



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS V JOÃO PESSOA
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS SOCIAIS E APLICADAS
CURSO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**

GABRIEL DOUGLAS DA SILVA

**RELAÇÃO ENTRE RIQUEZA DE ESPÉCIES LENHOSAS E
PRODUTIVIDADE PRIMÁRIA (CORRELATO: EVI) NO SEMIÁRIDO
BRASILEIRO**

JOÃO PESSOA

2022

GABRIEL DOUGLAS DA SILVA

**RELAÇÃO ENTRE RIQUEZA DE ESPÉCIES LENHOSAS E
PRODUTIVIDADE PRIMÁRIA (CORRELATO: EVI) NO SEMIÁRIDO
BRASILEIRO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de bacharelado em Ciências Biológicas da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas.

Área de concentração: Ecologia de Ecossistemas.

Orientador: Prof. Dr. Cleber Ibraim Salimon

JOÃO PESSOA

2022

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

S586r Silva, Gabriel Douglas da.
Relação entre riqueza de espécies lenhosas e produtividade primária (Correlato: EVI) no semiárido brasileiro [manuscrito] / Gabriel Douglas da Silva. - 2022.
51 p. : il. colorido.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências Biológicas e Sociais Aplicadas, 2022.

"Orientação : Prof. Dr. Cleber Ibraim Salimon, Coordenação do Curso de Ciências Biológicas - CCBSA."

1. Produtividade primária. 2. Sensoriamento remoto. 3. Índice de vegetação. 4. Mudanças climáticas. I. Título

21. ed. CDD 583.95

GABRIEL DOUGLAS DA SILVA

RELAÇÃO ENTRE RIQUEZA DE ESPÉCIES LENHOSAS E
PRODUTIVIDADE PRIMÁRIA (CORRELATO: EVI) NO SEMIÁRIDO
BRASILEIRO

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de bacharelado em
Ciências Biológicas da Universidade
Estadual da Paraíba, como requisito
parcial à obtenção do título de Bacharel
em Ciências Biológicas.

Área de concentração: Ecologia de
Ecossistemas.

Aprovada em: 24/03/2022.

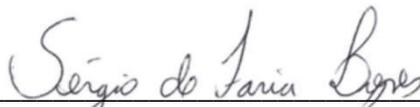
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Cleber Ibraim Salimon (Orientador)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Profa. Dra. Célia Cristina Clemente Machado
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Dr. Sérgio de Faria Lopes
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

A minha família, meus amigos e a todos
que me apoiaram e me deram forças,
DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a minha mãe, Maria Lúcia. Sem ela eu não seria quem eu sou, e não chegaria onde cheguei. Obrigado por todo o sacrifício que a senhora fez por mim, pelo suporte, e graças a isso, estou concluindo essa etapa da minha vida. Agradeço também a minha avó, Maria José, por cuidar de mim durante toda minha infância, por me prover tudo que eu precisava e estar sempre me apoiando em todos os meus passos, e por nunca me deixar trilhar essa jornada sozinho. Aos meus tios que se fizeram presentes sempre que eu precisei, e acreditaram que eu tinha o potencial para completar essa fase.

Agradeço, do fundo do meu coração, a minha tia Daniela Antony e ao meu tio José Maria, a quem me deram essa oportunidade que poucos conseguem. Eles acreditaram em mim até mesmo quando eu não conseguia acreditar, e de certo modo, me apoiaram e coagiram para que eu continuasse tentando. Foi um caminho árduo e com muitos impasses, e nem sempre foi vitorioso, mas acredito que consegui chegar até aqui graças ao apoio deles, principalmente da minha tia, que descansa em paz sabendo que eu alcancei esse objetivo. Espero que eu tenha conseguido mostrar que fui e sou grato por essa chance que me foi ofertada. Sei que nem sempre deixei isso claro, mas presumo que em algum momento, isso ficou implícito. Acredito que eu tenha conseguido lhes proporcionar orgulho, mesmo com todas as adversidades que surgiram no caminho. Agradeço também aos meus “primos-irmãos” Victor, Caio e Luluca Antony, por me apoiarem, e me darem suporte, eles são a prova de que não precisa ter o mesmo sangue para ser família.

Agradeço, aos meus amigos que fiz durante a graduação. Todos tiveram uma importância na minha vida. Especialmente a minha “miga” Amanda que desde o terceiro dia do curso já tinha virado uma grande amiga, e eu sabia que dali por diante seríamos grandes amigos, obrigado por tudo. As minhas colegas do meu antigo laboratório Greice e Jess, que sempre me faziam rir e proporcionaram um suporte emocional. A minha querida “A Seita”, minhas amigas Janine, Lala, Rebeca, Vic e Paloma, que deixaram longos anos de graduação bem mais leves com o apoio, carinho e a zueira. Grandes memes e figurinhas foram criados ao longo desses anos.

Agradeço, ao meu orientador Cleber Ibraim, por me aceitar no LABECO, e me dar a chance de realizar esse trabalho. Houveram contratempos, mas no fim, tudo deu certo.

Agradeço, de maneira geral a todos os meus professores do curso, pelos conselhos e incentivos que me fizeram persistir por tudo aquilo que eu almejava.

“A persistência é o caminho do êxito.”

Charles Chaplin.

RESUMO

Para algumas regiões específicas do Brasil, como a região do semiárido do Nordeste brasileiro, existem poucos estudos que apresentam abordagens macroecológicas nas suas análises ecológicas. Nesta região semiárida, a vegetação da caatinga apresenta algumas características únicas, como um alto endemismo, alta heterogeneidade com espécies bem adaptadas as condições extremas de calor e seca e uma alta variabilidade espacial e temporal. A constante influência antrópica em associação com esse clima seco gera sérios impactos ecossistêmicos, que por sua vez representam um impacto direto na sua produtividade ecossistêmica, fator considerado essencial para estabilidade de qualquer ecossistema. Os estudos que abordam a diversidade de espécies e/ou produtividade geralmente focam nas relações do clima e do solo como principais impulsionadores da produtividade, mas eles não são os únicos. A riqueza de espécies, por exemplo, também é considerada um impulsionador da produtividade. O uso de técnicas de sensoriamento remoto nos permite estimar indiretamente a produtividade ecossistêmica com a utilização dos índices de vegetação, como o *Enhanced Vegetation Index* (EVI). Neste trabalho, utilizamos o EVI da vegetação da caatinga de alguns locais ($n = 49$) e os correlacionamos com sua riqueza de espécies lenhosas. Também usamos dados de precipitação das mesmas localidades para executar modelos lineares com o EVI e a riqueza de espécies. Os resultados mostraram que quase todos os modelos foram significativos ($p \leq 0,05$, $n = 49$). A riqueza de espécies se correlacionou positivamente com o EVI (33%, $p < 0,05$); enquanto que a precipitação também se correlacionou significativamente e positivamente com o EVI, mas com menor força (11%, $p < 0,05$). A riqueza de espécies e a precipitação, no entanto, não tiveram uma correlação significativa (0,21%, $p > 0,05$). Concluímos que ambas as variáveis (riqueza de espécies e precipitação) são determinantes significativos da produtividade ecossistêmica no semiárido brasileiro, e que em uma escala de paisagem, a riqueza está mais correlacionada ao EVI do que a precipitação.

Palavras-Chave: Produtividade Ecossistêmica. Sensoriamento Remoto. Índice de Vegetação. Mudanças Climáticas.

ABSTRACT

In some specific Brazilian regions, such as the semiarid areas in Northeastern Brazil, there are few studies which have macroecological approaches in their ecological analyses. In this semiarid region, the caatinga vegetation shows some unique features, such as a high endemism, high heterogeneity with species well adapted to extreme hot and dry conditions, and a high spatial and temporal variability. The constant anthropogenic influence in association with this dry climate both drive serious ecosystemic impacts, which in turn pose direct impact to ecosystem productivity, a factor considered essential for the stability of any ecosystem. Studies addressing species diversity and/or productivity usually focus on climate and soils relationships as main drivers of productivity, but they are not the only ones. Species richness, for example, is also considered a driver of productivity. The use of remote sensing techniques allows us to indirectly estimate ecosystem productivity, with vegetation indices, such as the Enhanced Vegetation Index (EVI). In this study we used EVI in caatinga vegetation in 49 sites and correlated them with their woody species richness. We have also used precipitation data from the same localities to run linear models with species richness and EVI as well. We found that almost all models were statistically significant ($p \leq 0,05$, $n = 49$), species richness positively correlated with EVI (33%, $p < 0,05$), while precipitation also significantly correlated with EVI, but with lesser strength (11%, $p < 0,05$). However, the correlation between species richness and precipitation were not statistically significant (0,21%, $p > 0,05$). We therefore conclude that both variables (species richness and precipitation) are significant drivers of ecosystem productivity in semiarid Brazil, and at a landscape scale, richness is more correlated to EVI than precipitation.

Keywords: Ecosystem productivity. Remote Sensing. Vegetation Index. Climate Change.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Mapa do Brasil, com destaque para a região do semiárido brasileiro	26
Tabela 1- Todos os pontos de amostragens dos dados ($n = 49$), ao nível de municípios e Estados	29
Gráfico 1- Variabilidade interanual do EVI de todos os pontos ($n = 49$) dos anos de 2000-2017.....	31
Gráfico 2- Variação sazonal média do EVI de todos os pontos ($n = 49$) dos anos de 2000-2017.....	31
Gráfico 3- Variabilidade interanual da precipitação de todos os pontos ($n = 49$) dos anos de 2001-2016	32
Gráfico 4 - Variação sazonal média da precipitação de todos os pontos ($n = 49$) dos anos de 2001-2016	32
Tabela 2- Valores médios das correlações de todos os pontos de amostragem ($n = 49$); dos valores dos respectivos coeficientes de determinação e dos desvios padrões	34
Gráfico 5- Regressão por estimativa baseada em ranqueamento da correlação entre o EVI médio de todos os pontos ($n = 49$) com a riqueza de espécies amostral de todos os pontos ($n = 49$)	36
Gráfico 6- Regressão por estimativa baseada em ranqueamento da correlação entre o EVI médio de todos os pontos ($n = 49$) com a precipitação média de todos os pontos ($n = 49$)	39
Gráfico 7- Modelo Linear Generalizado (GLM) da correlação entre a riqueza de espécies lenhosas ($n = 49$) com a precipitação média de todos os pontos ($n = 49$)	40

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1. A DELIMITAÇÃO DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO	13
2.1.1 OS EXTREMOS CLIMÁTICOS DO NORDESTE BRASILEIRO	14
2.1.2 O CLIMA EXTREMO DA REGIÃO NORDESTE	16
2.1.2.1 O ECOSISTEMA DA CAATINGA	19
2.1.2.1.1 RIQUEZA DE ESPÉCIES COMO INDICADOR DA PRODUTIVIDADE DA CAATINGA	23
3. METODOLOGIA	26
3.1. ÁREA DO ESTUDO	26
3.2. COLETA DE DADOS	27
3.3. ANÁLISE DE DADOS	30
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1. ANÁLISES DESCRITIVAS	31
4.2. CORRELAÇÕES E REGRESSÕES ENTRE EVI MÉDIO COM RIQUEZA DE ESPÉCIES LENHOSAS E PRECIPITAÇÃO MÉDIA	34
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	42
6. REFERÊNCIAS	43

1. INTRODUÇÃO

O Nordeste é considerado o terceiro maior território do Brasil em termos de área, chegando a ocupar um total de 1.554.387,7 km², representando 18,27% de todo o território nacional (ARAÚJO, 2011). Sua extensão territorial abrange nove Estados: Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia. Em relação ao número de habitantes, segundo o censo demográfico realizado pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), em 2010, o número da população nos municípios do Nordeste era de 53.081.950 habitantes, correspondendo a 28% de toda a população brasileira, sendo considerada a segunda região mais populosa do Brasil, enquanto que a região Sudeste é a primeira, possuindo 80.364.410 habitantes.

