



Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Campus Mossoró
Curso de Ecologia

GILDERLANIA SILVA DE SOUSA

**Mudanças temporais nas paisagens da Bacia Hidrográfica do rio
Apodi-Mossoró induzidas por diferentes regimes de precipitação.**

MOSSORÓ-RN

2022

GILDELANIA SILVA DE SOUSA

Mudanças temporais nas paisagens da Bacia Hidrográfica do rio Apodi-Mossoró induzidas por diferentes regimes de precipitação.

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Campus Mossoró para a obtenção do título de Ecólogo

Orientador(a): Prof.^a Dr.^a Eveline de Almeida Ferreira

MOSSORÓ-RN

2022

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei n° 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei n° 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

S725m Sousa, Gilderlania Silva.
Mudanças temporais nas paisagens da Bacia
Hidrográfica do rio Apodi-Mossoró induzidas por
diferentes regimes de precipitação. / Gilderlania
Silva Sousa. - 2022.
39 f. : il.

Orientadora: Eveline de Almeida Ferreira.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ecologia, 2022.

1. seca. 2. impactos antrópicos. 3. caatinga.
4. sensoriamento remoto. 5. semiárido. I.
Ferreira, Eveline de Almeida, orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em
conformidade com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência
Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva
CRB: 15/120

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

GILDERLANIA SILVA DE SOUSA

Mudanças temporais nas paisagens da Bacia Hidrográfica do rio Apodi-Mossoró induzidas por diferentes regimes de precipitação.

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Campus Mossoró para a obtenção do título de Ecólogo

APROVADO EM: 25 / 11 / 2022

BANCA EXAMINADORA

Prof. ^a Dr. ^a Eveline de Almeida Ferreira – UFERSA
Presidente

Prof. Dr. Eduardo Martins Venticinque – UFRN
Primeiro Membro

Prof. Dr. James Lucas da Costa Lima – UFERSA
Segundo Membro

Prof. ^a Dr. ^a Nadjacleia Vilar Almeida – UFPB
Terceiro Membro

*Dedico aos meus avós e aos meus
pais que nunca tiveram a
oportunidade de estudar.*

AGRADECIMENTOS

“Eu não sou o que aconteceu comigo, eu sou o que eu escolhi me tornar”.

Carl Jung.

A vida é um processo árduo e doloroso, que aos poucos vai te lapidando, e te transformando em um lindo diamante raro. A minha caminhada até aqui não foi fácil, foram noites em claro, preocupações, muito choro e insegurança, por muitas vezes me vi perder a paciência e pensei em desistir inúmeras vezes, mas persisti um pouco mais e hoje estou aqui escrevendo os agradecimentos, tendo a plena convicção que o meu eu do passado, está orgulhoso do meu eu do presente, e sem dúvida nenhuma, faria tudo novamente. Mas quem disse que foram apenas momentos ruins? Também fui muito feliz nesse tempo, conheci seres humanos incríveis dos quais quero levar para o resto da vida, tive nossas vivências e experiências únicas, das quais ficarão eternizadas na minha mente.

Procuro palavras para expressar o misto de sentimentos que estou sentindo nesse momento, mas acho que a palavra certa é GRATIDÃO! Sou grata a Deus por sempre ter me guiado pelo melhor caminho, pelas realizações que me concedeu até esse momento e pelas futuras, por nunca me abandonar, e me amparar nos momentos de fraqueza, por ter me dado forças para chegar até aqui, sei que sem o senhor, meu sonho não teria se concretizado.

Agradeço a minha família que sempre esteve ao meu lado, cada um do seu jeitinho mais sempre comigo. Aos meus pais, por todos os conselhos, por terem se doado por mim, a minha Mãe Vânia, por ser um exemplo de força, coragem e determinação, por me ensinar que nunca devemos abaixar a cabeça diante das dificuldades. Ao meu Pai Josias, por me ensinar a pensar sempre positivo, que todos os momentos passam, até os défices, por ser o melhor pai-avô que meu filho poderia ter. Ao meu filho por ter me encorajado a se aventurar nessa jornada em busca de um futuro melhor para ele. A minha irmã Widia, por sempre estar presente. Ao meu esposo Alef, por ter embarcado comigo nessa jornada, por não soltar minha mão, por ouvir meus desabafos, por tentar me acalmar nos momentos de aflição, por toda as palavras de motivação, por não me deixar se corromper e sempre me mostrar o quão lindo está sendo minha trajetória, por me ensinar a ser grata até mesmo nos momentos ruins, (isso se chama fé), por me ensinar a ser mais paciente. A minha madrasta Ném, por

ser minha segunda mãe, por sempre estar presente, por todo carinho que sempre teve comigo e por também ser a segunda mãe do meu filho.

Aos professores, por todos os ensinamentos profissionais e de vida, pela vivência, pelos puxões de orelha, pelos baldes d'água fria que nos acorda para vida, pelas amizades construídas, não irei citar nomes para não correr o risco de esquecer alguém. Mas saibam que vocês não formaram apenas um profissional e sim um ser humano melhor.

A minha orientadora Dra. Eveline Ferreira, por ter me dado a oportunidade de fazer parte da sua equipe, pelo apoio, por acreditar em mim mesmo antes que eu mesma pudesse acreditar, pelas palavras motivadoras que muitas vezes me deram ânimo para continuar, por contribuir com meu crescimento profissional e pessoal, pela confiança depositada em mim, por todos os ensinamentos, por toda a paciência e tempo dedicado a mim, pela compreensão, por ser esse ser humano incrível que você é, sou muito grata por você ter cruzado meu caminho.

As amizades construídas dentro da universidade, não irei me arriscar em citar nomes, pois foram muitas, sem dúvidas tudo teria sido mais difícil sem vocês, obrigada por compartilhar dos perrengues, as alegrias, por compartilharem os pensamentos, os planos futuros, pelos estudos em grupo, pelas conversas jogadas foram, pelas parcerias de estágio, pelas amizades verdadeiras. Sem dúvida irei sentir saudades dos momentos na universidade, mas isso não significa que vocês se livraram de mim, pois irei levar vocês pelo resto da minha vida, as redes sociais estão aí para isso mesmo! Manter o contato mesmo que distante.

E agora? E agora irei aprender com mais uma aventura da vida!

“O sofrimento é passageiro, desistir é para sempre”.

Lance Armstrong.

Apesar dos nossos defeitos, precisamos ver que somos pérolas únicas no teatro da vida e compreender que não existem pessoas de sucesso ou pessoas fracassadas. O que existe são pessoas que lutam pelos seus sonhos ou desistem deles.

Augusto Cury

RESUMO

A região semiárida e sua principal vegetação, a caatinga, possuem uma fragilidade natural, devido às suas características intrínsecas. Com o uso antrópico intensivo de suas paisagens, essa fragilidade é ainda acentuada, o que torna o ambiente menos resiliente diante de eventos como secas sazonais e prolongadas. Nesse sentido, o presente trabalho se propôs a analisar as principais mudanças temporais ocorridas nas classes de uso e cobertura do solo da Bacia Hidrográfica do rio Apodi/Mossoró, para o período compreendido entre 1999 e 2021. Além disso, foi investigada a relação entre as classes da paisagem e os regimes de precipitação antecedentes (mais recente e prolongado). Para representar os regimes de precipitação utilizou-se a precipitação média acumulada na BHRAM no último mês (P30) que antecedeu a captura da imagem e a precipitação média acumulada na estação chuvosa (PEC), que antecedeu a data de captura da imagem. A área de cada classe foi obtida com NDVI utilizando-se imagens de satélite Landsat 5 e 8, para todos os anos da série temporal (exceto 2002 e 2012). O NDVI identificou cinco classes de uso e cobertura do solo: corpos hídricos, solo exposto, vegetação aberta, vegetação semidensa e vegetação densa. A seca foi caracterizada com os valores de precipitação médios acumulados anualmente na BHRAM e sua recorrência e severidade foi avaliada com o SPI (Índice de Precipitação Padronizado). Nas últimas duas décadas, o SPI indicou que a BHRAM passou por cinco eventos de seca moderada, com duração de um a dois anos, e um período de seca severa e prolongada, de 2012 a 2017. Nesses anos de seca, especialmente em 2005 e 2016-2017, houve aumento considerável da classe de solo exposto, que esteve presente entre 70% e 90% da paisagem. Dentre as classes de vegetação, a vegetação aberta foi o tipo de vegetação que esteve mais presente durante os anos. A classe de vegetação densa sempre apresentou baixa cobertura, se mantendo com área menor que 10% na maioria dos anos, e em oito anos, dos 22 anos estudados, esteve praticamente ausente (menos de 1% de cobertura). A vegetação semidensa, por outro lado, apresentou um padrão variado, com alguns períodos de retração e expansão. As classes de solo exposto ($F = 0.490208$ e $P = < 0,01$), vegetação semidensa ($F = 0.484517$ e $P = < 0,01$), e vegetação densa ($F = 0.316925$ e $P = < 0,01$) apresentaram relação significativa com a precipitação acumulada do último mês (P30), sendo a relação negativa apenas para solo exposto. Esse resultado indica que a distribuição do volume precipitado é um fator preponderante ao desenvolvimento da cobertura vegetal na caatinga. Por outro lado, a vegetação aberta não apresentou relação significativa com nenhuma das precipitações estudadas (P30 - $F = 0.010248$ e $P = 0.66$; e PEC - $F = 0.008552$ e $P = 0.69$). Esse resultado pode estar relacionado com a agricultura irrigada, uma vez que diversos plantios comuns na bacia (como banana, melancia, caju, coco e leguminosas) utilizam água de reservatórios superficiais e subterrâneos. Os corpos hídricos apresentaram relação com a precipitação acumulada na estação chuvosa (PEC) ($F = 0.227372$ e $P = < 0,05$). Isso ocorre porque toda chuva da estação acaba acumulando nos reservatórios, com isso a chuva do último mês (P30), acaba não tendo efeito imediato no acúmulo dos reservatórios. Concluímos que a BHRAM encontra-se em elevado grau de degradação ambiental, e isso decorre das pressões antrópicas do seu entorno, pois mesmo em anos chuvosos, a vegetação densa (formação florestal), apresentou baixa cobertura.

Palavra-Chave: seca, impactos antrópicos, caatinga, sensoriamento remoto, semiárido.

