográfico*, 14(1), p. 136-154. <https://doi.org/10.5216/ag.v14i1.57004>
- Lima Júnior, R.M.; Silva, S.M.P. 2014. Mapeamento da cobertura da terra através de imagens LANDSAT5/TM em assentamentos rurais do município de Apodi/RN, para fins de estudos de ocupação e transformação do território. *Sociedade e Território*, Natal, v. 26, p. 17. Disponível em: <<https://periodicos.ufrn.br/sociedadeeterritorio/article/view/5307/4317>> Acesso: 18 de abril de 2018.
- Lima, T.E.R., Costa, J.C., Pereira, G. 2016. Influência da variabilidade da precipitação na resposta da vegetação em São João Del-Rei. 4^o Jornada Científica da Geografia. UNIFAL – MG. Alfenas – MG. Anais. Disponível em: <https://www.unifal-mg.edu.br/4jornadageo/system/files/anexos/thainne310_315.pdf> Acesso: 20 de janeiro de 2018
- Marengo, J.A., Torres, R.R., Alves, L.M. 2016. Drought in Northeast Brazil—past, present, and future. *Theoretical And Applied Climatology*, [S.L.], v. 129, n. 3-4, p. 1189-1200, 9 jun. 2016. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s00704-016-1840-8>.
- Marengo, J.A., Alves, L.M., Alvalá, R.C.S., Cunha, A.P., Brito, S., Moraes, O.L.L.. 2018. Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, [S.L.], v. 90, n. 21, p. 1973-1985, ago. 2018. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201720170206>.
- Marques, F.A., Nascimento, A.F., Araujo Filho, J.C., Silva, A.B. 2014. *Solos do Nordeste*. Recife: Embrapa Solos.
- Marques, T.V., Mendes, K., Mutti, P., Medeiros, S., Silva, L., Perez-Marin, A.M., Campos, S., Lãcio, P.S., Lima, K., Reis, J. 2020. Environmental and biophysical controls of evapotranspiration from Seasonally Dry Tropical Forests (Caatinga) in the Brazilian Semiarid. *Agricultural And Forest Meteorology*, [S.L.], v. 287, p. 1-15, jun. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.107957>.
- Martins, E.S.P.R., Coelho, C.A.S., Haarsma, R., Otto, F.E.L., King, A.D., Van Oldenborgh, G.J., Kew, S., Philip, S., Vasconcelos Júnior, F.C., Cullen, H. 2018a. A Multimethod Attribution Analysis of the Prolonged Northeast Brazil Hydrometeorological Drought (2012–16). *Bulletin Of The American Meteorological Society*, [S.L.], v. 99, n. 1, p. 65-69, 1 jan. 2018a. American Meteorological Society. <http://dx.doi.org/10.1175/bams-d-17-0102.1>.
- Martins, M.A. Tomasella, J., Rodriguez, D.A., Alvalá, R.C.S., Giarolla, A., Garofolo, L.L., Siqueira Júnior, J.L., Paolicchi, L.T.L.C., Pinto, G.L.N., 2018b. Improving drought management in the Brazilian semiarid through crop forecasting. *Agricultural Systems*, [S.L.], v. 160, p. 21-30, fev. 2018b. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2017.11.002>.
- Mckee, T.B. Doesken, N.J., Kleist, J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to times scale. In: *Conference on Applied Climatology*, 8., 1993, Boston. Anais American Meteorological Society. Boston: Preprints, p.179-184.
- Mesquita, A. C., Dantas, B.F., Cairo, P.A. R. 2018. Ecophysiology of caatinga native species under semi-arid conditions. *Biosci. j.* (Online); 34 (6 Supplement 1): 81-89, nov./dec. 2018. Disponível em:<<https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/biblio-968848>> Acesso em: 12 de abril de 2021.
- Monteiro, D.M., Kurtz, B.C. 2020. Phytosociology of Two Caatinga Phytophysionomies with Different Histories of Anthropoc Disturbance. *Floresta e Ambiente*, [S.L.], v. 27, n. 4, p. 1-9, jun. 2020. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.004518>.
- Oliveira, I.A. 2015. *Análise Sistêmica da Cadeia Produtiva da Polpa de Frutas dos Territórios*