De toda a extensão da região Nordeste, cerca de 62% (MARENCO *et. al.*, 2011), que segundo ARAÚJO, 2011, representa um total aproximado de 962.857,3 km², estão inseridos dentro de uma área denominada de Polígono das Secas, onde os níveis de aridez, nesta parte do Nordeste, são mais severos. A região do semiárido brasileiro (SAB) está inserida no Nordeste e parcialmente na região Sudeste, e chega a ocupar uma área total de 1.182.697 km² (SUDENE, 2017). Estende-se por 64,68% do território nordestino, e abrange oito Estados do Nordeste: Alagoas, Bahia, Ceará, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe; mais o nordeste de Minas Gerais, na região Sudeste.

A região semiárida possui uma importância extrema, tanto para a estimativa de 27.830.765 pessoas que habitam suas áreas (SUDENE, 2017), como para o ecossistema único que é encontrado em sua extensão, a Caatinga. Apesar de possuir um valor social e ecológico tão ponderoso, este ecossistema por longos anos vinha sendo negligenciado até as últimas décadas. Esta negligência era baseada em conhecimentos e também informações errôneas a respeito da sua biodiversidade, bem como a sua importância (LEAL *et. al.*, 2005).

O SAB apresenta características únicas, que facilmente permitem caracteriza-lo. Tais características incluem elevadas temperaturas, déficit hídrico e elevadas taxas de evapotranspiração potencial. Por essa região apresentar condições climáticas tão árduas, ao longo do tempo evolutivo foi-se necessário que as vegetações dos diferentes ecossistemas presentes nessa região desenvolvessem meios adaptativos para sobreviver. Dentre os ecossistemas que existem no SAB, o ecossistema da Caatinga é predominante nesta região, e apresenta algumas adaptações as condições climáticas, tais como: perda das folhas em espécies caducifólias; modificação das folhas em espinhos e

desenvolvimento de caules suculentos em cactáceas. Apesar das adversidades, que incluem não somente variações climáticas extremas, mas também intensas atividades antrópicas (*e.g.*: queimadas; desmatamento; uso indevido do solo) este ecossistema apresenta uma alta heterogeneidade, e consegue manter-se estável mesmo sendo movido por baixos índices de produtividade e biomassa, variando muito espacial e temporalmente (ERASMI *et. al.*, 2014). A produtividade é um fator essencial para a estabilidade, manutenção e a persistência de um ecossistema e dos serviços ecossistêmicos a eles associados. Levando em consideração que alguns fatores (*e.g.*: precipitação; riqueza de espécies; temperatura, solos) influenciam diretamente essa produtividade, é necessário entender que este ecossistema está cada vez mais em risco de colapsar, principalmente se levarmos em consideração as ameaças futuras de redução dos períodos de chuvas e aumentos de temperatura para todo o Brasil (SANTOS *et. al.*, 2010) em associação com a intensificação dos impactos antrópicos nesta região. Apesar de ser uma situação alarmante, são escassos os estudos que apuram os impactos do clima extremo nos ecossistemas brasileiros, especificamente, a Caatinga (*e.g.*: MARENGO; SOARES, 2003). Por isso, investir em estudos voltados a essa temática irá contribuir para aumentar o conhecimento acerca do assunto, bem como evidenciar ainda mais os sérios problemas que a região e sua população enfrentam.

O avanço tecnológico permitiu a criação de diversas formas para se estimar a produtividade líquida de um ecossistema. O uso de ferramentas do sensoriamento remoto nesse sentido veem crescendo muito, pois permitem que seja possível adquirir e quantificar dados confiáveis em um período relativamente curto. Dentre as várias metodologias para se estimar a produtividade ecossistêmica, existem os Índices de Vegetação – a exemplo, temos EVI (*enhanced vegetation index*) –. Estes índices são variáveis adimensionais, sendo considerados indicadores de biomassa e da área foliar, e a partir deles, é possível estimar a produtividade de uma área de forma efetiva.

Tendo em vista que a Caatinga é crucial pois abriga um grande número de espécies de fauna e flora únicas, assim como apresenta um papel fundamental para as 27 milhões de pessoas que vivem no semiárido e usufruem de seus benefícios para se sustentarem, faz-se necessário preservar este ecossistema de forma geral. Os constantes impactos antrópicos associados as condições climáticas impactam diretamente a produtividade ecossistêmica da Caatinga. Sendo esta produtividade essencial para manter a estabilidade e o sucesso ecológico deste ecossistema, uma vez que os sistemas complexos apresentam uma maior produtividade, o que leva a mais serviços ecossistêmicos, conferindo uma

maior sustentabilidade e resiliência a qualquer ecossistema face a algum distúrbio, principalmente mudanças climáticas (SEDDON *et. al.*, 2016). Quando levamos em consideração que a Caatinga apresenta uma baixa produtividade, nos futuros cenários é esperado que a intensificação e a combinação de todos esses problemas gerem uma diminuição na biodiversidade e no processo natural de resiliência, levando a inviabilidade e na conseqüente perda do ecossistema.

Como são limitados os trabalhos que debatem acerca da temática da produtividade ecossistêmica da Caatinga em escalas macroecológicas, qualquer novo trabalho que proponha fazer isto utilizando outras variáveis que não as mais comuns, presumivelmente integra novos dados e novas perspectivas, auxiliando na generalização do conhecimento, e permitindo assim buscar por novas maneiras de impedir algum agravamento na problemática em questão.

Dessa maneira, o objetivo deste trabalho foi de relacionar o EVI de algumas áreas da Caatinga presente em algumas localidades dentro do SAB, e relacioná-los as suas respectivas riquezas de espécies vegetais lenhosas, e adicionalmente, estimar a força desta correlação.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. A DELIMITAÇÃO DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

A delimitação da região semiárida sofreu muitas modificações no passado, levando em consideração critérios que ao longo dos anos foram sendo aprimorados. Com isso, novas áreas tanto foram acrescentadas, como retiradas dos seus limites.

Inicialmente, a primeira delimitação do semiárido ficou conferida a SUDENE (Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste), pela Lei número 7.827, de 27 de setembro de 1989 e aprovada no mesmo ano pelo Congresso Nacional. No qual definia semiárido como: “*qualquer região inserida na área de atuação da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste, com precipitação pluviométrica média anual igual ou inferior a 800 mm*”. Uma atualização do número de municípios foi realizada pela própria SUDENE em 1995, levando como único critério para pertencer ao semiárido, o índice pluviométrico médio anual. Ao longo dos anos, foi-se percebendo que apenas essa média pluviométrica não podia ser o único critério para delimitar o semiárido. A principal problemática nessa questão, era a existência de áreas com municípios que pertenciam ao semiárido, mas não seguiam o critério pluviométrico, mostrando a insuficiência de um único critério exclusivo para declarar o que era semiárido ou não.

Em virtude disso, no dia 10 de março de 2005, houve uma atualização da área do semiárido graças ao relatório final publicado pelo Grupo de Trabalho Interministerial (GTI) em conjunto com o Ministério de Integração Nacional (MI), delimitando a nova área do semiárido e do antigo polígono das secas. Essa nova delimitação teve como base três critérios: 1) precipitação pluviométrica média anual inferior a 800 milímetros; 2) índice de aridez de Thorntwaite de até 0,5; 3) risco de seca maior que 60%. Com base nesses novos critérios, houve um aumento tanto na área territorial do semiárido, de 892.309,4 km² para 969.589,4 km², um acréscimo de 8,66%; quanto no número de municípios, que passou de 1.031 para 1.133 (BRASIL, 2005). De acordo com o relatório publicado pelo INSA (2012), houve uma nova atualização na área territorial e no número de municípios presentes no semiárido, que são 980.133,079 km² e 1.135, respectivamente. Em 2017, foi publicado pela SUDENE, um relatório que apontava uma nova delimitação do semiárido e do número de seus municípios, que são 1.182.697 km² e 1.262, respectivamente (SUDENE, 2017).

2.1.1 OS EXTREMOS CLIMÁTICOS DO NORDESTE BRASILEIRO

Dos vários eventos climáticos que existem, um dos mais comuns na região Nordeste é a seca, sendo o seu conceito dependente da abordagem a qual está sendo referida. Podendo ser tratada em diversos cenários, como por exemplo: agricultura, precipitação, socioeconomia e hidrologia, alguns autores a categorizam em quatro tipos: agrícola, meteorológica, socioeconômica e hidrológica (GIBBS *et. al.*, 1975; WILHITE & GLANTZ, 1985; SANDFORD, 1979, PALMER, 1965; MCKEE *et. al.*, 1993; KEYANTASH & DRACUP, 2002; FERNANDES *et. al.*, 2009 WILHITE, 2011). Todavia, seca é seca. Segundo WILHITE (2011), mesmo existindo vários tipos, todas apresentam a mesma origem, que é a deficiência de precipitação. E por sua vez, este problema acabará resultando em problemas socioeconômicos, que porventura desencadeia outros problemas, assim como a sobrevivência de todos os seres vivos.

Este evento natural e periódico não é considerado um problema atual. Existem indícios que apontam a ocorrência de secas desde séculos anteriores, datados do período da colonização do Brasil pelos portugueses (SOBRINHO, 1953; ALVES, 1953). O primeiro indivíduo a mencionar a seca, e posteriormente os problemas aos quais ela está relacionada durante a época de colonização foi o Jesuíta Fernão Cardin, o qual mencionou em um de seus manuscritos: “*O anno de 1583 houve tão grande secca e esterilidade nesta província...*”, referindo-se ele ao Estado de Pernambuco naquela época.

Segundo MOLINAS; MELO-LIMA (1999), as secas usualmente atingem uma grande área tanto espacialmente quanto temporalmente. Por conta dessas características específicas, MARENGO *et. al.* (2017) acreditam que de todos os demais perigos naturais que a população nordestina enfrenta, as secas são as que mais a afeta. O Nordeste trás o peso das secas e suas consequências desde antes o início da sua história, sendo um sinônimo de misérias e dificuldades, tornou-se um estigma inevitável e fatídico que caracteriza tal região. Dentre as secas que já acometeram esse território, destacam-se aqui as de: 1777-1779, a qual segundo CAMPOS; STUDART (2001), talvez tenha sido o maior desastre que atingiu uma região brasileira -até aquela época-; 1877-1879, a qual dizimou uma estimativa que varia entre 20.000 a 50.000 pessoas (VILLA, 2000; ACEITUNO *et. al.*, 2009), - e foi a partir desse ponto, que o Brasil começou a investir em meios para mitigar os efeitos da seca - GUTIÉRREZ *et. al.* (2014); 1888, a qual teve um grande impacto nas lavouras, prejudicando significativamente a vida dos agricultores locais; 1958, a qual aproximadamente 10 milhões de pessoas fugiram do Nordeste

(NAMIAS, 1972); 1997-1998, a qual foi caracterizada como uma seca extrema para todo o Nordeste, e segundo SOUZA *et. al.* (1999), houve a redução da precipitação em torno de 70% para todos os Estados da região. Um histórico das demais secas para região do Nordeste foram compiladas por MARENGO *et. al.* (2016) e MARENGO *et. al.* (2017), que afirmam que esse fenômeno ocorre desde o século XVI.

A seca mais “recente” que teve um impacto atroz, foi a que ocorreu no ano de 2012-2015, na qual segundo MARENGO *et. al.* (2016) e MARENGO *et. al.* (2017), dizem que em várias décadas anteriores, não houve uma seca de tamanha intensidade e impactos na agricultura bem como para agricultores, resultando em prejuízos para diversas cidades e vilas e afetando cerca de nove milhões de pessoas. MARTINS; MAGALHÃES (2016), alertam que com o passar dos tempos, foi observada tanto a intensificação das secas, junto com o aumento da sua duração e diminuição do intervalo as quais elas ocorrem, e tudo indica que esses efeitos podem ser mais agravados futuramente. Acrescentam também que desde 1911, houveram duas secas com duração de dois anos (1930-32; 1941-43); duas com duração de quatro anos (1951-54 e 2012-15) e uma com duração de cinco anos (1979-83) (MARTINS; MAGALHÃES, 2016), dando credibilidade para a hipótese de que as secas por serem fenômenos periódicos, podem sofrer mudanças nos períodos de ocorrência, e por serem fenômenos naturais, podem sofrer influência de outros fatores, tanto naturais, como antrópicos.