ABSTRACT

The semi-arid region and its main vegetation, the caatinga, have a natural protection, due to its intrinsic characteristics. With the intensive anthropic use of its landscapes, this protected area is still accentuated, which makes the environment less resilient in the face of events such as seasonal and prolonged droughts. In this sense, the present work was monitored to analyze the main temporal changes that occurred in the land use and land cover classes of the Apodi/Mossoró River Basin, for the period between 1999 and 2021. In addition, the relationship between the landscape classes and antecedent (most recent and prolonged) precipitation regimes. To represent the precipitation regimes, the average accumulated precipitation in the BHRAM in the last month (P30) that preceded the image capture and the average accumulated precipitation in the rainy season (PEC), that preceded the image capture data were used. The area of each class was experimented with NDVI using Landsat 5 and 8 satellite images, for all years of the time series (except 2002 and 2012). The NDVI identified five classes of land use and land cover: water bodies, exposed soil, open vegetation, semi-dense vegetation and dense vegetation. The drought was characterized with the average precipitation values accumulated annually in the BHRAM and its recurrence and severity was evaluated with the SPI (Standardized Precipitation Index). In the last two decades, the SPI indicated that BHRAM experienced five moderate drought events, lasting from one to two years, and a severe and prolonged drought period, from 2012 to 2017. In these drought years, especially in 2005 and 2016-2017, there was a considerable increase in the exposed soil class, which was present between 70% and 90% of the landscape. Among the vegetation classes, open vegetation was the type of vegetation that was most present during the years. The dense vegetation class always showed low coverage, remaining with an area smaller than 10% in most years, and in eight years, out of the 22 years studied, it was practically absent (less than 1% coverage). The semi-dense vegetation, on the other hand, presented a varied pattern, with some periods of retraction and expansion. The classes of exposed soil ($F = 0.490208$ and $P = < 0.01$), semi-dense vegetation ($F = 0.484517$ and $P = < 0.01$), and dense vegetation ($F = 0.316925$ and $P = < 0.01$) showed a relationship significant with the accumulated precipitation of the last month (P30), being the negative relation only for exposed soil. This result indicates that the distribution of precipitation volume is a preponderant factor for the development of vegetation cover in the caatinga. On the other hand, open vegetation showed no significant relationship with any of the precipitations studied (P30 - $F = 0.010248$ and $P = 0.66$; and PEC - $F = 0.008552$ and $P = 0.69$). This result may be related to irrigated agriculture, since several common crops in the basin (such as bananas, watermelons, cashews, coconuts and legumes) use water from surface and underground reservoirs. The water bodies were related to the accumulated precipitation in the rainy season (PEC) ($F = 0.227372$ and $P = < 0.05$). This occurs because all the rain of the season ends up accumulating in the reservoirs, with that the rain of the last month (P30) ends up not having an immediate effect on the accumulation of the reservoirs. We conclude that the BHRAM is in a high degree of environmental degradation, and this is due to the anthropic pressures in its surroundings, because even in rainy years, the dense vegetation (forest formation) presented low coverage.

Keywords: drought, anthropic impacts, caatinga, remote sensing, semiarid.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da Área de Estudo.....	17
Figura 2 – Divisão da Bacia Hidrográfica do Rio Apodi-Mossoró.....	17
Figura 3 – Variação temporal da precipitação média acumulada anualmente (mm) na Bacia Hidrográfica do Rio Apodi-Mossoró, no período compreendido entre 1999 e 2021.....	22
Figura 4 – Variação temporal do Índice de Precipitação Padronizado (SPI) para a Bacia Hidrográfica do rio Apodi-Mossoró, para o período compreendido entre 1999 e 2021.....	23
Figura 5 – Variação temporal nas classes de uso e cobertura do solo (NDVI) da Bacia Hidrográfica do Rio Apodi-Mossoró nos últimos 22 anos (1999-2021)	24
Figura 6 – Variação temporal nos valores de área (%) das classes de uso e cobertura do solo na paisagem da BHRAM no período compreendido entre 1999 e 2022.....	25
Figura 7 – Resultados das regressões entre os valores de área (%) das classes de uso e cobertura do solo e P30 (precipitação média acumulada 30 dias antes da data da imagem).....	26
Figura 8 – Resultados das regressões entre os valores de área (%) de cada classe de uso e cobertura do solo e a PEC (precipitação acumulada na estação chuvosa).....	27

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
BHRAM	Bacia Hidrográfica do rio Apodi/Mossoró
Emparn	Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte
NDVI	Índice da Vegetação por Diferença Normalizada
PEC	Precipitação acumulada na estação chuvosa
P30	Precipitação média acumulada 30 dias antes da data da imagem
SPI	Standardized Precipitation Index

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	13
2. MATERIAIS E MÉTODOS	16
2.1 Área de estudo.....	16
2.2 Coleta de dados.....	18
2.3 Análise de dados.....	19
3. RESULTADOS.....	22
4. DISCUSSÃO.....	27
5. CONCLUSÃO.....	32
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	32
ANEXO.....	37

1. INTRODUÇÃO

A atual mudança no clima, juntamente com os diferentes usos da terra, são os principais mecanismos responsáveis pela perda de biodiversidade nos ecossistemas globais, pois a primeira afeta a quantidade e distribuição das chuvas, que em conjunto com as atividades antrópicas, acabam acelerando a degradação dos ecossistemas, podendo ocasionar até mesmo a desertificação em algumas regiões (HUGHES *et al.*, 2013). A relação clima-vegetação é uma via de mão dupla em diferentes escalas espaciais, pois o clima é responsável pela distribuição da vegetação e suas características principais (PRENTICE, 1990; SALAZAR *et al.* 2007), enquanto a estrutura e distribuição da vegetação podem influenciar o clima (NOBRE *et al.* 2006). Portanto, para compreender a dinâmica temporal da vegetação de qualquer bioma, é necessário entender como as mudanças temporais no clima afetam as respostas dos tipos vegetais.

O semiárido brasileiro apresenta um longo histórico de secas prolongadas de duração e intensidades variadas (PAREDES *et al.* 2015). Esses eventos são caracterizados por elevadas temperaturas médias, associadas à baixa precipitação, distribuídas irregularmente ao longo de um ou mais anos (PENNINGTON *et al.* 2005). O semiárido brasileiro, dentre todas as regiões semiáridas do mundo é considerado o mais vulnerável a quaisquer mudanças significativas na duração e intensidade das secas (SEDDON *et al.* 2016). Devido à exploração inadequada dos recursos naturais, superpastoreio e as condições climáticas como também às características do solo, todos esses fatores levam a perda de abundância e diversidade microbiana do solo devido ao aumento da aridez aumentando assim o risco de desertificação (MAESTRE *et al.* 2015), uma vez que a falta de água extrema, afetam as funções e os serviços ecossistêmicos, potencialmente levando a uma mudança de regime estacionário, nesse caso a desertificação (HUGHESET *et al.* 2013). Outro ponto que eleva a vulnerabilidade do semiárido são os altos níveis de degradação do hábitat e a perturbação associada dos processos ecológicos. Somados a isso, as previsões climáticas indicam que as secas nessa região se tornarão mais frequentes e severas, podendo gerar um cenário de desertificação generalizada (SALAZAR *et al.* 2007 & SALVATIERRA *et al.* 2017). A relação entre o clima e vegetação no semiárido é tão estreita, que chegam a ter maior influência sobre a definição da vegetação do que mesmos outros fatores ecológicos (CARVALHO, 1988). Nesse sentido, é de suma

importância compreender como a vegetação de áreas tropicais semiáridas respondem às secas sazonais e prolongadas (IPCC, 2014).

As vegetações do semiárido brasileiro tem características únicas, não compartilhadas com a vegetação de nenhum outro bioma. Nessa região, a vegetação de Caatinga é predominante, e corresponde a cerca de 10 % do território nacional (IBGE, 2019). Fatores como a distribuição heterogênea da precipitação, os tipos de solo, diferentes graus de fertilidade e topografia, tornam as paisagens dessa região bastante diversa (SILVA *et al.* 2018). As vegetações presentes nessa região, de modo geral, são lenhosas com dossel descontínuo, xerófilas, decíduas, em geral espinhosas, além de plantas suculentas e áfilas, de padrão tanto arbóreo quanto arbustivo (JACOMINE *et al.* 1971; CUNHA *et al.* 2008). Possuem adaptações morfofisiológicas e comportamentais às secas sazonais que auxiliam na sobrevivência e reprodução em condições de baixa disponibilidade hídrica e altas taxas de evaporação. (RODRIGUES 1996, 2003; PENNINGTON *et al.* 2005; VIEIRA *et al.* 2009; OLIVEIRA *et al.* 2012). Os tipos vegetacionais da Caatinga se mostram muito sensíveis às variações climáticas, sendo considerada extremamente dinâmica e sazonal. Frente à variabilidade sazonal na precipitação, os arbustos e as árvores perdem as folhas nos meses mais secos e as herbáceas secam na época da estiagem (ALVES, 2012; SILVA; CRUZ. 2018 FILHO, 2019). No entanto, secas prolongadas e frequentes desafiam a flora e à fauna desse bioma (PRADO, 2003). Embora a vegetação da Caatinga apresente adaptações às alterações sazonais do ambiente, o que a torna bastante interessante do ponto de vista científico, ainda é um tipo vegetacional pouco estudado (SILVA, 2020). Nesse sentido, se faz necessário estudos a fim de compreender a resposta da vegetação em secas extremas como a que ocorreu entre 2012 e 2017, e como os tipos vegetacionais responderam após essa seca prolongada ter cessado.

A vulnerabilidade da caatinga, em anos de secas sazonais e prolongadas, pode ser agravada pelas atividades antrópicas (UNFCCC, 2015; BARBOSA *et al.* 2019). Assim como ocorre em outras florestas sazonalmente secas, a caatinga também é alvo de diversas atividades antrópicas, na qual vem acelerando a redução de áreas florestais e a qualidade dos solos (ALVES *et al.* 2009). Isso é extremamente preocupante se considerarmos que as florestas sazonalmente secas, são as mais ameaçadas, com diversos focos de desertificação (CASTELLETTI *et al.* 2003). Dentre

as principais atividades antrópicas no bioma, podem-se citar a extração de madeira, aberturas de estradas, criação extensiva de gado e agricultura (ALVES *et al.* 2009). Por sua vez, essas práticas levam a altos níveis de degradação das paisagens, aumentando a vulnerabilidade da vegetação da Caatinga nos cenários futuros de extremos climáticos (LEAL *et al.* 2015).

As paisagens de uma bacia hidrográfica exercem um papel primordial no funcionamento e qualidade dos corpos hídricos, porém, ao longo do tempo esse tipo de vegetação tem sofrido diversas modificações, principalmente porque no entorno de rios se desenvolvem diversas atividades econômicas (SILVA *et al.* 2020). As paisagens inseridas na Bacia Hidrográfica do rio Apodi/Mossoró (BHRAM) têm passado por diversos estressores climáticos, como secas sazonais prolongadas e atividades antrópicas nas últimas duas décadas. Na BHRAM, são registradas atividades econômicas como extração de petróleo, produção de sal marinho, utilização dos solos para agricultura, fruticultura irrigada, pecuária extensiva e mineração de calcário, além do crescimento urbano desordenado das principais cidades do seu entorno, como Mossoró, Apodi e Pau dos Ferros (IDEMA, 2016; MESQUITA, 2018; ARAÚJO *et al.* 2012). A alta demanda de atividades socioeconômicas desenvolvidas no domínio da bacia é intensificada pela necessidade de famílias e comunidades ribeirinhas utilizarem suas águas para as práticas agrícolas e pecuárias, o que geram conflitos de uso, pelo fato da BHRAM estar inserida em região semiárida (PINTO FILHO, 2016). Baseando-se em um estudo de tendências que avalia 24 bacias do Nordeste dentre os anos de 1991 a 2020, Rebouças e colaboradores, 1999, classificaram a BHRAM como predisposta a situações críticas em sua sustentabilidade. O estudo considerou o acesso, disponibilidade, armazenamento de água e o aporte de contaminantes (OLIVEIRA *et al.*, 2009).