- Açumossoró e Sertão do Apodi (RN). 2015. 129 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Ambiente, Tecnologia e Sociedade, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró.
- Oliveira, J.F., Ramos, T. P.A., Oliveira, V.R.T., Filgueira, R.F., Peretti, D. 2018. First record of an annual endemic fish from a semiarid environment in northeastern Brazil. *Neotropical Biology And Conservation*, [S.L.], v. 13, n. 3, p. 1-2, 2 set. 2018. Pensoft Publishers. <http://dx.doi.org/10.4013/nbc.2018.133.07>.
- Pinto Filho, J.L.O.; Lunes, A.R.S. 2019. O perímetro irrigado na chapada do Apodi-RN: Surgimento, descrição e governança. *Anais XVIII Encontro Nacional da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Planejamento Urbano e Regional*. Natal. Disponível em <<http://anpur.org.br/xviii/anpur/anaisadmin/capapdf.php?reqid=712>> Acesso em 02 de abril de 2020
- Pinto Filho, J.L.O., Rêgo, A.T.A., Lunes, A.R.S., Cunha, L. 2020. (In)Sustainability of the Territory of Chapada Do Apodi-Rn (Brazil): the expansion of agribusiness versus the impacts of traditional farmers and local rural communities. *Sustainability*, [S.L.], v. 12, n. 21, p. 1-19, 4 nov. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/su12219173>.
- Pinto, M.S.D. Bezerra, T.L.O., Palitot, T.R.C., Dutra, C.K.T. 2015. O Conflito Socioambiental da Chapada do Apodi: uma análise sobre as violações de direitos do Projeto da Morte. *Revista Insurgência*, Brasília, v. 1, n. 2, p.237-276 Disponível em <<https://periodicos.unb.br/index.php/insurgencia/article/view/18921/17547>> Acesso em: 01 de março de 2019
- Porpino, K.O. 2004. Registros de mamíferos fósseis no Lajedo de Soledade, Apodi, Rio Grande do Norte. *Revista Brasileira de Paleontologia*, Porto Alegre, v. 7, n. 3, p.349-358. <https://doi.org/10.4072/rbp.2004.3.06>
- Prado, D.E. 2003. As caatingas da América do Sul. In: Leal, I.R; Tabarelli, M; Silva, J.M.C. *Ecologia e conservação da caatinga*. Recife: Editora Universitária da UFPE. p. 3-73. Disponível em:
- <https://www.mma.gov.br/estruturas/203/_arquivos/5_livro_ecologia_e_conservao_da_caa_tinga_203.pdf> Acesso em: 15 de junho de 2018.
- Queiroz, L.P. 2009. *Leguminosas da Caatinga*. Feira de Santana: Universidade Estadual de Feira de Santana: Royal Botanic Gardens, Key: Associação Plantas do Nordeste, p. 443.
- Queiroz, L.P., Cardoso D., Fernandes, M.F., Moro, M. F. 2017. Diversity and Evolution of Flowering Plants of the Caatinga Domain. In: Silva, J.M.C.; Leal, I.R.; Tabarelli, M. *Caatinga: The Largest Tropical Dry Forest Region in South America*. Springer, p. 23-63.
- Ramalho, M.F.J.L., Guerra, A.J.T. 2017. O risco climático da seca no semiárido brasileiro. *Territorium*, [S.L.], n. 25, p. 61-74, 13 dez. 2017. Coimbra University Press. http://dx.doi.org/10.14195/1647-7723_25-1_5.
- Regitano Neto, A. Tabosa, J. N., Miguel, A. A. 2016. *Sorgo forrageiro: alternativa para a alimentação de rebanhos no Semiárido*. Petrolina: Embrapa Semiárido. (Embrapa Semiárido. Instruções Técnicas, 127).
- Rêgo, L.C., Costa, J.P.S., Cardoso, G.C.C., Santos, C.V. 2021. A graph model analysis of the conflict in the irrigated perimeter in Chapada do Apodi-Brazil. *Environmental Challenges*, [S.L.], maio 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envc.2021.100124>.
- Rigotto, R.M. 2011. *Agrotóxicos, trabalho e saúde: vulnerabilidade e resistência no contexto da modernização agrícola no baixo Jaguaribe/CE*. Fortaleza: Edições UFC. p 612. Disponível em: <http://contraosagrototoxicos.org/wp-content/uploads/2018/04/Agrot%C3%B3xicos-Trabalho-e-Sa%C3%BAde_Completo.pdf> Acesso em: 12 de abril de 2020.
- Rocha Júnior, R.L., Silva, F.D.S., Costa, R.L., Gomes, H.B., Herdies, D.L., Silva, V.P.R., Xavier, A.C., 2019. Analysis of the Space-Temporal Trends of Wet Conditions in the Different Rainy Seasons of Brazilian Northeast by Quantile Regression and Bootstrap Test. *Geosciences*, [S.L.], v. 9, n. 11, p. 457, 24 out. 2019. MDPI AG.