Assim como as inundações, tempestades, queimadas dentre outros eventos, a seca é considerada um evento climático extremo. Segundo MARENGO (2006); MARENGO *et. al.* (2011), essa região sempre foi afetada por grandes secas, ou grandes cheias, que ocorriam desde o período de colonização pelos portugueses, e, estatisticamente, acontecem de 18 a 20 anos de seca a cada 100 anos. A frequência que estes eventos ocorrem pode ser atribuída na sua quase totalidade aos fenômenos de El-niño e La niña, que devido ao aquecimento e resfriamento anormal da temperatura superficial do Oceano Pacífico, respectivamente, bem como alteração nos ventos alísios, são responsáveis pela ocorrência de anomalias no sistema oceano-atmosfera, resultando em alterações no tempo e no clima de todo o planeta (DE MELO, 1999; ARAGÃO, 2000).

2.1.2 O CLIMA EXTREMO DA REGIÃO NORDESTE

Para o Nordeste, a razão da ocorrência das secas não é atribuída apenas as causas físicas provocadas pelo El-niño. Em um estudo realizado por KANE (1997), ele obteve o resultado de que dos 46 eventos de El-niño que ocorreram no Brasil, apenas 21 correlacionavam-se com secas na região nordestina. Acredita-se que a frequência das ocorrências das secas para a região do Nordeste, é dada em virtude ao conjunto de fatores característicos da própria região. Por apresentar um clima semiárido, o Nordeste e consequentemente a região semiárida, apresentam características climáticas bastante peculiares. A precipitação é caracterizada por apresentar uma elevada variação interanual, no espaço e no tempo (NIMER, 1972), contando com anos mais chuvosos e anos excepcionalmente mais secos. Mas no geral, a precipitação média acumulada da região é inferior a 600 mm/ano, chegando a apresentar três regimes de chuvas distintos em toda a região nordestina (MARENGO *et. al.*, 2011).

Devido a este regime pluviométrico tão característico, é possível distinguir claramente duas estações bem distintas: a estação de chuvas, que ocorre num curto período, de 3 meses em média; e a estação de seca, que duram de 7 a 9 meses (ANGELOTTI *et. al.*, 2009). Essa variabilidade sazonal da precipitação afeta todo o Nordeste, mas em especial, a região do semiárido, onde essa condição é sempre vista com muito pesar para a população, principalmente a população rural, pois muitas vezes impõe o sucesso ou não nas atividades agrícolas, pecuárias e na consequente sobrevivência desses indivíduos (MARENGO *et. al.*, 2011).

Esse clima é caracterizado não somente pelos baixos índices pluviométricos, mas também pelas altas temperaturas anuais. A insuficiência e irregularidade pluviométrica, associada as elevadas temperaturas médias, que segundo ZANELLA (2014), variam, em média, na maior parte do Nordeste entre 26 e 28° Celsius, tem como consequência elevadas taxas de evapotranspiração potencial, reduzindo a umidade do solo e causando um elevado déficit hídrico, que chega em até 70% ao ano (MARENGO *et. al.*, 2011). Todos esses fatores associados, são responsáveis por caracterizar a história da seca que o Nordeste apresenta.

É bastante clara a situação de vulnerabilidade que o Nordeste sofre devido as variações climáticas. É nítido também que esta problemática continua apenas se agravando ao longo dos séculos, uma vez que no passado a região nordestina apresentava climas mais úmidos (RODRIGUES *et. al.*, 1992), mas atualmente, é possível observar

um aumento nos níveis de aridez; nas temperaturas médias e uma diminuição das chuvas na região. Segundo os recentes relatórios publicados pelo IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), especificamente o IPCC-AR4 (2007), o Brasil é um país bastante susceptível tanto para as mudanças climáticas atuais, como para as que já se projetam nos futuros cenários, onde a região Nordeste (MARENGO; VALVERDE, 2007; LÁZARO, 2011), assim como a Amazônia (LÁZARO, 2011), são as regiões mais vulneráveis. Segundo ANGELOTTI *et. al.* (2010), a região nordestina será uma das regiões mais afetadas pelas mudanças climáticas globais, principalmente devido a ação antrópica e aos seus respectivos impactos causados pelo aumento da temperatura, em consequência a excessiva produção e liberação de gases do efeito estufa (GEE's) na atmosfera, associado com as anomalias da precipitação.

Tomando como base os cenários climáticos futuros apresentados pelos relatórios do IPCC para o Brasil, pesquisadores de instituições nacionais, a exemplo do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), vêm utilizando alguns modelos climáticos regionais para simular os cenários futuros baseados nas emissões de GEE's e suas interações com o aumento da população e o desenvolvimento socioeconômico. Unanimemente, os estudos apontam que nos futuros cenários para região Nordeste, é esperado um aumento do período de estiagem, assim como também um aumento na temperatura (MARENGO & SOARES, 2003; ANGELOTTI *et. al.*, 2010; SANTOS *et. al.*, 2010; MARENGO *et. al.*, 2011; HAMADA & THOMAZ, 2012; GUIMARÃES *et. al.*, 2016).

MARENGO *et. al.* (2017) apontam que a elevação da temperatura no SAB, no pior dos cenários e sem medidas de mitigação efetivas, poderá atingir até 4°C até a década de 2060, aumentando a deficiência hídrica e tornando o semiárido uma região árida. Em adição, o autor aponta que é de se esperar também uma redução no curto período de chuvas, devido à estiagem e as secas mais intensas. MARENGO (2006) constata que essa redução das chuvas pode variar entre 15% a 20%, tendo efeitos mais negativos para todos os seres vivos que dependem das chuvas para sobreviver. Validando assim, a ideia de que o semiárido brasileiro pode ser uma das regiões mais afetadas pelas mudanças climáticas futuras.

Essa possível tendência de estiagens para a região, associadas ao aumento da aridez, principalmente na região semiárida até final do século XXI, poderá influenciar diretamente as características e a distribuição da vegetação (SALAZAR *et. al.*, 2007), uma vez que essas variáveis climáticas são capazes de modificar determinadas

características que determinam a diversidade e produtividade de um determinado ecossistema. Sendo assim, os impactos devido ao aumento de temperatura poderão afetar significativamente tanto a produção das culturas, como os recursos hídricos, além do manejo de irrigação, a biodiversidade e o processo de desertificação (ANGELOTTI *et al.*, 2015).

2.1.2.1 O ECOSISTEMA DA CAATINGA

A Caatinga é considerada um ecossistema endêmico da América do Sul, além de ser predominante na região semiárida. Sendo um ecossistema exclusivamente brasileiro, ocupa uma área de 844.453 km², compreendendo cerca de 11% do território nacional e 70% da Região Nordeste (BRASIL, 2020). Ela apresenta uma elevada taxa de endemismo, assim como também uma alta biodiversidade, tanto de fauna, das quais temos: 178 espécies de mamíferos; 591 de aves; 177 de répteis; 79 espécies de anfíbios; 241 de peixes e 221 abelhas (BRASIL, 2020), como de flora, das quais já foram descritas 932 espécies de plantas, das quais 380 são consideradas endêmicas (LEAL *et. al.*, 2003).

Apesar da Caatinga ser um ecossistema endêmico, abrigando uma grande riqueza de fauna e flora únicas, este é um dos ecossistemas menos estudados do Brasil (SILVA & DINNOUTI, 1999; GIULIETTI *et. al.*, 2004; DA SILVA & CRUZ, 2018). Estudos antigos apontavam que a caatinga apresentava poucas espécies, com uma consequente baixa biodiversidade (*e.g.*: ANDRADE-LIMA, 1981; CONNELL & LOWMAN, 1989), sendo que na verdade esse cenário foi tratado como incorreto, e que sua diversidade biológica vinha sendo subestimada (SILVA *et. al.*, 2004; LEAL *et. al.*, 2005). De acordo com LEAL *et. al.* (2005), a biodiversidade da caatinga é relativamente elevada, graças ao seu elevado nível de endemismo, e mesmo assim estes números não condizem com a realidade, pois segundo TABARELLI *et. al.* (2000), 41% da caatinga ainda não foi amostrada, deixando várias espécies de plantas e animais de fora da contagem. Esse espaço amostral do qual não se tem conhecimento, associado a poucos estudos que abordam uma análise quantitativa das espécies vegetais da caatinga (*e.g.* DE ALBUQUERQUE *et. al.*, 1982, RODAL *et. al.*, 2008; LEITE *et. al.*, 2015) levam a contínuas incertezas sobre sua qualidade percebida e sua diversidade de espécies.

Cobrindo a maior parte do semiárido, a caatinga é composta por uma vegetação heterogênea formada por diversas paisagens. Essa heterogeneidade é proporcionada pela interação de fatores ecológicos (*e.g.*: solos cristalinos e sedimentares) associados ao clima e relevo (ANDRADE-LIMA, 1981; ALVES, 2009). Dada essa fisionomia da caatinga, surge uma problemática complexa na classificação e no mapeamento da sua vegetação, onde para se obter sucesso, seria necessário a criação de modelos que distingam as várias tipologias em suas mínimas variações que acabam diferenciando umas das outras (DA SILVA & CRUZ, 2018). Alguns modelos de classificação para as tipologias da Caatinga

se encontram em trabalhos como: EITEN (1974); ANDRADE-LIMA (1981); EITEN (1983).

As diversas classificações que existem na literatura a respeito da caatinga diferem quanto ao seu critério. Alguns autores utilizam critérios biológicos e outros, critérios geossistêmicos (DA SILVA & CRUZ, 2018). LUETZELBURG (1923), classifica a caatinga como arbustiva e arbórea, com 12 sub-divisões; VELOSO *et. al.* (1991), classifica a caatinga como savana estépica, sub-dividida em três tipos (*e.g.* savana estépica florestada, savana estépica arborizada e savana estépica parque); VASCONCELOS SOBRINHO (1941), classifica como sertão e agreste; FERRI (1980), classifica como agreste, carrasco, sertão, cariri e Seridó. Outras classificações são abordadas em trabalhos como os de DA SILVA; CRUZ (2018), que falam sobre as diferentes tipologias que a caatinga apresenta e a necessidade de mapear sua área; e ALVES (2009), que apresentam uma visão ecogeográfica da caatinga submetida à atividade humana, em especial a pecuária e seus impactos na vegetação.

Mas de forma geral, a sua vegetação é caracterizada como florestas arbustivas ou arbóreas, compreendendo principalmente árvores e arbustos baixos muitos dos quais apresentam características xerofíticas (PRADO, 2003; LEAL *et. al.*, 2003; ALVES, 2009). Formada por diferentes tipos de paisagens, a Caatinga apresenta oito ecorregiões (VELLOSO, 2002). Cada uma delas, apresentam peculiaridades exclusivas que as caracterizam de forma única. Como por exemplo, áreas que apresentam índices pluviométricos, chegando a cerca de 1.300 mm/ano, enquanto outras, apresentam índices pluviométricos abaixo de 600 mm/ano (SALVATIERRA *et. al.*, 2016). A vasta biodiversidade com elevadas taxas de endemismo que a caatinga apresenta, refuta todas as hipóteses que antigamente existiam sobre a Caatinga ser um ecossistema homogêneo e pobre em biodiversidade resultante da degradação de formações vegetais como a Mata Atlântica ou a Floresta Amazônica.