Tendo em vista a importância da Bacia do rio Apodi-Mossoró e por estar inserida em um dos biomas mais ameaçados do Brasil, é importante realizar estudos que avaliem a atual situação das paisagens e os diferentes tipos de cobertura vegetal, bem como a relação entre eles e às variações climáticas. Nesse sentido, o presente trabalho se propôs a quantificar as principais mudanças temporais ocorridas nas classes de uso e cobertura vegetais das paisagens inseridas na Bacia Hidrográfica do rio Apodi-Mossoró, nas últimas duas décadas. Além disso, foram avaliadas as relações as classes de vegetação e dois regimes de precipitação antecedentes, um

mais recente, P30, que corresponde a precipitação média acumulada na paisagem 30 dias antes da data de captura da imagem de satélite que representa a paisagem da BHRAM em cada ano, e a precipitação média acumulada durante toda a estação chuvosa, seguindo a mesma lógica que P30. Foi testada a hipótese que os tipos de vegetação (aberta, semidensa e densa) apresentarão relações diferentes com o tipo de precipitação antecedente.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

O estado do Rio Grande do Norte possui 14 bacias hidrográficas, sendo divididas em duas categorias: Norte e Sul, são classificadas como escoamento difuso, e boa parte das bacias que apresentam escoamento, Norte e Leste, são bacias encaixadas em estruturas do relevo, isso se dar devido às condições estruturais da região (DANTAS, 2022).

A área de estudo compreende a Bacia Hidrográfica do rio Apodi-Mossoró (BHRAM) localizada na Mesorregião no Oeste do Estado do Rio Grande do Norte (Fig. 1), possui uma área total de 14.270km², com comprimento de 200km e largura de aproximadamente 100km, é classificada como exorreica, e possui padrões de drenagens do tipo dendrítica (CHRISTOFOLETTI, 1979; DANTAS, 2022). A BHRAM corresponde a 26,8% do território do Rio Grande do Norte sendo considerada a segunda maior bacia do estado. A nascente da bacia está localizada na porção Nordeste da Serra de Pereiro entre 350 a 500m de altitude, situada na região Sudoeste do estado (CARVALHO et al., 2011; SILVA *et al.*, 2020), no município de Luís Gomes – RN. A bacia possui como rio principal, o rio Apodi-Mossoró com aproximadamente 210 km de extensão, o mesmo abriga uma planície litorânea, na forma de estuário, com sua foz entre os municípios de Areia Branca e Grossos (OLIVEIRA *et al.*, 2009). A área de drenagem da bacia encontra-se totalmente inserida no Rio Grande do Norte, e pode ser dividida em três setores (Fig. 2): Alto Curso, caracterizado pelo relevo predominantemente plano e altitudes moderadas, associado ao embasamento cristalino. Médio Curso, área de transição entre alto e baixo curso. Baixo Curso, possui características de um ambiente de baixa energia com relevo plano e baixas altitudes e de litologia sedimentar (DANTAS, 2022).

A bacia está inserida em região considerada semiárida na qual apresenta temperatura média anual de 28,5°C e com precipitação média anual de 400 mm (MEDEIROS *et al.* 2013), apresenta duas estações climáticas bem definidas, uma chuvosa e outra seca. O clima predominante é quente do tipo Bsh, segundo a classificação de Koppen, (1931). A classificação As é registrada nas áreas serranas da sua nascente, essa classificação é caracterizado por um clima tropical chuvoso com verão seco de dezembro a março e estação chuvosa no outono de março a junho (Koppen, 1931; SILVA *et al.* 2020).

Figura 1: Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Apodi-Mossoró.

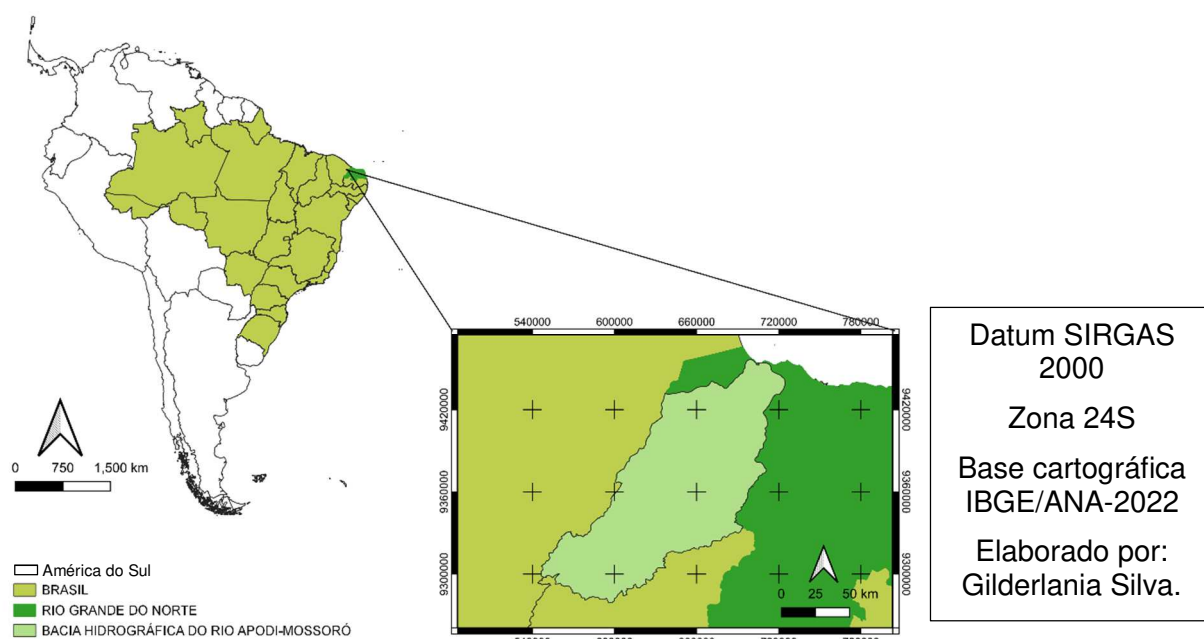
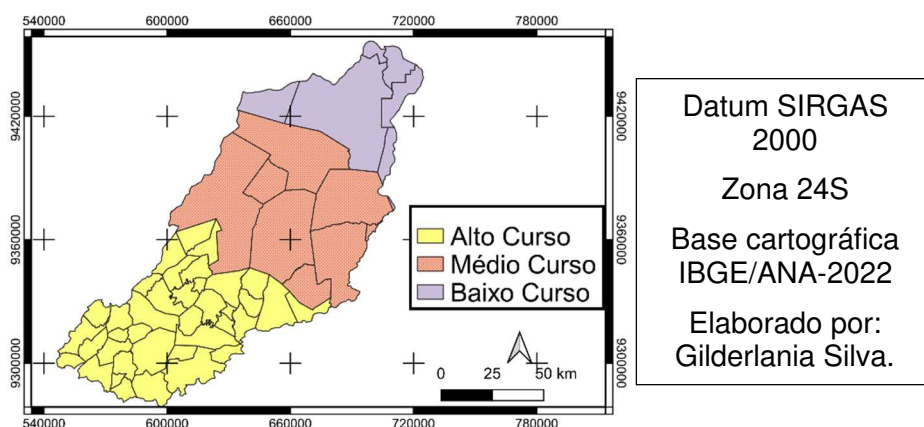


Figura 2: Divisão dos cursos da Bacia Hidrográfica do Rio Apodi-Mossoró.



2.2 Coleta de Dados

Para representar a dinâmica espacial, a paisagem considerada foi a Bacia Hidrográfica do rio Apodi-Mossoró (BHRAM). Para caracterizar a dinâmica temporal foi estudada uma série temporal de 22 anos que compreende os anos de 1999 a 2021. Essa série foi selecionada por incluir uma das maiores secas prolongadas que assolou a região nordeste nas últimas décadas (2012-2017), assim como anos anteriores e posteriores a esse evento.

A obtenção dos dados ambientais da paisagem da BHRAM, para a série estudada foram realizadas da seguinte forma: Foi realizada uma delimitação da BHRAM com o auxílio de um arquivo tipo *shapefile* da Bacia Hidrográfica, obtido no site da Agência Nacional de Águas (ANA), o arquivo delimitado foi salvo em KML, e inserido no site <https://earthexplorer.usgs.gov/>, onde as imagens foram obtidas de forma gratuita. Isso se fez necessário para facilitar a visualização de toda extensão territorial da bacia, e a seleção das imagens. Para representar as paisagens em sua totalidade, foi necessário utilizar duas imagens para cada ano, uma da parte inferior da bacia e outra da parte superior. Os satélites utilizados para a coleta das imagens foram da série LANDSAT 5 e 8 para os anos de 1999 a 2021. Para a seleção das imagens foram adotados como critérios que a data da imagem fosse dos meses mais próximo ao final da estação chuvosa (maio a agosto) e que tivesse menos de 10% de nebulosidade. O primeiro critério se justifica pelo fato de que em secas prolongadas ocorre certa precipitação, muito abaixo do esperado, e esse efeito é sentido principalmente na estação chuvosa. Não foi possível a obtenção das imagens para dois anos, 2002 pelo fato de imagens não atenderem aos critérios determinados e 2012 devido a uma falha no satélite LANDSAT 7.

Os dados de precipitação para a série histórica foram adquiridos no *site* da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN), para as estações climatológicas localizadas dentro da BHRAM. Os dados continham informações de valores acumulados mensalmente para 30 estações (Anexo 1), que foram utilizados para os cálculos de precipitações média e antecedentes. Para calcular a precipitação antecedente à data da imagem (P30), foram somadas as precipitações do mês anterior à data da imagem de todas as estações meteorológicas e calculado o valor médio, para cada ano da série temporal (Anexo 2). Para o cálculo da precipitação acumulada média na estação chuvosa (PEC), somou-se a

precipitação de todos os meses que antecederam a data da imagem que representa a paisagem daquele ano, considerando como início o mês de janeiro, para as 30 estações meteorológicas, e dividiu-se o valor obtido por 30, para obtermos o valor de médio da BHRAM. Esse procedimento foi repetido para todos os anos da série temporal (Anexo 3).

2.3 Análise de Dados

Todas as imagens selecionadas foram processadas na versão mais recente do software QGIS, foram reprojctadas para o hemisfério sul e convertidas para o datum SIRGAS 2000 e zona 24S (EPSG: 31984). Em seguida, foram selecionadas as bandas do vermelho e infravermelho, sendo B3 e B4 para o LANDSAT 5 e B4 e B5 para o LANDSAT 8. Após a obtenção das respectivas bandas, foram realizadas correções atmosféricas com o complemento SCP do software QGIS, posteriormente realizou-se mosaicos com duas imagens de satélite para cada ano das referidas placas 63 e 64, a fim de se obter uma representação da paisagem completa para cada data selecionada, uma vez que são necessárias duas imagens para cobrir toda a área da paisagem estudada (Anexo 4).