<http://dx.doi.org/10.3390/geosciences911045>

7

- Sá, I.B. et. al. 2010. Desertificação no Semiárido Brasileiro. 2º Conferência Internacional: Clima, Sustentabilidade e Desenvolvimento em Regiões Semiáridas. Fortaleza, CE. Disponível em: <http://ead.senar.org.br/lms/webroot/uploads/senar/duvidas/res_31163> Acesso em: 01 de março de 2018
- Sampaio, E.V.S.B., Salcedo, I.H., Araújo, M.S.B., Menezes, R.S.C. 2009. Agricultura sustentável no semi-árido brasileiro. Editora Universitária da Universidade Federal de Pernambuco, Recife. p. 152.
- Sampaio, E.V.S.B. 2017. Sustainable Agricultural Uses in the Caatinga. In: Silva, J.M.C; Leal, I.R; Tabarelli, M (eds). Caatinga: The Largest Tropical Dry Forest Region in South America. Springer. p. 487.
- Serrano, L.A.L.; Pessoa, P.F.A.P. 2016. Sistema de produção do caju: aspectos econômicos da cultura do cajueiro. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2 ed. p. 193.
- Silva, J. M.C. Lima, I.R., Tabarelli M. Caatinga: The Largest Tropical Dry Forest Region in South America. Springer. p. 487. 2017.
- Silva, F.D.S. Costa, R.L., Rocha Júnior, R.L., Gomes, H.B., Azevedo, P.V., Silva, V.P.R., Monteiro, L.A., 2020a. Cenários Climáticos e Produtividade do Algodão no Nordeste do Brasil. Parte I: calibração e validação do modelo agrometeorológico. Revista Brasileira de Meteorologia, [S.L.], v. 35, n., p. 903-912, dez. 2020. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0102-77863550087>.
- Silva, G.J.F., Oliveira, N.M., Santos, C.A. G., Silva, R.M. 2020b. Spatiotemporal variability of vegetation due to drought dynamics (2012–2017): a case study of the upper Paraíba river basin, Brazil. Natural Hazards, [S.L.], v. 102, n. 3, p. 939-964, 2 maio 2020. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11069-020-03940-x>.
- Sousa, E. Silva, R.A.D., Morais, F.C., Lichston, É.R., Lima, J.E. 2019. Perfil dos agricultores de uma cooperativa de Apodi/RN, receptividade ao cultivo de cártamo e percepção sobre agrotóxicos e alternativas. Nature And Conservation, [S.L.], v. 12, n. 3, p. 25-36, 20 dez. 2019. Companhia Brasileira de Producao Cientifica. <http://dx.doi.org/10.6008/cbpc2318-2881.2019.003.0004>
- Souza, J.G. O Nordeste Brasileiro: uma experiência de desenvolvimento regional. Banco do Nordeste do Brasil, Fortaleza. 1979.
- Spencer, W.B. 2005 O patrimônio cultural desconsiderado: o Lajedo de Soledade. Revista de Humanidades. Publicação do Departamento de História e Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Ensino Superior do Seridó – Campus de Caicó. v.6. – Semestral. Disponível em: <<https://periodicos.ufrn.br/mneme/article/view/283/251>> Acesso em: 01 de março de 2018.
- SUDENE. Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste. 2017 Resolução nº107 de 27 de julho de 2017 Disponível em <https://www.lex.com.br/legis_27508570_RES_OLUCAO_N_107_DE_27_DE_JULHO_DE_2017.aspx>. Acesso em: 19 de Abril de 2020.
- Tomasella, J. Vieira, R.M.S.P., Barbosa, A.A., Rodriguez, D.A., Santana, M. O., Sestini, M.F., .2018. Int J Appl Earth Obs Geoinformation Desertification trends in the Northeast of Brazil over the period 2000 - 2016. Int J Appl Earth Obs Geoinformation, v. 73, n. August 2017, p. 197-206. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.06.012>
- Velloso, A.L., Sampaio, E.V.S.B., Pareyn, F.G.C. 2002. Ecorregiões propostas para o bioma Caatinga. Recife: Recife: APNE - Associação Plantas Do Nordeste, TNC. P 76.

V

ieira, R.M.S.P., Sestini, M.F., Tomasella, J., Marchezini, V., Pereira, G.R., Barbosa, A.A., Santos, F.C., Rodriguez, D.A., Nascimento, F.R., Santana, M.O. 2020. Characterizing spatio-temporal patterns of social vulnerability to droughts, degradation and desertification in the Brazilian northeast. Environmental And

2463

Sustainability Indicators, [S.L.], v. 5, p. 1-28,
fev. 2020. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.indic.2019.100016>