A conservação do ecossistema foi negligenciada por muitos anos e apontada como não prioritária. Previamente considerada com uma baixa diversidade de espécies e pouco valor científico, a Caatinga era negligenciada tanto do ponto de vista de pesquisas científicas (CASTELLETTI *et. al.*, 2003), como do ponto de vista conservacionista, com muitas poucas estratégias de conservação e manejo. Segundo LEAL *et. al.* (2003), menos de 2% do seu território é protegido por unidades de conservação. LEAL *et. al.* (2007), aumentam essa porcentagem e afirmam que 5,3% da Caatinga é protegida, mostrando ainda valores muito baixos quando se pensa na importância que ela apresenta. Este

ecossistema é considerado um dos mais ameaçados do Brasil, com grande parte de sua área já tendo sido bastante modificada pelas condições extremas de clima, intensificadas pelas mudanças climáticas e pelas mudanças no uso e cobertura do solo observadas nos últimos anos.

É evidente que as mudanças climáticas levam a graves impactos em todos os ecossistemas em escalas tanto regionais como globais. Especialmente a caatinga, que está potencialmente vulnerável às tais mudanças devido a massiva ação antrópica que a afeta, das quais podemos citar: áreas com alterações por meio de exploração intensiva de recursos naturais (CASTRO; CAVALCANTE, 2011); sobre-exploração da flora e fauna (SÁ *et. al.*, 2010); atividades agrícolas irrigadas que acabam inviabilizando os solos (CASTELLETTI *et. al.*, 2003); degradação do ecossistema proveniente da agropecuária (CAMPOS *et. al.*, 2015) e desmatamentos acentuados e consequentes processos de desertificação (MYERS *et. al.*, 2000; ANGELOTTI *et. al.*, 2009). ALVES (2009) apontam que a principal perda do solo proveniente da ação humana se dá através da pecuária. Dessa forma, podemos afirmar que de modo geral, quase toda a cobertura vegetal original do ecossistema está sobre algum processo de degradação, seja ele leve, moderado ou intenso.

De acordo com o ICMBio (2022) (Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade), aproximadamente 42,3% da cobertura vegetal da caatinga original já sofreu algum tipo de modificação e 52% do ecossistema sofre com problemas de degradação. O mapeamento do desmatamento da caatinga que foi realizado pelo MMA-IBAMA (2011) informa que este ecossistema sofreu uma perda de 46% de vegetação natural até o ano de 2009, principalmente para agropecuária e outros usos da terra. Segundo informações divulgadas pelo MapBiomas (2020), a área total desmatada no ecossistema da caatinga foi de 61.373 ha (614 km²), tendo um aumento de 4.4% em relação ao ano anterior, mostrando que esse desenfreado processo destrutivo não está diminuindo, mas sim aumentando. E mesmo tendo uma área tão grande desmatada, a caatinga ocupa o terceiro lugar de ecossistema mais desmatado do Brasil, atrás da Amazônia e do Cerrado.

As necessidades de sobrevivência dos mais de 22 milhões de habitantes do semiárido, somados as características climáticas da vegetação e do solo, agravam ainda mais os impactos que este ecossistema enfrenta (ANGELOTTI *et. al.*, 2009). Os desmatamentos e as queimadas de grandes áreas para diversos propósitos como: extração

da madeira e a extração de argila e areia nos leitos fluviais; pastoreio do gado e agricultura intensiva e de subsistência levam a consequências devastadoras em diversas áreas.

Os impactos negativos decorrentes do aumento das temperaturas médias da região em adição a anomalia da precipitação e aumento nos níveis de aridez, são capazes de ser tolerados pela vegetação da caatinga, visto que a mesma possui resiliência após períodos de seca (GOMES *et. al.*, 2017). Todavia, as pressões exercidas pelo homem, a partir da emissão de GEE's e uso incorreto das terras, dificultam o processo de recuperação do ecossistema. Como resposta, é possível observar as conseqüentes baixas na produção agrícola e pecuária; maiores demandas de recursos hídricos e aceleração do processo de desertificação. Toda essa perda vegetal, implica na diminuição da biodiversidade do ecossistema, o que reflete diretamente na diminuição da produtividade que ele apresenta.

2.1.2.1.1 RIQUEZA DE ESPÉCIES COMO INDICADOR DA PRODUTIVIDADE DA CAATINGA

Por muitos anos, a relação entre a produtividade e diversidade de espécies vêm sendo estudada pelos ecologistas. Esta relação, é considerada muito importante, pois a partir dela é possível obter o conhecimento do funcionamento de um ecossistema. Entretanto, apesar de apresentar uma importância significativa, essa relação ainda apresenta desafios teóricos e diversas controvérsias no que dizem respeito a forma geral de como ela ocorre, bem como os mecanismos que produzem os seus padrões (MITTELBACH *et. al.*, 2001).

A falta de um padrão uniforme nessa relação gera várias dúvidas. Para tentar resumir os padrões gerais da relação diversidade-productividade, os ecologistas ao longo dos anos, conseguiram classificar cinco formas: linear positiva; linear negativa; forma de “corcunda” (unimodal); forma de “U” (unimodal) e sem relação - quando o padrão não é significativo- (WHITTAKER, 2010). Porém a causa da variação do padrão dessa relação ainda se mantém desconhecida. O que se pode afirmar é que diversos autores apontam que a diversidade influencia a produtividade (*e.g.*: LEIGH JR, 1965; WAIDE *et. al.*, 1999; MITTELBACH *et. al.*, 2001). É possível representar a diversidade a partir de algumas formas, dentre elas, a riqueza de espécies (BAILEY *et. al.*, 2004), que é considerada a melhor maneira de representação, e também um indicador simples e de fácil interpretação (CHAO, 2005). Na literatura fica claro que o padrão mais comum observado na relação entre riqueza de espécies e produtividade em pequenas escalas é o unimodal em forma de corcunda (WAIDE *et. al.*, 1999). Especificamente para plantas vasculares, GROSS *et. al.* (2000), afirmam que de um levantamento bibliográfico de 171 estudos publicados, a relação unimodal em forma de corcunda foi a mais observada em 41%-45%, dos estudos analisados. Os mesmos autores adicionam também que a escala a qual se trabalha influencia o resultado do padrão dessa relação. Diversos autores também afirmam que a escala afeta tanto o padrão, bem como a relação entre diversidade e produtividade (*e.g.*: WAIDE *et. al.*, 1999; MITTELBACH *et. al.*, 2001; WILLIS; WHITTAKER, 2002; MA, XUANLONG *et. al.*, 2013).

A riqueza de espécies tem um papel fundamental para a produtividade do ecossistema, e compreender essa relação é fundamental para a preservação da biodiversidade. De acordo com TILMAN *et. al.* (2001), uma maior diversidade de plantas pode levar a uma maior produtividade do ecossistema. Essa informação condiz com o

estudo realizado por ISBELL *et. al.* (2015), que fala sobre os efeitos da biodiversidade em resposta a extremos climáticos em diversos ecossistemas, no qual eles concluem que a biodiversidade estabiliza a produtividade do ecossistema durante eventos climáticos moderados e extremos. Em adição, reportam que a provável restauração da biodiversidade possivelmente aumenta a resistência de um ecossistema contra extremos climáticos.

Os estudos sobre a diversidade biológica e produtividade ecossistêmica terrestres apontam como principais determinantes para essas variáveis, o solo e o clima. Especificamente trabalhos com essa mesma temática com abordagens macroecológicas utilizando outros fatores determinantes que não sejam o solo ou clima (*e.g.* riqueza de espécies) voltadas para o semiárido como este, são extremamente limitados, sendo encontrado na literatura apenas o de MEDEIROS *et. al.* (2019). Consistindo este, no segundo trabalho abordando um correlato da produtividade primária (EVI) de localidades da Caatinga e correlacionando as mesmas com as suas riquezas de espécies lenhosas. Apontando que a riqueza de espécies pode apresentar uma relação e ser capaz de impulsionar a produtividade da Caatinga.

A maioria dos trabalhos, utilizam a diversidade local (alfa) como sendo um dos melhores indicadores para se medir a produtividade ecossistêmica. O avanço da tecnologia e da ciência oferecem ferramentas para diferentes tipos de pesquisas com a finalidade de detectar mudanças no uso da terra. O desenvolvimento de metodologias de sensoriamento remoto permitiu que novos meios de se avaliar o estado de um ecossistema fossem possíveis. Dentre as diferentes metodologias de se estimar a relação entre área foliar e produtividade vegetal terrestre, existem os índices de vegetação.

Esses índices de vegetação constituem abordagens indiretas para estimar a produtividade líquida de um ecossistema, uma vez que eles são responsáveis por estimar a quantidade de biomassa de uma área foliar, e a partir disso, é possível estimar a produtividade de uma área de forma efetiva. Diversos autores utilizam esta metodologia para poder avaliar possíveis mudanças no uso da terra, bem como a variação da dinâmica vegetacional de uma área ou ecossistema (*e.g.* OLIVEIRA *et. al.*, 2009; FERREIRA *et. al.*, 2012; FRANCISCO *et. al.*, 2015). A utilização de dados de sensoriamento remoto permite que os pesquisadores analisem grandes áreas com uma resolução temporal e espacial moderadamente grande a um custo relativamente baixo e comparativamente consumindo pouco tempo (SALIMON; ANDERSON, 2018). Conferindo uma grande vantagem em relação a infraestrutura exigida para medir as produtividades bruta e líquida

ecossistêmica, que geralmente são medidas diretamente com uma variedade de equipamentos e técnicas, usando principalmente torres de covariância de vórtices turbulentos e analisadores de gás infravermelho (RAN *et. al.*, 2016).

Existem diversos índices de vegetação. Os principais e os mais conhecidos, são o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), proposto por ROUSE *et. al.* (1974) e o SAVI (*Soil Adjusted Vegetation Index*), proposto por HUETE (1988). Existe também um outro índice de vegetação conhecido como EVI (*enhanced vegetation index*) proposto por HUETE *et. al.* (1997). Com o EVI é possível se trabalhar com dados do sensor MODIS, a bordo dos satélites Terra e Aqua, lançados pela NASA (Agência Nacional Aeroespacial Norte-Americana). Este índice é preferível a outros índices de vegetação por ser mais sensível a vegetação verde, diminuindo o ruído introduzido pela reflectância tanto do solo quanto da atmosfera (JUSTICE *et. al.*, 1998). Desta forma, a utilização do EVI resulta em uma melhor sensibilidade em áreas com elevada biomassa, possibilitando dessa forma um melhor monitoramento da vegetação (JENSEN; EPIPHANIO, 2009). Face a todas essas características, o EVI foi o índice selecionado para ser o correlato de produtividade primária que foi utilizado neste trabalho. Além do mais, todos esses índices também parecem responder claramente às secas severas (WAGLE *et. al.* 2014).

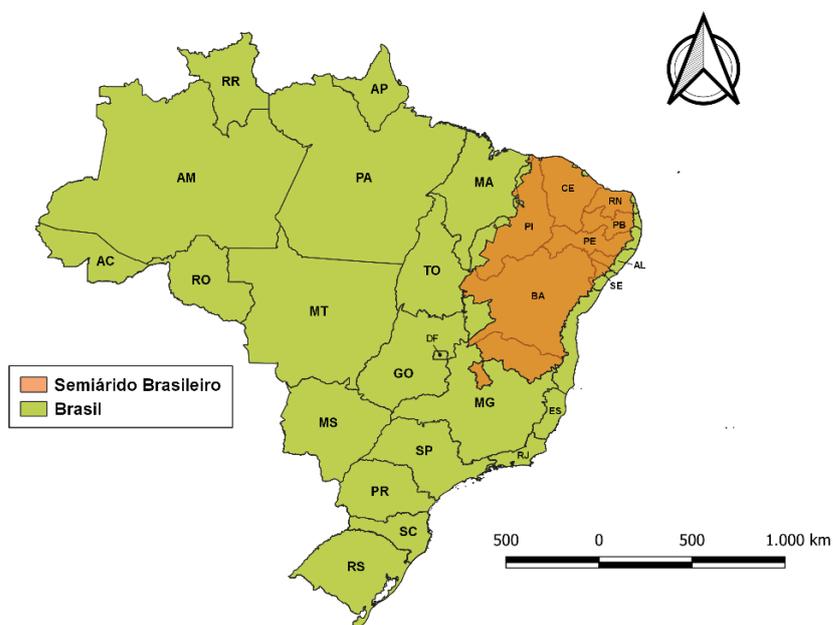
Nesse sentido, o uso do sensoriamento remoto como ferramenta voltada à análise da cobertura vegetal, constitui uma forma de eficiente análise voltada ao reconhecimento do nível de degradação da paisagem, subsidiando a proposição de alternativas de desenvolvimento sustentável. Além disso, a crescente disponibilização de imagens de satélites em plataformas *online*, a exemplo das imagens do MODIS-TERRA, tem se tornado uma política cada vez mais comum, tornando a execução desses estudos cada vez mais viável.