Para obter os dados de área de cada classe de uso e cobertura da paisagem, em cada ano estudado (1999-2021) foram gerados mapas tipológicos a partir das imagens de satélite LANDSAT através do cálculo do Índice da Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) proposto por Rouse *et al.* (1973). O cálculo do NDVI é obtido através da razão entre a refletividade do infravermelho próximo e do vermelho, sendo calculado da seguinte forma:

$$NDVI = (piv - pv) / (piv + pv)$$

Onde:

pv – é a banda do vermelho; e,

piv – é a banda do infravermelho próximo.

Esse índice é reconhecido por ser um indicador de condição e da quantidade da vegetação, seus valores podem variar dentro de um intervalo que vai de -1 a 1 (quanto mais próximo de 1 maior é a densidade vegetal). Sendo considerado eficaz em detectar secas (BARBOSA, 1998; BARBOSA *et al.* 2019). Por cobrir grandes

áreas, o NDVI mostra como a seca está progredindo na área de interesse, apresentando assim vantagens sobre índices meteorológicos (GHULAM *et al.* 2007; BARBOSA *et al.* 2019).

Cada imagem obtida com o NDVI, foi reclassificada com o mesmo código (com a ferramenta *r.recode*), afim de manter o mesmo padrão de classificação para todos os anos, e posteriormente foi utilizado o *r.report* para obtenção dos valores de área de cada classe.

Os mapas tipológicos gerados a partir do NDVI recodificado, identificaram cinco classes de refletância na paisagem da BHRAM, denominadas de corpos hídricos, solo exposto, vegetação aberta, vegetação semidensa e vegetação densa (Quadro 1). Na classe dos corpos hídricos o NDVI obteve três reflectâncias diferentes, possivelmente distinguindo áreas com diferentes profundidades e graus de trofia. No entanto, como o presente estudo não objetivava esse grau de detalhamento para essa classe, as três classes foram agrupadas em uma única classe, denominada corpos hídricos (classe 1). O solo exposto (classe 2), é caracterizado por áreas sem vegetação, de solo nu, áreas urbanas, afloramentos rochosos, áreas agrícolas em pousio, áreas com solos degradados, pastagens abandonadas por motivos de degradação. As classes 3, 4 e 5 representam a vegetação em três categorias. Classe 3 foi identificada como área de vegetação herbácea aberta, espaçada, que incluem áreas em regeneração e produção agrícola como lavouras temporárias de melão milho e feijão. A classe 4 foi denominada de vegetação semidensa e está associada à vegetação com grau de desenvolvimento intermediária, geralmente em estado de recuperação após distúrbios antrópicos, pois são compostas por árvores espaçadas e maior proporção de arbustos. Classe 5, vegetação densa, está associada às florestas sazonalmente secas e são compostas por árvores com copas mais fechadas e em maior densidade.

Quadro 1: Objeto e feições ambientais representados em composição colorida.

Cores	Objeto	Chave de interpretação	Valores de NDVI
	Água (corpo hídricos, reservatórios e lagos)	Cor Azul	- 0.4 a0.0
	Solo Exposto (solo, afloramento rochosos).	Cor Amarela	0.0 a0.2

	Vegetação Aberta	Cor Verde-limão	0.2 a 0.3
	Vegetação Semidensa	Cor Verde-musgo	0.3 a 0.4
	Vegetação Densa	Cor Verde-escuro	> 0.4 a 0.9

Fonte: Baseado em Florenzo (2011, p. 62); Oliveira (2019, p. 20).

Os regimes climáticos e a identificação de secas prolongadas foram avaliadas por meio da variação temporal da precipitação acumulada anualmente na BHRAM e com o Índice de Precipitação Padronizado (Standardized Precipitation Index, SPI). O cálculo do SPI utilizado foi anual, para isso utilizamos os valores médios de precipitações acumulados mensalmente, considerando 30 estações meteorológicas. Para obter o valor de precipitação médio acumulado mensalmente para a BHRAM, o valor de precipitação de um determinado mês obtido em cada estação meteorológica foi somado, e depois esse valor foi dividido por 30. Por exemplo, todos os 30 valores de precipitação para o mês de janeiro de 1999 foram somados e depois divididos por 30. Assim obtivemos o valor médio acumulado na Bacia para o mês de janeiro de 1999. Isso foi feito para todos os meses compreendidos entre 1999 e 2021. O SPI baseia-se apenas na precipitação, podendo ser calculado para uma escala variada temporal, sendo capaz de identificar tipos de seca que afetam diferentes sistemas e regiões. Por esse motivo é o índice de seca mais popular (MCKEE *et al.* 1993a, 1993b; BARBOSA *et al.* 2019). O SPI monitora o abastecimento de água de curto prazo, como solo úmido (BARBOSA *et al.* 2006). Os eventos de seca são identificados pelo SPI quando o valor passa a ser negativo. Dentro de sua escala, magnitudes menores ou iguais a -2 indicam seca extrema, secas severas ficam entre <1.50 a <1.99 e secas moderadas ficam entre <1.00 a <1.49, valores maiores ou iguais a 2, representa umidade extrema, umidade severa fica entre >1.50 a >1.99 e umidade moderada acima de 1.00 a > 1.49, o índice considera condições normais quando os valores ficam entre <0.90 a <0.99 (MACKEE *et al.* 1993, 1995; GUTTMAN 1999). O SPI foi calculado no software R, utilizando o pacote SPEI.

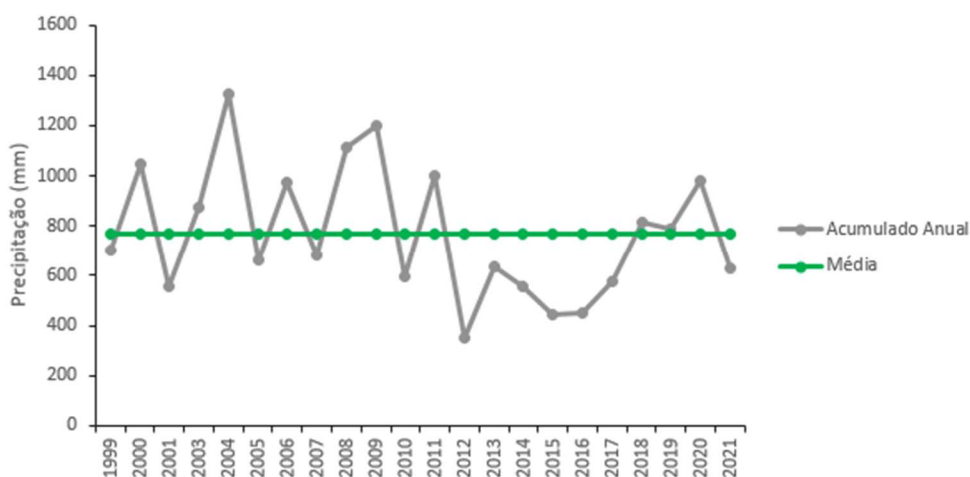
Para investigar a influência dos dois regimes de precipitação considerados, o mais recente (P30) e o acumulado na estação chuvosa (PEC), nos tipos de vegetação,

solo exposto e corpos hídricos, foram realizadas regressões lineares simples entre os valores de porcentagem de área de cada classe e cada regime de precipitação (P30 e PEC), para todos os anos compreendidos entre 1999 e 2021. Essas análises foram realizadas no software Statistica 7.0. O valor de significância adotado foi 0,05, de forma que resultados de $p < 0,05$ são considerados significativos.

3. RESULTADOS

Nas últimas duas décadas, a região na qual a BHRAM está inserida passou por diversos cenários climáticos, registrando desde anos muito chuvosos, como em 2000, 2004, 2008 e 2009 e anos muito secos (2002, 2012 a 2017; Fig. 3). O ano de 2012 teve a menor precipitação dentre os 22 anos estudados com média anual < 400 mm (Fig. 3). Vale destacar que esse ano marcou o início da seca prolongada na BHRAM, que durou cinco anos (2012-2017).

Figura 3: Variação temporal da precipitação média acumulada anualmente (mm) na Bacia Hidrográfica do Rio Apodi Mossoró, no período compreendido entre 1999 e 2021. A curva em cinza representa a variação anual enquanto que a verde representa o valor médio de precipitação considerando o período estudado.

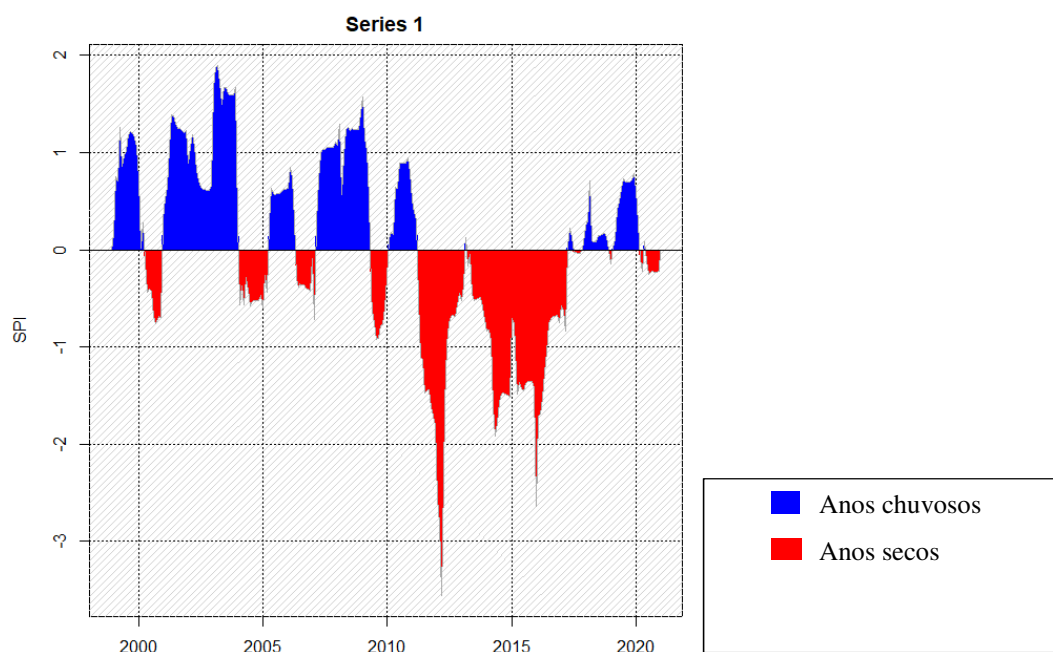


Fonte: AUTOR, 2022

Quando se compara os eventos de seca indicados pelo SPI (Fig. 4), para a BHRAM nota-se que a região já passou por vários episódios de seca sazonais

isoladas no período de 1999-2021, com valores negativos como em 2001, 2005, 2007 e 2010. Por outro lado, a BHRAM passou também por um período de seca prolongada muito severa, como observado nos valores negativos entre 2012 e 2017, com destaque para 2012, 2015 e 2016, que apresentaram os menores valores da série estudada (-3 e -2; Fig. 4). Apesar do efeito negativo que secas sazonais e frequentes possam ter na paisagem, a seca prolongada e severa entre 2012-2017 pode ter causado danos irreparáveis na BHRAM.

Figura 4: Variação temporal do Índice de Precipitação Padronizado (SPI) para a Bacia Hidrográfica do rio Apodi/Mossoró, para o período compreendido entre 1999 e 2021.