3. METODOLOGIA

3.1. ÁREA DO ESTUDO

O Nordeste é considerado a terceira maior região do Brasil. Ocupando a costa mais oriental do país, esta região é banhada pelo Oceano Atlântico e é formada por nove Estados. Dentro da região nordestina, se encontra a região do semiárido brasileiro, ocupando 64,68% de todo o Nordeste, e se espalhando por oito Estados nordestinos e uma parte de um Estado do Sudeste, totalizando uma abrangência de nove Estados (Figura 1). Os limites do semiárido são: longitude entre 47 e 35 graus Oeste e latitude entre 3 e 18 graus Sul.

Figura 1 - Mapa do Brasil, com destaque para a região do semiárido brasileiro.



Fonte: R. L. Ramalho, 2022.

A vasta extensão territorial do semiárido possibilita a ocorrência de diversos ecossistemas dentro das suas áreas. Um dos seus principais ecossistemas é a Caatinga, considerada um mosaico de arbustos de baixo porte e florestas sazonalmente secas que cobrem a maior parte dos Estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Piauí, Alagoas, Sergipe, Bahia e a parte nordeste de Minas Gerais, e que de acordo com LEAL *et al.* (2007), em um trabalho de revisão bibliográfica sobre o estado de conservação da caatinga, indica que há divergências entre os autores em delimitar a sua área total, e que

no geral varia de 735.000 km² a 1.037.518 km². Adicionalmente, falam que de todos os ecossistemas brasileiros, a Caatinga é o que apresenta as menores porcentagens de áreas conservadas.

A caatinga é caracterizada como uma formação vegetal tropical sazonalmente seca (SDTFs), com o seu domínio fitogeográfico sendo considerado a maior ecorregião tropical semiárida da América do Sul (MORO *et. al.*, 2016). Este vasto domínio fitogeográfico da caatinga por compreender diferentes terrenos geológicos, bem como tipos de ambientes e gradientes de precipitação variados, apresenta uma variedade de comunidades de plantas associadas a estas condições, conferindo uma heterogeneidade elevada (MORO *et. al.*, 2016). Estudos sobre a meta-análise fitogeográfica do domínio da caatinga relatam comparações das diversas comunidades vegetais do ecossistema, e chegam a apresentar mais de 1.700 espécies (MORO *et. al.*, 2014; MORO *et. al.*, 2016).

3.2. COLETA DE DADOS

Foi realizada uma seleção de artigos já publicados e disponíveis em revistas indexadas na base Scielo ou ISI Webofknowledge, com o intuito de selecionar coordenadas geográficas dentro do SAB que possuíam algum tipo de vegetação da caatinga. Foram selecionados apenas artigos que explicitaram algum tipo de critério de inclusão para espécies lenhosas arbustivas ou arbóreas. Desse modo, foram amostrados todos os pontos para que os dados fossem coletados. Neste trabalho, foi feita a amostragem com um n de 49 locais inseridos em algum Estado que fazia parte do SAB (Tabela 1).

Em seguida, foram obtidos todos os dados referentes ao EVI e a precipitação destes 49 locais. Estes dados foram coletados gratuitamente de uma plataforma *online* a partir do sítio de Séries temporais do sensor MODIS disponibilizada pelo INPE (<http://www.dsr.inpe.br/laf/series/>).

Em cada ponto, foram coletados os dados referentes ao: EVI; riqueza de espécies lenhosas e precipitação. Estes dados são referentes a área que cobre o pixel para cada ponto, e eles variam desde os anos de 2000 até 2017, contabilizando 17 anos com dados mensais de cada uma das variáveis citadas anteriormente, com exceção da riqueza de espécies, que apresentaram apenas um conjunto de dados, apresentados nos resultados dos respectivos artigos selecionados.

Em relação as análises dos dados de precipitação tanto anuais como mensais dos 49 pontos de amostragem, foi necessário realizar um ajuste. Em virtude da inexistência de dados do INPE para os primeiros três meses do ano de 2000, assim como a inexistência de dados dos últimos seis meses do ano de 2017, foi optado aqui neste trabalho não incluir estes respectivos anos nas análises da média anual e mensal. Uma vez que este grande *gap* amostral poderia influenciar diretamente no resultado se fossem contabilizados. Sendo assim, a exclusão destes dois anos não acaba influenciando tanto quanto sua inclusão, visto que se foi trabalhada com uma série histórica de 17 anos com dados mensais e anuais desta variável.

Após a coleta, todos os dados foram organizados e posteriormente plotados em planilhas eletrônicas para análise.

TABELA 1 – Todos os pontos de amostragens dos dados ($n = 49$), ao nível de municípios e Estados com suas respectivas riquezas de espécies lenhosas. 29

AMOSTRA	LAT	LONG	MUNICÍPIO	ESTADO	RIQUEZA
EVI1	-9,048	-40,245	Petrolina	PE	48
EVI2	-7,42	-36,027	Caturité	PB	43
EVI6	-12,823	-39,828	Itatim	BA	51
EVI7	-12,932	-39,899	Milagres	BA	55
EVI11	-6,3296	-39,377	Iguatu	CE	52
EVI12	-6,7028	-37,754	Pombal	PB	23
EVI13	-6,8102	-36,961	Santa Luzia	PB	22
EVI14	-6,8811	-35,795	Areia	PB	54
EVI15	-7	-37,383	Santa Teresinha	PB	16
EVI16	-7,42	-36,027	Caturité	PB	17
EVI17	-8,2383	-35,922	Caruaru	PE	55
EVI19	-7,1472	-37,296	São José do Bonfim	PB	28
EVI20	-8,7336	-42,489	Coronel José Dias	PI	56
EVI21	-8,3119	-38,196	Floresta	PE	28
EVI22	-8,1792	-36,169	Brejo da Madre de Deus	PE	14
EVI23	-8,5322	-36,55	São Bento do Una	PE	34
EVI25	-6,1683	-38,279	Encanto	RN	17
EVI27	-10,743	-38,098	Poço Verde	SE	63
EVI28	-7,8372	-37,192	Monteiro	PB	37
EVI29	-6,66	-40,216	Aiuaba	CE	47
EVI30	-7,52	-36	Barra de Santana	PB	29
EVI31	-6,5833	-37,333	Serra Negra do Norte	RN	15
EVI32	-9,5424	-40,457	Juazeiro	BA	39
EVI33	-5,1167	-40,873	Cratêus	CE	25
EVI34	-7,8948	-37,143	Monteiro	PB	35
EVI35	-7,1861	-37,426	Mãe D'Água	PB	46
EVI36	-9,066	-40,335	Petrolina	PE	27
EVI37	-8,1857	-36,396	Brejo da Madre de Deus	PE	62
EVI38	-7,4069	-39,35	Barbalha	CE	43
EVI52	-8,15	-36,321	Brejo da Madre de Deus	PE	32
EVI53	-7,1167	-40,967	Vila Nova do Piauí	PI	57
EVI54	-6,8894	-35,799	Remígio	PB	53
EVI56	-8,5908	-38,534	Floresta	PE	11
EVI58	-14,424	-44,172	Manga	MG	47
EVI59	-8,5	-38	Floresta	PE	23
EVI60	-6,4597	-36,641	Acari	RN	17
EVI61	-8,6167	-38,283	Floresta	PE	26
EVI63	-7,0528	-36,052	Pocinhos	PB	37
EVI64	-6,7028	-37,754	Pombal	PB	23
EVI67	-8,0597	-38,719	Mirandiba	PE	18
EVI68	-6,5833	-37,333	Serra Negra do Norte	RN	15
EVI69	-7,95	-38,283	Terra Talhada	PE	22
EVI70	-7,4708	-36,898	São José dos Cordeiros	PB	20
EVI71	-3,9094	-40,99	Ibiapina	CE	74
EVI74	-5,1458	-40,929	Cratêus	CE	39
EVI75	-5,7167	-40,917	Novo Oriente	CE	54
EVI77	-7,3333	-36,3	Boa Vista	PB	22
EVI78	-10,8	-42,833	Barra de Santana	BA	22
EVI79	-7,4	-36,533	São João do Cariri	PB	17

Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.

3.3. ANÁLISE DE DADOS

A partir dos dados mensais de EVI e precipitação e dos dados obtidos da riqueza de espécies, foram feitas análises de correlação e regressão através do software *R* (*R Development Core Team 2011*), com o objetivo de se obter informações a respeito da relação entre as variáveis com a produtividade da caatinga, e em seguida, medir as forças das respectivas relações. Foram utilizados neste trabalho os valores médios para as variáveis EVI e precipitação, para poder fazer as correlações com a riqueza de espécies, em função da falta de repetição dos dados de riqueza de espécies em cada ponto.

Foram feitas análises sincrônicas e também análises tipo “lag” com descompasso de 1, 2, 3 e 4 meses entre precipitação média e EVI médio, para analisarmos possíveis efeitos tardios da precipitação sobre o EVI. A partir do coeficiente de determinação (r^2) das regressões, foi possível estimar o quanto que a riqueza de espécies e a precipitação média explicam a variabilidade do EVI médio, e indiretamente sobre a produtividade primária em áreas de caatinga.

Após correlacionar o EVI com todas as respectivas variáveis, foi testada a força destas correlações utilizando um tipo de regressão. Nossos dados foram testados a partir de testes da homogeneidade de variâncias entre o EVI com a riqueza de espécies e EVI com precipitação como dados não-paramétricos, pelo teste de Levene (*LeveneTest*) em relação aos resíduos de EVI. Portanto, o tipo de regressão não-paramétrica utilizada neste trabalho foi a regressão por estimativa baseada em ranqueamento (*rank-based estimation regression*) (KLOLE *et. al.*, 2012).

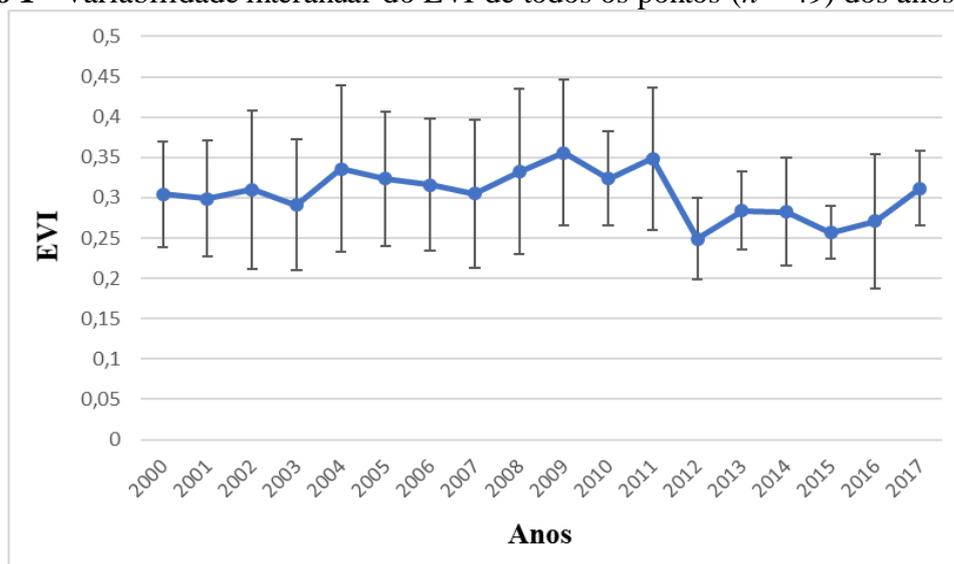
Adicionalmente, foram correlacionados os dados da riqueza de espécies com a precipitação média, apenas para saber se havia alguma relação entre as variáveis. A partir do teste de Levene, obtivemos dados paramétricos, e utilizamos um Modelo Linear Generalizado (GLM), para obter o valor do coeficiente de determinação parcial desta correlação.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. ANÁLISES DESCRITIVAS

Os dados de EVI para todos os 49 locais de amostragem, dos anos de 2000 a 2017, mostraram uma média anual de $0,305 \pm 0,029$, com valor máximo aproximado de 0,36 e mínimo aproximado de 0,25. De todos os anos, 2009 foi o que apresentou o maior valor médio de EVI, em oposição a 2012, que apresentou o menor valor (Gráfico 1).