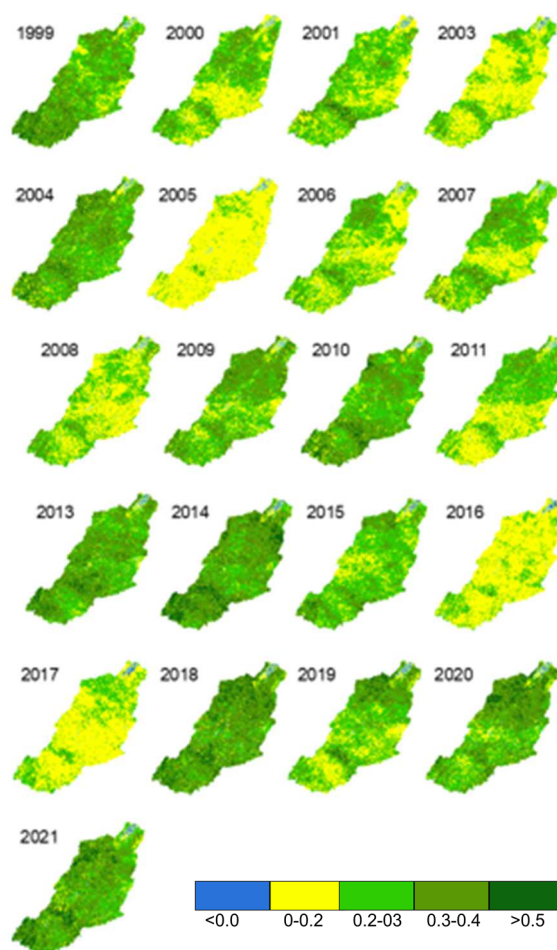


Fonte: AUTOR, 2022.

Considerando a variação temporal das áreas ocupadas pelas classes de uso e cobertura do solo (Fig. 6) na BHRAM nas últimas duas décadas, foi possível observar aumento considerável da classe de solo exposto, que em 2005 chegou a quase 90% da área total da bacia, e em 2016 e 2017 ocupou mais de 70% da área da bacia (Fig. 5. Mapas de 2005, 2016 e 2017 – paisagem predominantemente amarela; e Fig. 6). Dentre as classes de vegetação, a vegetação aberta apresentou maiores valores de cobertura na BHRAM, ocupando 40% da bacia na maioria dos anos, com exceção de 2005 que devido ao aumento do solo exposto ocorreu uma retração brusca de todas

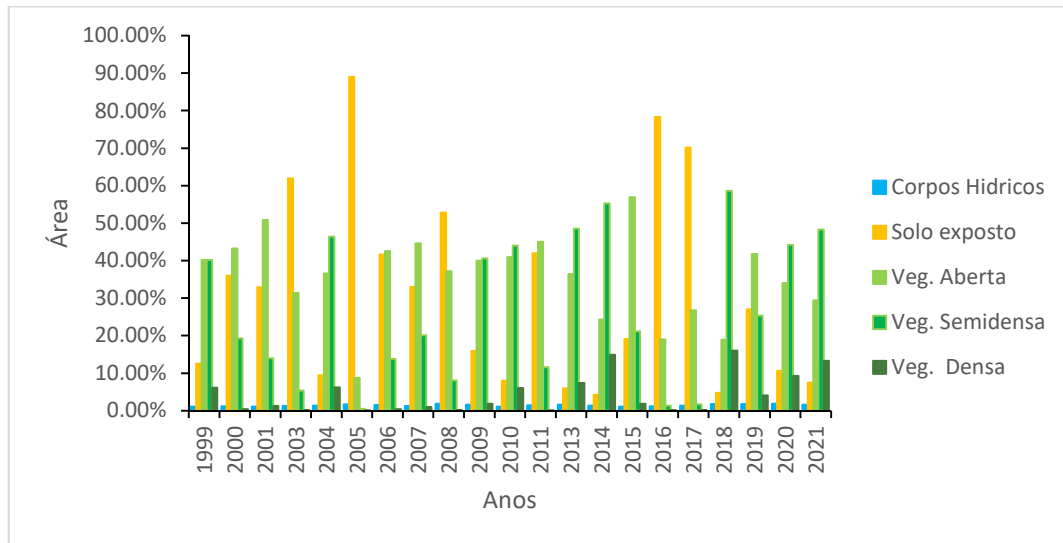
as classes de vegetação, colocando a vegetação aberta abaixo de 10% (Fig. 6). A classe de vegetação densa sempre apresentou baixa cobertura, se mantendo com área menor que 10% na maioria dos anos, ficando abaixo de 1% em 2000, 2003, 2005, 2006, 2008, 2011, 2016 e 2017, e se apresentando ligeiramente superior a 10% apenas em 2014, 2018 e 2021 (Fig. 6). A vegetação semidensa, por outro lado, apresentou um padrão variado, com alguns períodos de retração (1999-2003 e 2015-2017) e expansão (2008-2010 e 2019-2021). Vale destacar que em anos com muito solo exposto, a vegetação semidensa apresentou valores de cobertura muito baixos, como em 2003 e 2006 quando ocupava área inferior a 10%, e mais criticamente em 2005, 2016 e 2017, quando ocupava área inferior a 5% da bacia (Fig. 5).

Figura 5: Variação temporal nas classes de uso e cobertura do solo (NDVI) da Bacia Hidrográfica do Rio Apodi-Mossoró nos últimos 22 anos (1999-2021).



Fonte: AUTOR, 2022.

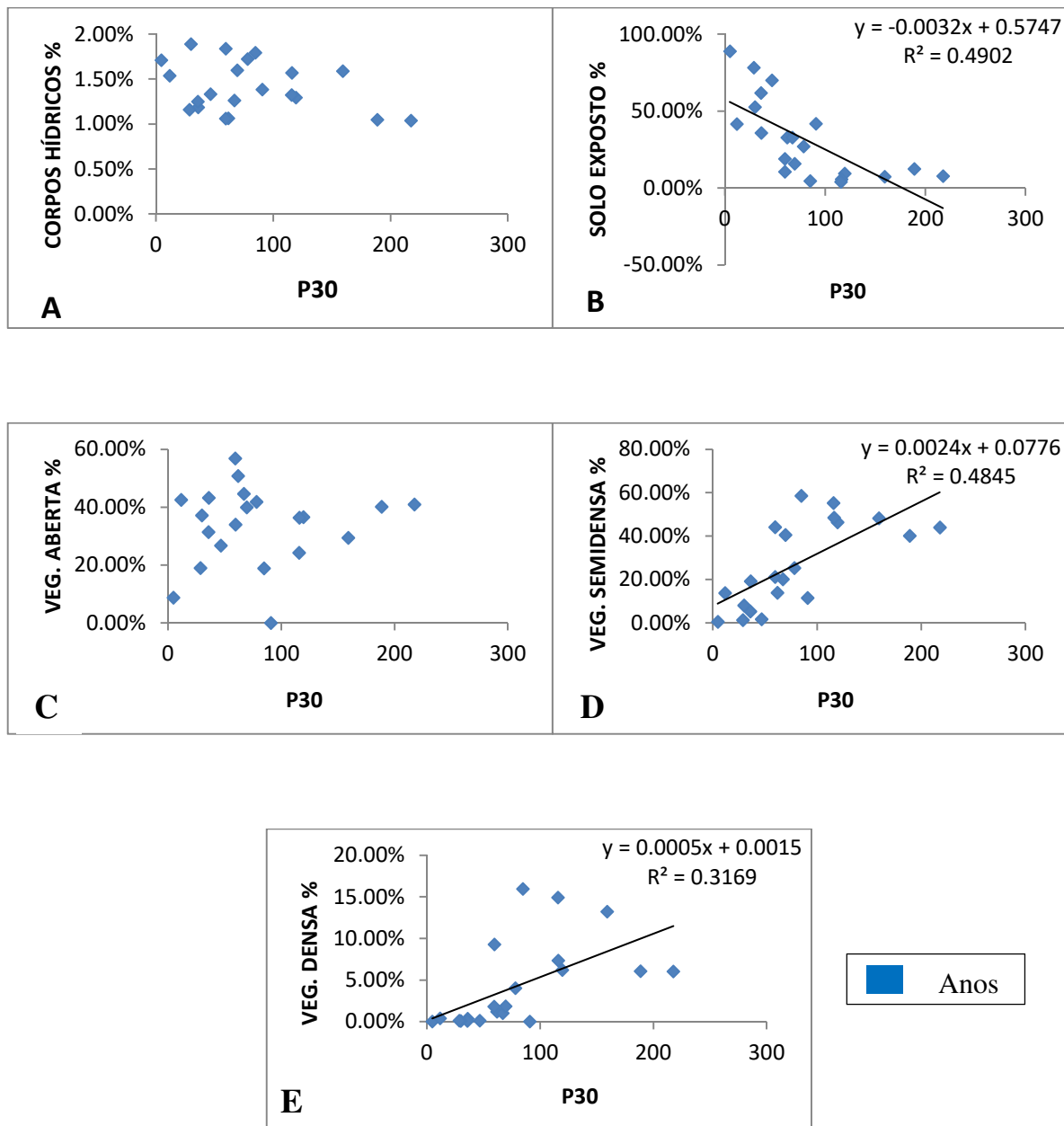
Figura 6: Variação temporal nos valores de área (%) das classes de uso e cobertura do solo na paisagem da BHRAM no período compreendido entre 1999 e 2022.



Fonte: AUTOR, 2022.