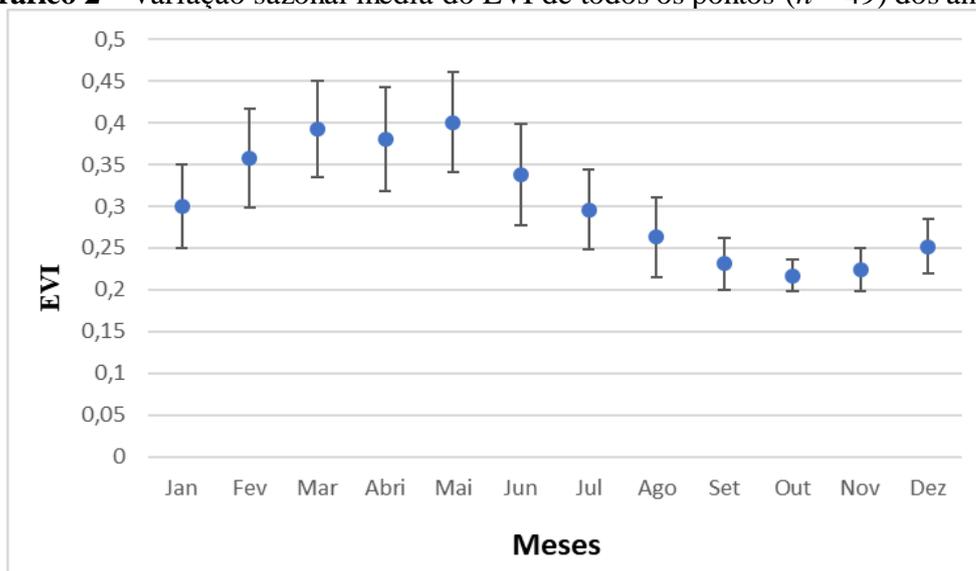
Gráfico 1 - Variabilidade interanual do EVI de todos os pontos ($n = 49$) dos anos de 2000-2017.



Fonte: Dados disponibilizados na plataforma *online* do INPE, 2019.

No que se refere as médias mensais de todos os meses de todos os anos, obtivemos o valor médio de $0,305 \pm 0,80$, com valores de máximo e mínimo respectivamente 0,41 e 0,22. Sendo estes valores representados nos meses de maio e outubro (Gráfico 2).

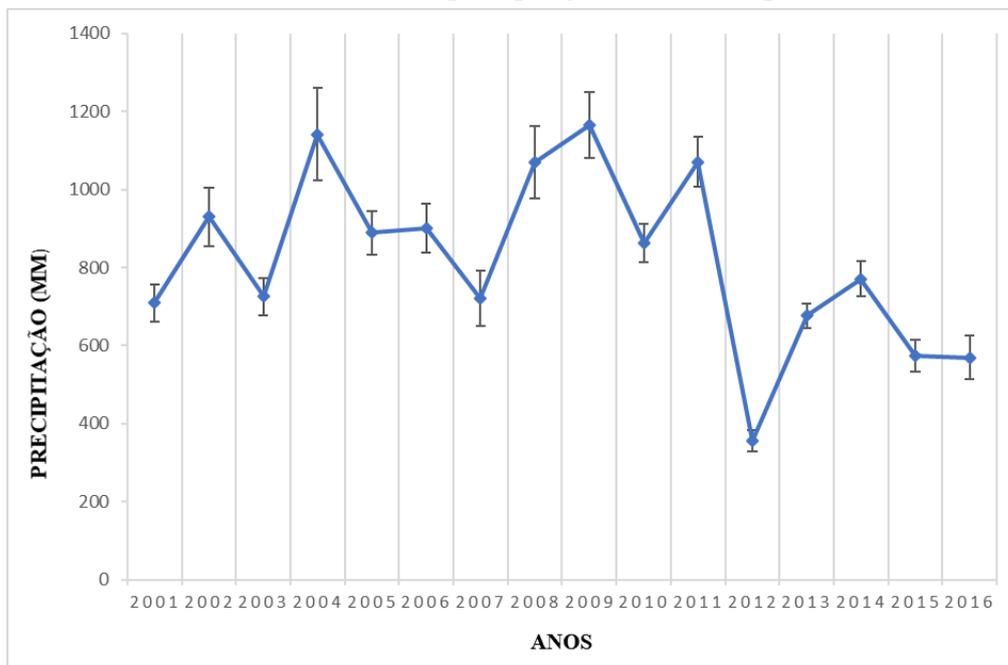
Gráfico 2 – Variação sazonal média do EVI de todos os pontos ($n = 49$) dos anos de 2000-2017.



Fonte: Dados disponibilizados na plataforma *online* do INPE, 2019.

Os dados de precipitação para todas as localidades apresentaram uma média anual de 820 ± 225 mm, com valores de máximo e mínimo aproximados de 1.165 mm e 357 mm, respectivamente, observados nos anos de 2009 e 2012 (Gráfico 3).

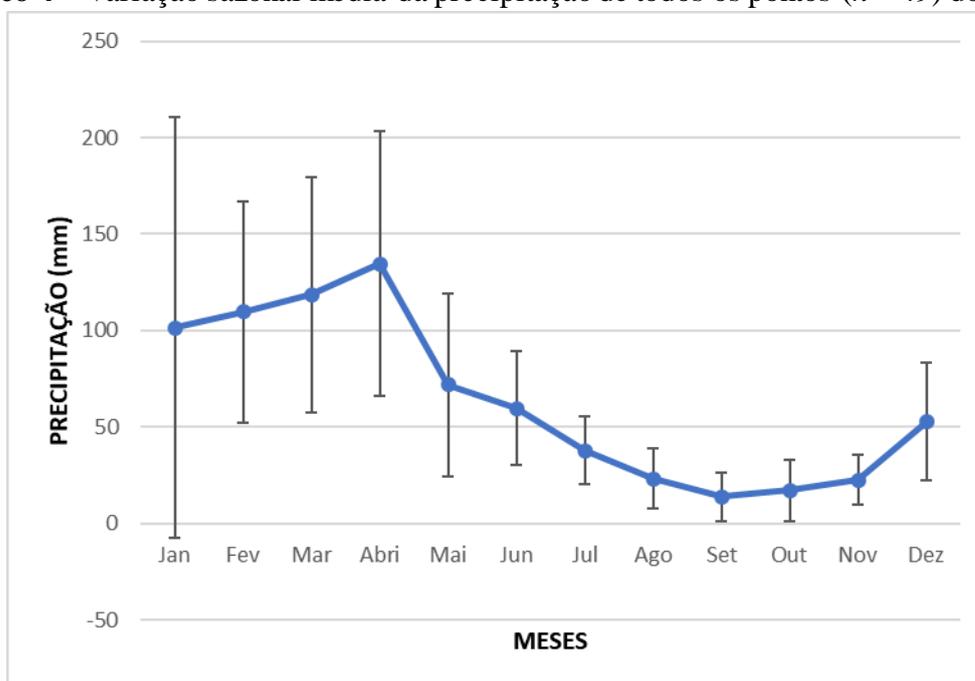
Gráfico 3 – Variabilidade interanual da precipitação de todos os pontos ($n = 49$) dos anos de 2001-2016.



Fonte: Dados disponibilizados na plataforma *online* do INPE, 2019.

Os dados mensais de precipitação exibiram valor médio de $63,8 \pm 62,9$ mm, com valores de máximo e mínimo aproximados de 134 mm e 14 mm, respectivamente, observados nos meses de abril e setembro (Gráfico 4).

Gráfico 4 – Variação sazonal média da precipitação de todos os pontos ($n = 49$) dos anos de 2001-2016.



Fonte: Dados disponibilizados na plataforma *online* do INPE, 2019.

A partir destes dados é possível observar um padrão ao longo dos anos a respeito do EVI e sua relação com a precipitação. No período de 2000 a 2009, o EVI se mantém relativamente estável, com pouca variabilidade anual, com seu maior valor médio atingido nos meses de maio. Com os índices pluviométricos no primeiro semestre sendo considerados os mais altos, os dados aqui apresentados se assemelham aos dados de DA SILVA *et. al.* (2011) que concluem em seu trabalho que os maiores valores pluviométricos da maioria dos Estados do Nordeste são atingidos nos primeiros seis meses do ano, sendo este período considerado a estação chuvosa. Em contrapartida, no segundo semestre é possível observar um declínio da precipitação, sendo considerada a estação de seca. Notoriamente, a estação chuvosa resulta em valores de EVI elevados em resposta a precipitação. Mesmo variando bastante e em um curto período, essas chuvas são capazes de impulsionar a produtividade da caatinga, como é observado pelos valores de EVI médios. Porém, na estação seca, a falta e/ou insuficiência das chuvas gera baixos valores de EVI, influenciando negativamente a produtividade.

Especificamente em meados do ano de 2011 e início de 2012, é possível observar esta relação, uma vez que este foi o período que ocorreu um dos piores eventos de seca jamais presenciados em décadas anteriores para região do Nordeste (MARENGO *et. al.*, 2016; MARTINS & MAGALHÃES, 2016). É evidente que a falta de chuvas associadas ao aumento da temperatura e da evapotranspiração potencial influenciaram negativamente a produtividade, sendo observado nos valores médios do EVI de modo bastante significativo. Essa dinâmica mostra a influência da precipitação sobre a produtividade e comprova que esta pode ser considerada um impulsionador importante não somente da produtividade, mas da própria dinâmica dos ecossistemas (WELTZIN *et. al.*, 2003).

Essa variação mensal da produtividade da caatinga apresenta uma sazonalidade previsível, ainda que os períodos de chuvas apresentem uma alta irregularidade. Esse padrão favorece na compreensão de como ocorrem as respostas às variações climáticas, auxiliando também em meios de mitigação às problemáticas relacionadas às mudanças climáticas e seus impactos no ecossistema.

A defasagem que existe na resposta da vegetação em relação a precipitação também foi levada em consideração neste trabalho. As análises do tipo *lag* com descompassos de um até três meses exibiram um atraso sazonal de um mês na resposta da vegetação em referência as chuvas em todos os pontos ($p < 0.05$, $n = 49$). Nesse atraso de um mês, é admissível pressupor que os valores máximos de todas as correlações para

cada um dos pontos individualmente são atingidos, observados a partir do coeficiente de determinação. Os valores médios das correlações sem e com defasagem de um até três meses; do coeficiente de determinação médio e desvio padrão são encontradas a seguir na tabela 2.

TABELA 2- Valores médios das correlações de todos os pontos de amostragem ($n = 49$); dos valores dos respectivos coeficientes de determinação e dos desvios padrões.

	Média das correlações ($n = 49$)	r^2	Desvio Padrão
Correl. sem <i>lag</i>	0,518767024	0,269119	0,13565405
Correl. <i>Lag</i> 1	0,622314637	0,387276	0,13730429
Correl. <i>lag</i> 2	0,507296715	0,25735	0,11473926
Correl. <i>lag</i> 3	0,271086915	0,073488	0,0994402

Fonte: Elabora pelo autor, 2022.

Tal tempo de resposta também é reportada em outros trabalhos (*e.g.*: SCHUCKNECHT *et. al.*, 2012; COSTA *et. al.*, 2017; SALIMON; ANDERSON, 2018). Mas assim como apontado em SALIMON; ANDERSON (2018), é de se supor que a provável resposta real da vegetação em reflexo as chuvas deve se dar em pouco menos de um mês, porém como os dados aqui obtidos apresentavam variações mensais, este foi o melhor ajuste possível que pôde ser trabalhado. Atentando-se a este tempo de resposta, todas as correlações neste trabalho entre EVI e a precipitação foram feitas com descompasso de um mês.

4.2. CORRELAÇÕES E REGRESSÕES ENTRE EVI MÉDIO COM RIQUEZA DE ESPÉCIES LENHOSAS E PRECIPITAÇÃO MÉDIA

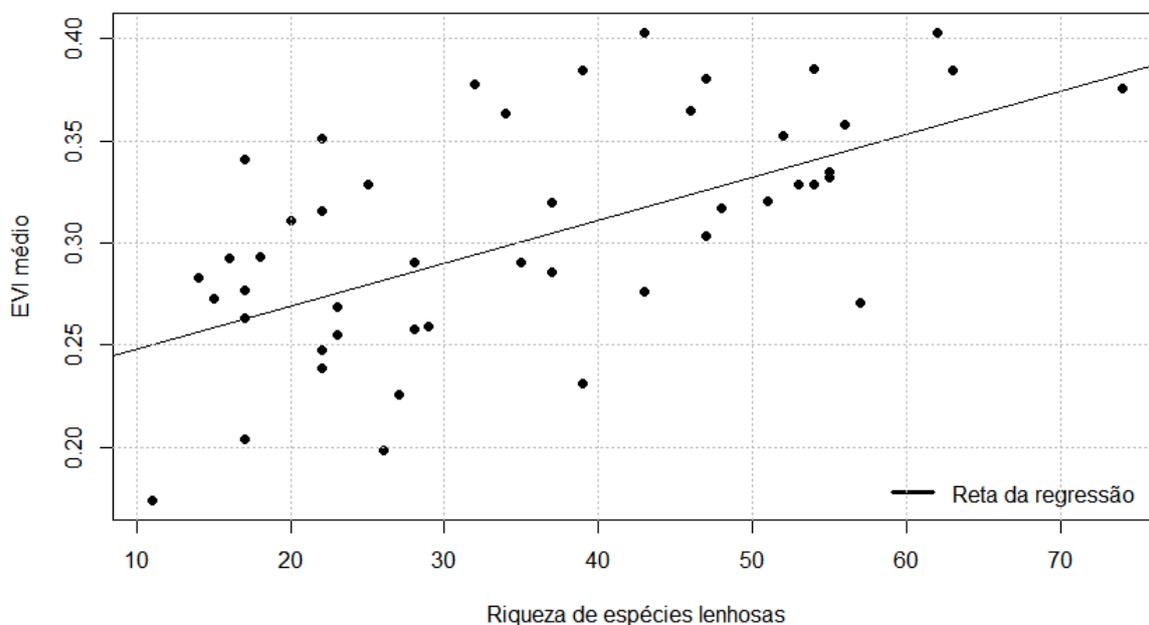
As relações entre: o EVI médio com a riqueza de espécies lenhosas e EVI médio com a precipitação média foram testadas quanto a homogeneidade de variâncias como significativas, com valores de $p = 0,01615$ e $p = 0,01595$ respectivamente, conforme o Teste de Levene. A partir dos valores de p significativos ($p \leq 0,05$), podemos admitir que não existe homogeneidade de variâncias. Dessa forma, rejeitamos a hipótese nula e aceitamos a hipótese alternativa, reconhecendo que há uma correlação entre as variáveis.

Porém, a homogeneidade de variâncias para a relação entre a riqueza de espécies lenhosas e precipitação média, apresentou um valor de p não significativo de 0,08172, desta forma, as variáveis não apresentaram uma correlação significativa entre si.

Para obter os valores dos coeficientes de determinação das correlações significativas, foi utilizada uma regressão não paramétrica, uma vez que a partir do Teste de Levene, obtivemos um valor de p significativo. A regressão utilizada neste trabalho foi a regressão por estimativa baseada em ranqueamento, que além de mostrar o nível de confiabilidade da regressão, mostra também o valor do coeficiente de determinação de cada variável em regressões lineares simples. Em relação ao valor do coeficiente de determinação da correlação entre riqueza de espécies lenhosas e precipitação média, foi utilizada uma regressão paramétrica baseada em um Modelo Linear Generalizado (GLM), devido ao valor de p não significativo. Embora os valores absolutos destes coeficientes para regressões não paramétricas sejam menos precisos que regressões paramétricas, os valores aqui obtidos foram satisfatórios, significativos e não tão discrepantes de valores de regressões paramétricas.

Todas as correlações individuais entre o EVI e a riqueza de espécies foram estatisticamente significativas ($p < 0,05$, $n = 49$). Devido aos dados de riqueza de espécies deste trabalho serem referentes a riqueza amostral, os dados não possuem repetição por pontos, cada ponto amostrado apresentava apenas um conjunto de dados. A respeito do tipo de padrão da relação riqueza e produtividade, foi obtido neste trabalho o linear positivo (Gráfico 5), ao nível de escala de paisagem. Corroborando o que se tem na literatura de que em grandes escalas, é observado com mais frequência os padrões unimodais (e.g.: GROSS *et. al.*, 2000; FRASER *et. al.*, 2014) e lineares (e.g.: WAIDE *et. al.*, 1999).

GRÁFICO 5- Regressão por estimativa baseada em ranqueamento da correlação entre o EVI médio de todos os pontos ($n = 49$) com a riqueza de espécies amostral de todos os pontos ($n = 49$).



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

A partir da regressão não paramétrica do EVI médio com a riqueza de espécies lenhosas, foi observado um valor de p significativo ($p = 1e-05$). Em relação ao coeficiente de determinação, foi obtido um valor de $r^2 = 0.3358405$. Em outros termos, a correlação além de ser significativa, é também positiva e apresentou o valor do coeficiente de determinação razoável. Dessa forma, podemos dizer que ao passo que a riqueza de espécies aumenta, é esperado que os valores médios de EVI também aumentem, e neste caso, é esperado um aumento na produtividade primária. Além do mais, podemos dizer também que 33% da variabilidade do EVI médio é explicada somente pela riqueza de espécies lenhosas, sem nenhuma outra variável independente, a nível de escala de paisagem. E adicionalmente, não foi observada nenhuma tendência interanual significativa ($p < 0,05$) das médias de EVI com a riqueza de espécies, uma vez que neste trabalho foram coletados dados referentes a riqueza de espécies amostrais com apenas um conjunto de dados sem repetições por pontos.

Esse valor de coeficiente de determinação mostra que certamente boa parte da produtividade da caatinga se relaciona positivamente com a riqueza de espécies. Se levarmos em consideração que neste trabalho apenas a riqueza de espécies lenhosas foram mensuradas, podemos presumir que o valor de r^2 dessa correlação seria ainda maior se fossem incluídas espécies vegetais não lenhosas, uma vez que as plantas não lenhosas são

muitas vezes omitidas em estudos, mas apresentam um papel importante para a diversidade da caatinga (MORO *et. al.*, 2016).

Apesar de haver dúvidas teóricas e empíricas sobre o funcionamento e o tipo de padrão que surge da relação entre riqueza de espécies com a produtividade (WAIDE *et. al.*, 1999; GROSS *et. al.*, 2000; MITTELBAACH *et. al.*, 2001), é incontestável afirmar que esta relação existe, e de acordo com BAILEY *et. al.* (2004), embora seja inexplorada, ambas as variáveis podem ser muito bem correlacionadas. A riqueza de espécies pode de fato, ser considerada um ótimo determinante para a produtividade de um ecossistema, embora muitos trabalhos pouco explorem esta relação. Especificamente para o ecossistema da Caatinga, apenas MEDEIROS *et. al.* (2019) abordaram quantitativamente o quanto que a riqueza de espécies lenhosas impulsiona a produtividade primária do ecossistema em uma escala de paisagem. Porém, os resultados obtidos a partir dos modelos lineares neste presente estudo mostraram valores de correlações entre a riqueza de espécies e o EVI maiores do que os valores apontados por MEDEIROS *et. al.* (2019). Com isto, podemos afirmar de uma forma simplista, mas válida, que a riqueza de espécies tem influência e também impulsiona significativamente a produtividade primária da Caatinga.

Mesmo que em comparação com os demais ecossistemas brasileiros de grande extensão, a Caatinga apresente uma das menores diversidades, as espécies presentes no ecossistema possuem um elevado grau de adaptação em relação as condições climáticas (RIBEIRO *et. al.*, 2016). O alto grau de endemismo juntamente com a elevada heterogeneidade e as aclimatizações que as vegetações possuem, permitem que as plantas prosperem e impulsionem boa parte da produtividade ecossistêmica. Esta biodiversidade é capaz de estabilizar não somente a produtividade, mas também os serviços ecossistêmicos dependentes da produtividade e conseqüentemente a longo prazo, aumentar a resistência dos ecossistemas em resposta a eventos climáticos (ISBELL *et. al.*, 2011). Assim sendo, compreender a relação entre riqueza de espécies e produtividade ecossistêmica é de fundamental importância para a gestão e também a preservação da biodiversidade e do ecossistema de forma geral.

Principalmente quando levamos em consideração que a Caatinga apresenta uma baixa biodiversidade, em associação com uma demasiada pressão antrópica que causa impactos muitas vezes irreversíveis no ecossistema, através das atividades agrícolas, pecuárias e a própria pressão populacional. A capacidade de resiliência do ecossistema permite que a vegetação suporte as árduas condições climáticas, contudo, a constante

degradação e a consequente formação de núcleos de desertificação em grandes partes do ecossistema inviabilizam este processo natural de recuperação (COSTA *et. al.*, 2009). E quando um ecossistema apresenta uma baixa resiliência, ele fica mais propenso a respostas mais amplas a perturbações, se tornando mais sensível a elas (SEDDON *et. al.*, 2016).

Muitos trabalhos a partir das últimas décadas começaram a relatar a relação da riqueza de espécies com a produtividade ecossistêmica e os serviços ecossistêmicos, porém, focam nos principais ecossistemas brasileiros como a mata atlântica (*e.g.*: ROCHA *et. al.*, 2008; MACHADO, 2015) e o cerrado (*e.g.*: RIBAS, 2006; COELHO *et. al.*, 2017). O ecossistema da Caatinga infelizmente continua sendo negligenciado como nas décadas passadas em âmbitos de pesquisas e da própria conservação (LEAL *et. al.*, 2007). É necessário prestar a devida importância para todos os ecossistemas de forma igualitária, uma vez que todos estão susceptíveis a perda da biodiversidade e ao provável colapso ecológico devido principalmente as mudanças climáticas globais e ações antrópicas, em especial os que já apresentam vulnerabilidade e estão mais propensos a este acontecimento, como a Caatinga.