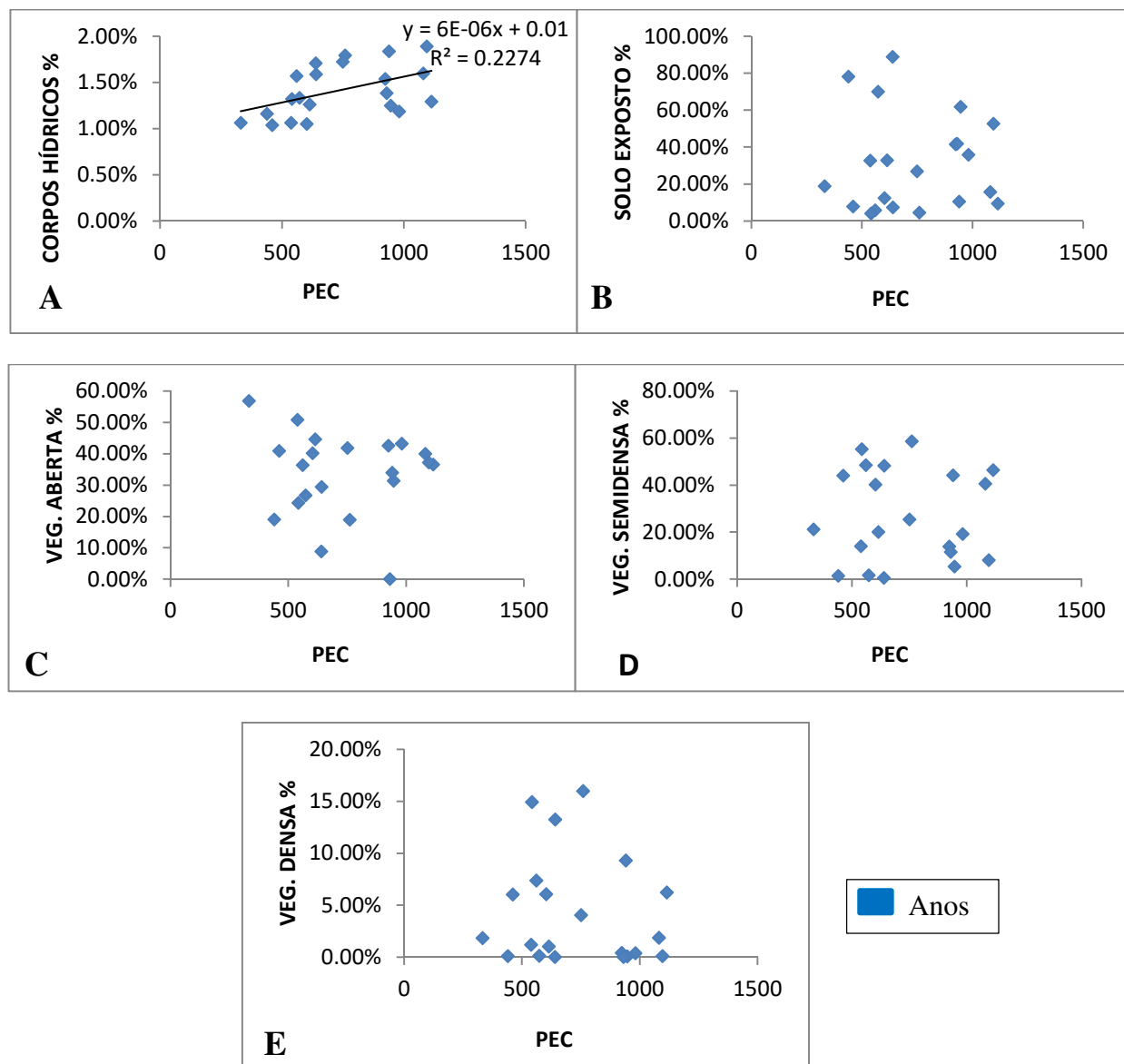
Para compreender a influência da precipitação sobre a dinâmica das classes da paisagem, as áreas de cada classe foram relacionadas com dois tipos de precipitação antecedentes, a precipitação média acumulada na BHRAM 30 dias antes da data do mapa (P30) de NDVI, e a precipitação média acumulada na estação chuvosa (PEC). As classes de solo exposto ($F = 0.490208$ e $p < 0,01$; Fig. 6B), de vegetação semidensa ($F = 0.484517$ e $p < 0,01$; Fig. 7D), e de vegetação densa ($F = 0.316925$ e $p < 0,01$; Fig. 7E) apresentaram relação significativa com P30, sendo a relação negativa entre P30 e solo exposto, e positivas para as vegetações densa e semidensa. A única classe que apresentou relação significativa e positiva com PEC foram os corpos hídricos ($F = 0.227372$ e $p < 0,05$; Fig. 8A). A vegetação aberta não apresentou relação significativa com nenhum tipo de precipitação (P30 $F = 0.010248$ e $p = 0.66$; Fig. 7C) e (PEC $F = 0.008552$ e $p = 0.69$; Fig. 8C).

Figura 7: Resultados das regressões entre os valores de área (%) das classes de uso e cobertura do solo e P30 (precipitação média acumulada 30 dias antes da data da imagem). Cada losango azul representa um ano da série temporal estudada (N=21)



Fonte: AUTOR, 2022.

Figura 8: Resultados das regressões entre os valores de área (%) de cada classe de uso e cobertura do solo e a PEC (precipitação acumulada na estação chuvosa). Cada losango azul representa um ano da série temporal estudada (N=21).



Fonte: AUTOR, 2022.

4. DISCUSSÃO

A variabilidade na precipitação da BHRAM, nas duas décadas estudadas (1999-2021), reflete as características da região semiárida brasileira. É comum que o clima dessa região se apresente ao longo de um contínuo entre dois extremos, as secas e as estações chuvosas (MARENGO & BERNASCONI, 2015). Além disso, o clima do semiárido é influenciado por dois fenômenos climáticos, o El Niño e a Lã Niña, os quais são responsáveis pelas massas de ar que chegam até o nordeste

brasileiro. O período estudado apresentou a influência dos dois fenômenos climáticos, que atuam de maneira distinta sobre o clima do Nordeste, em comparação às regiões Sul e Sudeste do Brasil (MARENGO *et al.* 2011). Identificamos anos com precipitação muito acima da média, como em 2004, 2008 e 2009, que estavam sob a influência do Lã Niña, e anos sob a influência do El Niño que ocasionou os períodos de seca muito severa (2012- 2017). Eventos como o El Niño comprometem todo o sistema socioecológico da Caatinga, uma vez que afetam a qualidade de vida de pessoas e animais (de criação e silvestres), além de impactar diretamente a produção de alimentos, principalmente à agricultura familiar de sequeiro, o que acaba por elevar a vulnerabilidade alimentar e o nível de pobreza da região (MARENGO *et al.* 2011; MARENGO & BERNASCONI, 2015). Por mais que anos com a precipitação acima da média histórica sejam registados para o nordeste brasileiro, as previsões climáticas para esse século são bastante pessimistas, uma vez que se espera maior frequência e severidade de secas (GAISER *et al.* 2003; MARENGO & BERNASCONI, 2015). Isso é bastante preocupante, pois as secas sazonais e prolongadas contribuem sobremaneira para a degradação da vegetação e dos solos da região (MARENGO & BERNASCONI, 2015). É previsto que até o final deste século, a caatinga se assemelhe aos tipos de vegetação de zonas áridas ou de desertos, principalmente devido ao aumento da temperatura e da redução das chuvas, impulsionadas pelas mudanças climáticas (MARENGO *et al.* 2011).

Ao relacionar os tipos de vegetação com os dois regimes de precipitação (mais recente - P30 e acumulado na estação chuvosa – PEC), observamos que a vegetação semidensa e densa apresentaram relação positiva com a P30. Esse resultado nos sugere que para compreender a resposta da vegetação da Caatinga não devemos avaliar somente o volume total acumulado naquele ano (se o ano foi considerado chuvoso ou seco), mas sim a distribuição desse volume entre os meses da estação chuvosa. Por exemplo, um ano considerado muito chuvoso, porém, com seu volume precipitado concentrado nos primeiros meses do ano, produzirá um efeito na vegetação diferente de um ano chuvoso com o volume precipitado mais bem distribuído entre os meses. Como exemplo, podemos considerar o ano de 2003, que apesar de ter sido um ano chuvoso (800 mm), teve maior volume precipitado nos primeiros quatro meses da estação chuvosa, o que pode ter resultado em menor desenvolvimento da vegetação arbustiva (menos de 10% da paisagem) e arbórea

densa (menos de 1% da paisagem), e elevada quantidade de solo exposto (60%) ao final da estação chuvosa. O oposto aconteceu em 2010, que apesar de ter sido um ano seco (557mm acumulado médio, valor de SPI -1), apresentou boa distribuição de volume precipitado entre os meses chuvosos, e elevado volume precipitado acumulado 30 dias antes da captura da imagem (210 mm), o que proporcionou grande desenvolvimento da cobertura vegetal na paisagem (cerca de 90%), os quais foram distribuídas entre os tipos de vegetação aberta (40%), semidensa (43%) e densa (6%), e conseqüentemente baixa quantidade de solo exposto (8%). Interessante destacar, a partir desses exemplos, que talvez a distribuição dos volumes precipitados na estação chuvosa (chuvas mais atrasadas, se concentrando mais no final da estação chuvosa), assim como a precipitação mais recente (do último mês) exerçam maior influência no grau de desenvolvimento da vegetação arbustiva e arbórea da Caatinga. Este fator pode estar relacionado com a própria adaptação da caatinga em resposta às estiagens sazonais, que em meses com baixa precipitação ocorre uma redução fotossintética, o que leva a perda foliar, porém, logo após as primeiras chuvas ocorre a renovação das folhas (VICENTE-SERRANO *et al.* 2013; BAJGAIN *et al.* 2015; ACOSTA SALVATIERRA *et al.* 2017; BARBOSA *et al.* 2019). No entanto, apesar dessa adaptação é possível que as espécies nativas já possam estar operando em seus limites fisiológicos (PRADO 2003), e que em cenários de mudanças climáticas, que preveem anos mais seco e com temperaturas mais elevadas, a vegetação da caatinga poderá sofrer perdas irreparáveis.

A única classe de vegetação que não apresentou relação com nenhum regime de precipitação antecedente foi vegetação aberta (classe 3) que engloba desde áreas de Caatinga degradadas, predominadas por herbáceas, plantios de hortaliças e frutíferas rasteiras como melão e melancia, até áreas abandonadas pela agricultura. Esse resultado contraria a hipótese da pesquisa, na qual se esperava que todos os tipos de vegetação da Caatinga apresentassem relação significativa, ou algum grau de dependência, com os regimes de precipitação antecedentes. Esse resultado parece indicar que a vegetação aberta independe tanto da precipitação acumulada mais recentemente quanto da acumulada na estação chuvosa. No caso específico da bacia hidrográfica estudada, esse resultado pode estar relacionado à agricultura irrigada, uma vez que diversos plantios comuns na bacia (como banana, melancia, caju, coco e leguminosas) utilizam água de reservatórios superficiais e subterrâneos

(ROCHA, 2011). Todos os municípios inseridos na BHRAM apresentam algum grau de produção agropecuária, somente Mossoró, que é a maior cidade da BHRAM, tem 37% do seu território destinado a produção, os outros municípios que compõe a bacia, têm em média 25% de seus territórios destinados à agropecuária (CARVALHO *et al.* 2011). Ainda segundo os autores, os municípios exercem pressão socioeconômica de 20 a 40% sobre a BHRAM, o que explica o aumento da vegetação aberta nos últimos anos, e a baixíssima proporção de vegetação densa (entre 1% e 10% da área da BHRAM).

Os corpos hídricos apresentaram relação com a precipitação acumulada na estação chuvosa (PEC). Isso ocorre porque grande parte do volume precipitado acaba sendo captado e acumulado em diversas estruturas como açudes e reservatórios ao longo da paisagem. Dessa forma, a chuva do último mês (P30), pode até contribuir com o aumento do volume desses corpos hídricos, mas não na magnitude que fosse perceptível por meio de imagens de satélite. Vale destacar que a bacia abriga aproximadamente 618 açudes registrados (e centenas de outros menores sem registro), totalizando um volume de 469.714.600 m³ de água, correspondendo a 27,4% do total de açudes do estado, o que equivale a 10,7% do volume d'água acumulado no RN (OLIVEIRA *et al.* 2009). É extremamente importante destacar o papel que esses corpos d'água acumulados na paisagem exercem na sobrevivência de seres humanos e animais, uma vez que toda a BHRAM se situa em região semiárida, sendo constituída em sua maioria por rios e riachos intermitentes, os quais secam quase totalmente por mais de quatro meses, todos os anos. No entanto, é importante mencionar o grave conflito entre os diversos usos da água da BHRAM, pois mais da metade (68,2%) desse recurso é destinado à agricultura irrigada, ficando 20% para os usos industriais, de produção aquícola (carcinicultura e piscicultura) e diluição de efluentes, restando apenas 11% para dessedentação animal e consumo humano, que em anos de seca prolongada convivem com a escassez desse importante recurso (MESQUITA, 2018).

Os anos de 2005, 2016 e 2017 apresentaram maiores valores de solo exposto (90%, 78% e 70%) e foram classificados como ano de seca (2005 SPI = -0,5) e anos de seca extrema (2016 SPI = -1,5; 2017 SPI = -2,5). Além disso, esses três anos tiveram regimes de precipitação distribuídas irregularmente, com chuvas mais concentradas no primeiro trimestre, sendo os três meses antecedentes à data das

imagens analisadas bastante secos. É possível que esses dois fatores tenham influenciado negativamente o desenvolvimento dos dois tipos de vegetação menos favorecidos pela irrigação (vegetação arbustiva e arbórea nativa, não cultivadas na fruticultura), pois juntas ocuparam menos de 2% da paisagem nesses anos. Por outro lado, a vegetação do tipo aberta, que em boa parte da sua extensão recebe irrigação, esteve presente em 10% da bacia (2005), 20% (2016) e quase 30% (2017) nesses anos de seca. Vale destacar que 2016 e 2017 são os anos finais da seca prolongada que afetou a BHRAM, e que no ano seguinte (2018), mais chuvoso, parece ter ocorrido uma resposta positiva na vegetação arbustiva (quase 60% de cobertura) e uma leve recuperação da vegetação densa (16%). Porém, nos anos seguintes, a vegetação densa volta a apresentar valores de cobertura muito baixos (entre 4% e 13%), o que demonstra a forte pressão antrópica sobre as formações florestais remanescentes da Caatinga.

Além da pressão socioeconômica que a bacia enfrenta, ela sofre perturbações comuns do bioma caatinga como caça, agropecuária extensiva, desmatamento e queimadas (ANTONGIOVANNI *et al.* 2020), somente de 2018 a 2019, 7,9% da vegetação presente na bacia foram queimadas (CAVALCANTE, 2021) de 2002 a 2008 a BHRAM perdeu 37,8% de sua vegetação para o desmatamento (CARVALHO, 2012). Isso é possível observar nos baixíssimos valores de cobertura principalmente para a vegetação densa, que na maioria dos anos estudados apresentou valores inferiores a 5% de cobertura na paisagem. Provavelmente, essas áreas de floresta remanescentes estão sendo substituídas por áreas de agricultura, pecuária, agricultura familiar de pequena escala e moradias (ANTONGIOVANNI *et al.* 2020), uma vez que os municípios da BHRAM apresentaram crescimento urbano. Todas essas variáveis têm impacto direto sobre a vegetação, alterando de forma severa a paisagem da bacia, trazendo diversos prejuízos ambientais, pois as vegetações das matas de galerias exercem um papel fundamental na manutenção do ciclo da água, além de afetar diretamente a qualidade da água da BHRAM. Além disso, a cobertura vegetal propiciada por arbustos e espécies arbóreas protege o solo contra lixiviação, aumenta a porosidade e a permeabilidade do solo, auxiliando também na manutenção da umidade e fertilidade do solo (BELTRAME, 1994; ROCHA, 2011). Portanto, a situação atual de baixa cobertura da vegetação semidensa e densa da BHRAM, e elevada quantidade de solo exposto, demonstram o grau de degradação que a bacia

se encontra, e esses padrões estão atrelados tanto às secas severas que a bacia passou, como também às atividades socioeconômicas da mesma, pois mesmo em anos chuvosos, com boa distribuição mensal da precipitação, a vegetação densa, florestal, apresentou valores extremamente baixos.

4. CONCLUSÃO

Podemos concluir que a vegetação densa e semidensa da Caatinga são influenciadas pela distribuição da precipitação, e que respondem mais fortemente a precipitação do último mês (P30). A vegetação aberta, se mostrou que independe da precipitação de forma direta. Já os corpos hídricos são influenciados pela precipitação acumulada da estação chuvosa (PEC), o que já era de se esperar. A classe de solo exposto respondeu de forma negativa a precipitação do último mês (P30), isso está ligado a respostas das classes de vegetações semidensa e densa, uma vez que quanto mais vegetação cobrindo o solo, menos solo exposto. Então se essas classes de vegetações respondem de forma positiva a P30 é natural que o solo exposto responda de forma negativa a essa precipitação.

Entretanto ao longo dos anos houve aumento do solo exposto mesmo em anos considerados chuvosos, dando indicativo de que além das secas, as pressões antrópicas estão afetando negativamente a caatinga presente na BHRAM, isso reflete na baixa cobertura das classes de vegetação semidensa e densa, desse modo, podemos concluir que a BHRAM está com elevado grau de degradação, o que é preocupante se considerarmos os cenários futuros de mudanças climáticas, que preveem maior frequência e severidade de secas para a região.

REFERÊNCIAS

- ACOSTA SALVATIERRA, L.H., LADLE, R.J., BARBOSA, H., CORREIA, R.A., MALHADO, A. Protected areas buffer the Brazilian semi-arid biome from climate change. *Biotropica* 49 (5), 753–760. 2017.
- ANTONGIOVANNI, M., VENTICINQUE, E. M., MATSUMOTO, M., & FONSECA, C. R. Chronic anthropogenic disturbance on Caatinga dry forest fragments. *Journal of Applied Ecology*, 57(10), 2064–2074. 2020.
- ALVES, A; JAKSON, J; ARAÚJO, M. A; SEBASTIANA, S. N. Degradação da Caatinga: Uma investigação ecogeográfica. *Caatinga*, Mossoró, v.22, n3, p 126-135. 2009.

- ALVES, T. L. B. Caracterização física e socioambiental da microbacia hidrográfica do riacho namorado no município de São João do Cariri-PB. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais)- Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, p. 107. 2012.
- ARAÚJO, D. R.; SILVA, P. C. M.; DIAS, N. S; LIRA, D. L. C. Estudo da área de preservação permanente do rio Mossoró no sítio urbano de Mossoró-RN por meio de técnicas de geoprocessamento. *Caatinga*, Mossoró, v. 25, p. 177-183, 2012.
- BAJGAIN, R., XIAO, X., WAGLE, P., BASARA, J., ZHOU, Y. Sensitivity analysis of vegetation indices to drought over two tallgrass prairie sites. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* 108, 151–160. 2015.
- BARBOSA, H. A.; KUMARB T.V. L.; PAREDESC, F.; ELLIOTTD, S.; AYUGAE, J.G. Assessment of Caatinga response to drought using Meteosat-SEVIRI Normalized Difference Vegetation Index (2008–2016). Contents lists available at ScienceDirect *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2019.
- BARBOSA, H.A., Spatial and temporal analysis of vegetation index derived from AVHRR/NOAA and rainfall over Northeastern Brazil during 1982-1985. Master degree dissertation in Remote Sensing [in Portuguese]. Divisão de Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, Brazil. 1998.
- BARBOSA, H.A., HUETE, A.R., BAETHGEN, W.E. A 20-year study of NDVI variability over the Northeast region of Brazil. *J. Arid Environ.* 67, 288–307. 2006.
- BELTRAME, A. V. Diagnóstico do meio físico de Bacias Hidrográficas: modelo e aplicação. Florianópolis: Ed. Da UFSC, p.124. 1994.
- CARVALHO, G. R. Sistemas Ambientais e desmatamento na região da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró/RN. *Revista da ANPEGE*, v. 8, n. 9, p. 107-118. 2012.
- CARVALHO, O. de. A economia política do Nordeste: secas, irrigação e desenvolvimento. Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem ; Rio de Janeiro, RJ, Brasil : Editora Campus, c1988.
- CARVALHO, R.G.; KELTING, F.M.S.; SILVA, E.V. Indicadores socioeconômicos e gestão ambiental nos municípios da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró, RN. *Sociedade & Natureza*, v. 23, n. 1, p. 143-159, 2011.
- CASTELLETTI, C.H.M.; SANTOS, A.M.M.; TABARELLI M.; SILVA, J.M.C. Quanto ainda resta da Caatinga? In: LEAL, I.R.; TABARELLI, M., SILVA, J.M.C. (eds.). *Ecologia e conservação da Caatinga*. Editora Universitária da UFPE, Recife, pp. 719-734. 2003.
- CAVALCANTE, A. E. Q. M.; GRIGIO, A. M.; DIODATO, M. A. Morfometria e diagnóstico físico conservacionista (dfc) em 19 sub-bacias da bacia hidrográfica Apodi Mossoró. *Revista Brasileira de Geografia Física* v.14, n 7 p. 3891-3909. 2021.
- CHRISTOFOLETTI, A. *Análise de sistemas em geografia*. São Paulo: Huitec, 1979.
- CUNHA, T. J. F.; SILVA, F. H. B. B.; SILVA, M. S. L.; PETRERE, V. G.; SÁ, I. B.; OLIVEIRA NETO, M. B. de. CAVALCANTI, A. C. Solos do Submédio do Vale do

- São Francisco: potencialidades e limitações para uso agrícola. Petrolina: Embrapa Semiárido. 2008.
- DANTAS, JAQUELINE DE SOUZA. Análise do uso e ocupação do solo no médio curso da Bacia do Rio Apodi Mossoró-RN. Monografia (Graduação) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, p.78. 2022.
- FILHO, R. S. Reconstrução de séries temporais de NDVI para uma área de caatinga. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, p.96. 2019.
- FLORENZANO, T. G. Iniciação em sensoriamento remoto. 3 ed. Oficina de Textos, São Paulo. 2011.
- GAISER, T.; KROL, M.; FRISCHKORN, H. & ARAÚJO, J.C. Global Change and Regional Impacts. Springer, Verlag, 428p. 2003.
- GUTTMAN NB. Accepting the Standardized Precipitation Index: a calculation algorithm. J. Am. Water Resour. 1999.
- GHULAM, A., QIN, Q., TEYIP, T., LI, Z.L. Modified perpendicular drought index (MPDI): a real-time drought monitoring method. ISPRS J. Photogramm. Remote Sens. p.150–164. 2007.
- HUGHES, T.P., CARPENTER, S., ROCKSTRÖM, J., SCHEFFER, M., WALKER, B. Multiscale regime shifts and planetary boundaries. Trends Ecol. V. 28, 2013.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/>. Acessado em: 07 Outubro 2022.
- INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E MEIO AMBIENTE DO RIO GRANDE DO NORTE (IDEMA). Anuário Estatístico do Rio Grande do Norte. Natal, 2016.
- IPCC. Climate Change. 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, R.K. PACHAURI AND L.A. MEYER (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp. 2014.
- JACOMINE, P. K. T.; SILVA, F. B. R.; FORMIGA, R. A. Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado do Rio Grande do Norte. Recife, 1971.
- KOPPEN, W. Climatologia. México, Fundo de cultura Econômica. 1931.
- LEAL, L. C., A. N. ANDERSEN, AND I. R. LEAL. Disturbance winners or losers? Plants bearing extrafloral nectaries in Brazilian Caatinga. Biotropica 47: 2015.
- MAESTRE, F. T., M.; DELEGADO-BAQUERIZO, T. C. JEFFERIS, D. J.; ELDRIGE, V.; OCHOA, B. GOZALO, J. L. QUERO, M.; GARCIA-GOMEZ, A.; GALLARDO, P. and Climate Change 759W. ULRICH, M.A; BOWKER, T. ARREDONDO, C.; BARRAZA-ZEPEDA, D.; BRAN, A.; FLORENTINO, J.; GAITAN, J. R.; GUTIÉRREZ, E.; HUBER-SANN- WOLD, M.; JANKJU, R.L.; MAU, M. MIRIT, K. NASERI, A. OSPINA, I.; STAVI, D. WANG, N. N.; WOORDS, X.; YUAN, E ZAADY, AND B. K.; SINGH. Increasing aridity reduces soil microbial diversity and abundance in global drylands. Proc. Natl Acad. Sci. USA 112: 2015.

- MARENGO J.A.; BERNASCONI, M. Regional differences in aridity/ drought conditions over Northeast Brazil: present state and future projections. *Climate Change*, 129: p.103–115. 2015.
- MARENGO, J. A.; ALVES L. M.; BESERRA E A.; LACERDA F. F. Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. Campina Grande: Instituto Nacional do Semiárido, Cap. 13. p. 383-416. 2011.
- MCKEE, T.B., DOESKEN, N.J., KLEIST, J. The relationship of drought frequency and duration to time scales. In: *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, vol. 17, No. 22. American Meteorological Society, Boston, MA, p. 179–183. 1993a.
- MCKEE, T.B., DOESKEN, N.J., KLEIST, J. The relationship of drought frequency and duration to time scales. In: *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, vol. 17. American Meteorological Society, Boston, MA, p. 179–183. 1993b.
- MEDEIROS, J. B; SILVA, P. C. M; OLIVEIRA, R. B; PINTO, C. H. C; FEITOSA, A. P. Análise dos indicadores de qualidade da água no trecho urbano do Rio Apodi-Mossoró em Mossoró-RN, Brasil *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 34, n. 6, p. 3443-3454. 2013.
- MESQUITA, R. F. Avaliação das outorgas de direito de uso dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do Rio Apodi/Mossoró. Monografia (Graduação)-Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Ambiental, Natal, p.40. 2018.
- NOBRE, C. A., G. S. OLIVEIRA, AND L. F. SALAZAR (2006), Climate and land use changes in Amazonia: Impacts on the hydrological cycle and biome distribution, in *Water and Environment: Proceedings of the Workshop in the Vatican Academy of Sciences*, Nov. 2005, Vatican Press, Rome, in press.
- OLIVEIRA, G.; ARAÚJO, M. B.; RANGEL, T. F.; ALAGADOR, D.; DINIZ-FILHO, J. A. F.: Conserving the Brazilian semiarid (Caatinga) biome under climate change. *Biodivers Conserv*, 2012.
- OLIVEIRA, M. K. S. Análise-espaco temporal das mudanças no uso e cobertura do solo no entorno do sítio arqueológico Lajedo de Soledade, Apodi, RN. Monografia (graduação) – Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró, p.46. 2019.
- OLIVEIRA, T.M.B.F.; SOUZA, L.; CATRO, S.S.L. Dinâmica da série nitrogenada nas águas da bacia hidrográfica Apodi/Mossoró - RN – Brasil. *Eclética química*, São Paulo, Volume 34, número 3, p. 1-10 2009.
- PAREDES, F.J., BARBOSA, H.A., GUEVARA, E. Análisis espacial y temporal de las sequías en el nordeste de brasil. *Agriscientia* 32, p.1-14. 2015.
- PENNINGTON, R. T.; LEWIS, G. P.; RATTER, J. A. An overview of the plant diversity, biogeography and conservation of Neotropical Savannas and seasonally dry forests. In: PENNINGTON, R. T.; LEWIS, G. P.; RATTER, J. A. *Neotropical savannas and seasonally dry forests: plant diversity, biogeography and conservation*. Bora Raton: CRC Taylor & Francis. p.1-29. 2005.

- PINTO FILHO, J. L. O.; PETTAB, R. A.; SOUZA, R. F. Caracterização socioeconômica e ambiental da população do campo petrolífero Canto do Amaro, RN, Brasil. *Sustentabilidade em Debate - Brasília*, v. 7, n. 2, p. 200-216, 2016.
- PRADO, D. E. As Caatingas da América do Sul. In: R. Leal, M. Tabar-elli, and J. M. C. Da Silva (Eds.). *Ecologia e conservação da Caatinga*, pp. 3–73. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brazil. 2003.
- PRENTICE, K. C. Bioclimatic distribution of vegetation for general circulation models, *J. Geophys. Res.*, 95, p.11,811 – 11,830. 1990.
- ROCHA, A. B. Análise multitemporal da dinâmica do uso e ocupação do baixo curso do rio Apodi – Mossoró – RN (1989-2009). Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, p. 113. 2011.
- RODRIGUES M.T. Herpetofauna da Caatinga. In: Leal IR, Tabarelli M, Silva JMC (eds) *Ecologia e conservação da Caatinga*. Editora Universitária, Recife, p. 181–236. 2003.
- ROUSE, J.W., HAAS; R.H., SCHELL, J.A.;DEERING, D.W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS, Third ERTS Symposium, NASA SP-351 I, 1973.
- SALAZAR, L. F., C. A. NOBRE, AND M. D. OYAMA. Climate change consequences on the biome distribution in tropical South America. *Geophys.* 2007.
- SALVATIERRA, L.H. A., LADLE, R.J., BARBOSA, H., CORREIA, R.A., MALHADO, A. Protected areas buffer the Brazilian semi-arid biome from climate change. *Biotropica* 49 2017.
- SEDDON, A. W., M. MACIAS-FAURIA, P. R. LONG, D. BENZ, AND K. J. WILLIS. Sensitivity of global terrestrial ecosystems to climate variability. p.229–232. 2016.
- SILVA, B.K.N.; SILVA, M.T.; BARBOSA, E.; SILVA, F.D.S.; JÚNIOR, R.L.R.; SERRÃO, E.A.O.; SILVA.V.P.R.; SILVA.C.M.S. Avaliação de Extremos de Erosividade Causados pela Precipitação na Bacia do Rio Apodi/Mossoró-RN. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 35, n. Especial, p. 871-879, 2020.
- SILVA, S.; COSTA T. R.; SALOMÃO N. V.; ALVES A. R.; SANTOS T. R.; MACHADO E. L. M. Mudanças temporais na estrutura vegetacional de um fragmento de Caatinga, sul do Piauí. *Scientia Plena*, v. 16, n.2, p. 1-12. 2020.
- SILVA, S.V.D.; CRUZ, M.B.C. Tipologias de Caatinga: Uma Revisão em Apoio a Mapeamentos Através de Sensoriamento Remoto Orbital e GEOBIA. *Revista do departamento de Geografia*, V.35, p.113-120, 2018.
- UNFCCC, FCCC/CP/2015/L.9/Rev.1: Adoption of the Paris Agreement (pp. 1–32). UNFCCC, Paris, France. 2015.
- VICENTE-SERRANO, S.M.; GOUVEIRA, C.; CAMARERO, J. J.; LORENZO, A. S. 2013. Response of vegetation to drought time-scales across global land biomes. *Proc. Natl Acad. Sci.* v.110, p. 7–52. 2013.
- VIEIRA, W.L.S.; SANTANA G. D.; ARZABE C. Diversity of reproductive modes in anuran communities in the Caatinga drylands of northeastern Brazil. *Biodivers Conserv*, v.18, p.55–66. 2009.

ANEXOS

Anexo1:

Tabela 1: Estações climatológicas

Mesorregião	Microrregião	Município	Latitude	Longitude
Oeste potiguar	Chapada do Apodi	Apodi	-5.6167	-37.8167
		Caraúbas	-5.7833	-37.5667
		Felipe Guerra	-5.59333	-37.68417
		Governador	-5.45	-37.515
Oeste potiguar	Mossoró	Mossoró	-5.28889	-37.28889
		Mossoró	-5.21944	-37.36222
		Areia Branca	-4.95	-37.1167
		Serra do Mel	-5.15	-37.0333
Oeste potiguar	Umarizal	João Dias	-6.2667	-37.7833
		Lucrecia	-6.1	-37.8
		Martins	-6.0833	-37.9
		Olho d'agua dos Borges	-5.95	-37.7
		Patu	-6.1	-37.6333
		Umarizal	-5.9833	-37.8167
		Alexandria	-6.4167	-38
		Itaú	-5.8333	-37.9667
		Pau dos Ferros	-6.1	-38.2

Oeste potiguar	Pau dos Ferros	Porta Alegre	-6.0167	-37.9833
		Riacho da Cruz	-5.9333	-37.95
		Tenente Ananias	-6.4667	-38.1667
Oeste potiguar	Serra de São Miguel	Doutor Severiano	-6.0947	-38.3758
		Luiz Gomes	-6.4167	-38.3833
		Riacho de Santana	-6.25	-38.3
		São Miguel	-6.2167	-38.4333
Oeste potiguar	Vale do Assú	Assú	- 5.55944	-37.22194
		Assú	-5.5667	-36.9167
		Porto do Mangue	-5.05	-36.8
		Paraú	-5.7667	-37.1
		Janduís	-6.0167	-37.4
		Venha ver	-6,3167	-38,4833
		Paraná	-6.0167	-37.4

Fonte: Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (Emparn).

Anexo 2:

$$P30 \quad \sum MAI E1 + MAI E2 + MAI E3 \dots = Média$$

MAI: Mês anterior à data da imagem

E1: Estações

Anexo 3:

PEC

$$\sum 1janeE1 + feveE1 + marE1 \dots \dots =$$

$$\sum 1janeE2 + feveE2 + marE2 \dots \dots =$$

SOMA O RESULTADO
DE CADA ESTAÇÃO E
TIRA A MÉDIA

1jane: Primeiro de janeiro

Feve: Fevereiro

Mar: Março

E: Estações

Anexo 4:

Tabela 2: Referências das imagens: Satélite, sensor, órbita/pontos e data de passagem do sensor.

Satélite	Sensor	Órbita	Rota	Pontos	Data de Passagem
Landsat 5	MSS e TM	Polar, helios-síncrona	216	63 e 64	02/06/1999; 06/07/2000 - 23/08/2000; 22/05/2001 - 25/07/2001; 15/07/2003; 14/05/2004; 21/08/2005; 23/07/2006 - 24/08/2006; 24/06/2007; 13/08/2008; 31/07/2009; 15/05/2010; 06/08/2011.
Landsat 8	OLI e TRIS	Circular 216	216	63 e 64	08/06/2013 - 10/07/2013; 16/05/2014 - 11/06/2014; 13/05/2015; 16/06/2016; 06/08/2017; 16/06/2018; 25/05/2019; 13/07/2020; 14/06/2021.

*Alguns anos foram necessários imagens de datas diferentes (porém muito próximas) para compor a paisagem da bacia.