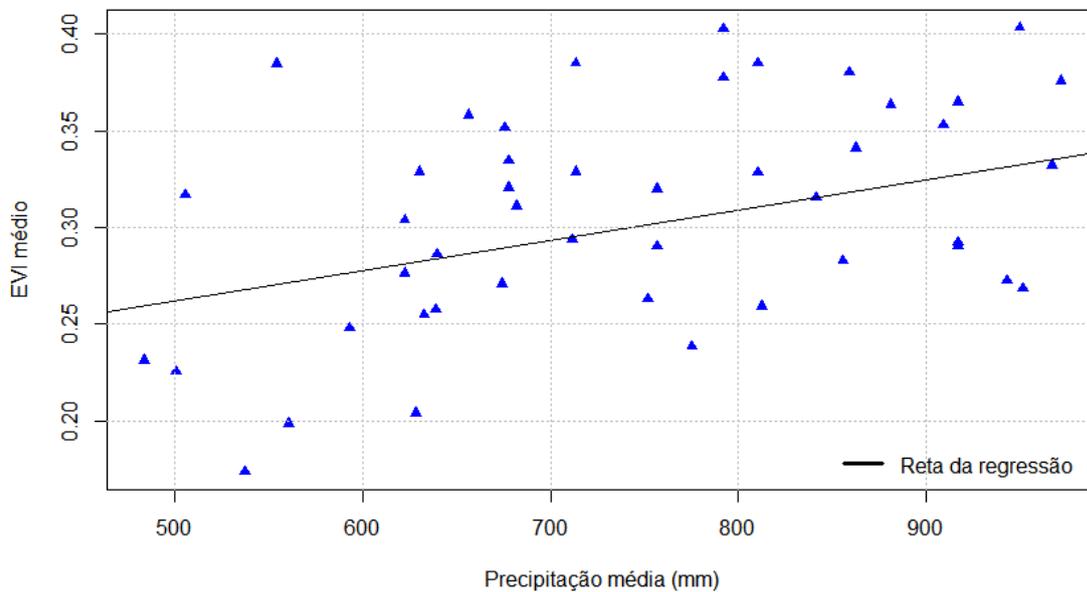
Para se ter um melhor entendimento acerca da correlação e a força da influência da riqueza de espécies sobre a produtividade, foi comparada esta relação com a correlação e a força da influência da precipitação sobre a produtividade.

Todas as correlações individuais entre a precipitação e EVI foram estatisticamente significativas ($p < 0,05$; $n = 49$). A correlação média de todos os pontos com descompasso de um mês foi a que apresentou um maior coeficiente de determinação ($r^2 = 0,38 \pm 0,13$), com valores máximos e mínimos aproximados de 0,80 e 0,24, respectivamente. Com o passar dos meses, foi observado que estes valores vão diminuindo (rever Tabela 2), em função principalmente do estresse hídrico ao qual a vegetação está sujeita. Esse intervalo de um mês mostra o provável tempo que leva para as plantas atingirem o pico de produtividade.

A partir da regressão não paramétrica do EVI médio com a precipitação média, foi observado um valor de p significativo ($p = 0.01608$). O coeficiente de determinação foi de $r^2 = 0.1171282$. Assim como na correlação entre EVI médio e riqueza de espécies lenhosas, a correlação do EVI médio com a precipitação média foi significativa e positiva (Gráfico 6), porém apresentou um r^2 mais baixo. Mesmo assim, ao passo que ocorrem as chuvas, é observado um aumento no EVI, e conseqüentemente, na produtividade primária. Porém, apenas 11% da variabilidade do EVI médio é explicada pela

precipitação média em nível de paisagem. E adicionalmente, não foi observada nenhuma tendência interanual significativa ($p < 0,05$) das médias de EVI com a precipitação. Desta forma, nem a quantidade e nem o padrão das chuvas de um ano apresentou alguma tendência significativa no ano seguinte.

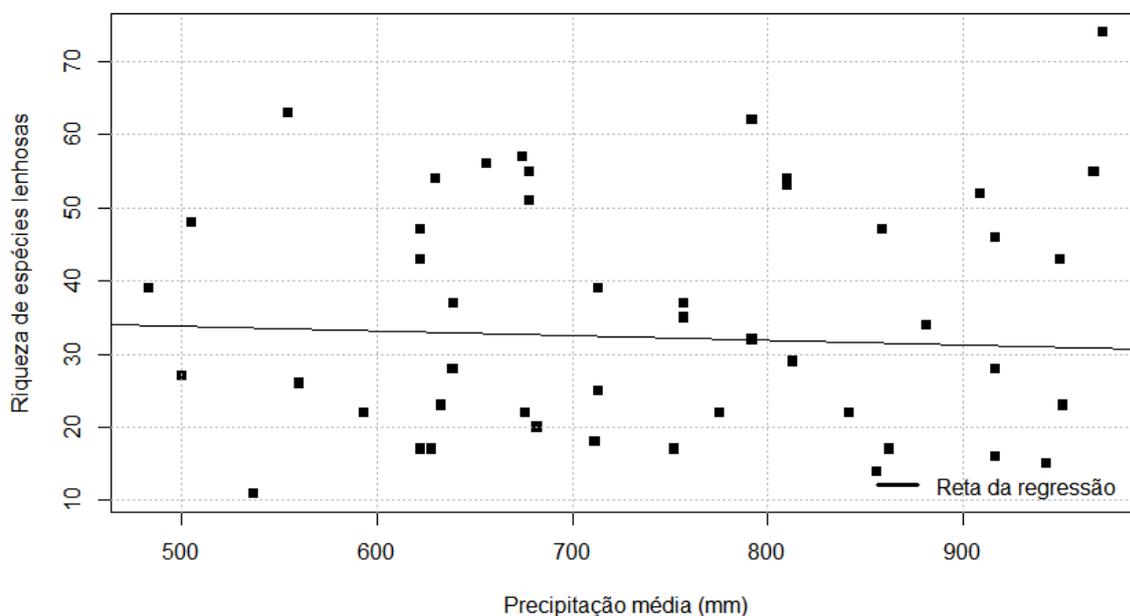
GRÁFICO 6- Regressão por estimativa baseada em ranqueamento da correlação entre o EVI médio de todos os pontos ($n = 49$) com a precipitação média de todos os pontos ($n = 49$).



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

As correlações individuais entre a riqueza de espécies e a precipitação média não foram estatisticamente significativas ($p = 0,75136$, $n = 49$). O valor do coeficiente de determinação parcial foi extremamente baixo, $rsq = 1.66857e-06$. Em outras palavras, além de não apresentarem uma correlação significativa, ambas as variáveis aparentam possuir uma relação negativa, como é observado no Gráfico 7, onde é observado um modelo linear ligeiramente negativo. Em suma, locais com altas chuvas aparentemente possuem riquezas de espécies mais baixas. Uma hipótese que pode ser levantada é que devido as espécies vegetais serem bastante adaptadas as condições de extrema seca durante grande parte do ano, quando ocorrem chuvas prolongadas, algumas plantas não conseguem se manter no seu habitat, e por isso, estes locais perdem uma parte da sua riqueza de espécies.

GRÁFICO 7- Modelo Linear Generalizado (GLM) da correlação entre a riqueza de espécies lenhosas ($n = 49$) com a precipitação média de todos os pontos ($n = 49$).



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Além das regressões lineares simples abordadas anteriormente, foi realizada também uma regressão linear múltipla. Com o propósito de elucidar o comportamento entre a variável dependente (EVI médio) e as variáveis independentes (riqueza de espécies lenhosas e precipitação média). Na regressão múltipla, foi obtido um valor significativo de $p = 0$. O coeficiente de regressão foi de $r^2 = 0.469892$. Em outros termos, ambas as variáveis independentes em conjunto, explicam aproximadamente 47% da variação do EVI a nível de paisagem. Infelizmente, regressões múltiplas não paramétricas apresentam limitações quanto a exibir os valores dos coeficientes de determinação para cada variável, mas é possível ter noção da força destas variáveis individualmente a partir das regressões simples apresentadas anteriormente.

Ainda que a precipitação seja considerada um impulsionador importante para os ecossistemas, em virtude da sua alta variabilidade temporal e espacial no Nordeste, especificamente na caatinga, é de se esperar que de fato as chuvas não impulsionassem tanto assim a produtividade do ecossistema ao nível de escala de paisagem. Em uma escala local, por outro lado, a precipitação tem uma influência maior, e certamente seria capaz de explicar mais da variabilidade da produtividade da Caatinga, como é visto no trabalho de SALIMON; ANDERSON (2018), onde a precipitação foi responsável por 50% da produtividade da Caatinga no estado da Paraíba.

Por pressuposto, esta baixa correlação entre os valores médios em escala de paisagem demonstra que outros fatores, como por exemplo os tipos de solos, possuem um papel importante na regulação hídrica da região. As variações de armazenamento de água em cada tipo de solo geralmente acompanham as variações da precipitação para diferentes partes do Nordeste (ANTONINO *et. al.*, 2000), sendo assim, o papel dos solos na regulação hídrica é bastante fundamental. Neste caso, a produtividade estaria ligada não somente as condições climáticas, mas também as condições edáficas daquele local. Como foram amostrados pontos espalhados pela Caatinga, alguns pontos estão inseridos em regiões de solo mais rasos, e outros, em solos mais profundos, onde o armazenamento de água tem um papel significativo, de forma que não só a precipitação em si, mas também o balanço hídrico, tem um papel importante na relação entre precipitação e EVI.

Por apresentar uma produtividade ecossistêmica indubitavelmente baixa, associada a todos os problemas naturais e antrópicos apontados previamente neste trabalho, o ecossistema da caatinga está cada vez mais próximo do perigo iminente de colapso ecológico irreversível. Negligenciado inicialmente por equívoco, este ecossistema começou a ter uma certa visibilidade científica recentemente, a partir do ano de 2000 (DE ALBUQUERQUE *et. al.*, 2012) principalmente pela importância do seu valor ecológico. Contudo, ainda existem dúvidas que precisam ser esclarecidas a respeito deste ecossistema, e para tal, é necessário continuar com o avanço nas pesquisas. As ameaças futuras de aumentos de temperaturas globais e o risco da perda da biodiversidade como consequência, devem promover questões conservacionistas para todos os ecossistemas.

A perda constante e descontrolada da vegetação da caatinga favorece a redução e ineficiência do processo natural de resiliência, contribuindo assim ao aumento da sensibilidade da caatinga aos distúrbios naturais e antrópicos ao qual ela é exposta, ocasionando na futura inviabilidade do ecossistema.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho podemos concluir a partir de uma análise simples e com poucas variáveis, mas realista, que em uma escala de paisagem para toda a caatinga do semiárido brasileiro, a riqueza de espécies lenhosas não somente impulsionam significativamente a produtividade primária ecossistêmica, mas tem uma influência cerca de três vezes maior que a precipitação média para o conjunto de dados obtidos neste presente estudo.

O uso e aplicação de ferramentas do sensoriamento remoto podem ser bastante pertinentes e de fundamental importância para estudos de campo que precisam cobrir grandes áreas, no qual seria inviável a prática e coleta de dados de uma pesquisa local.

Fica bastante explícito que as chuvas e a riqueza de espécies -assim como outras variáveis- apresentam um papel fundamental na manutenção, na resistência e resiliência do ecossistema face a algum distúrbio. Tendo em vista o provável aumento de temperaturas globais médias; a redução significativa da precipitação; o aumento nos níveis de aridez e um aumento na ocorrência de eventos climáticos extremos, a região Nordeste pode acabar se tornando uma das regiões mais ameaçadas frente a estes problemas, sendo estes impactos ainda mais extremos na região semiárida.

Especificamente o ecossistema da caatinga já é considerado atualmente bastante vulnerável e apresenta uma baixa produtividade ecossistêmica devido as condições extremas de clima associadas as ações antrópicas. Com as projeções futuras de mudanças climáticas é de se esperar que eventualmente este ecossistema não seja mais capaz de se recuperar, levando a sua fatídica inviabilidade. Por consequência, terá um impacto não somente na perda de um ecossistema exclusivamente brasileiro que apresenta uma grande diversidade biológica, mas levará também a graves impactos na vida das 22 milhões de pessoas que vivem no semiárido.

Este trabalho demonstra como pesquisas macroecológicas com dados secundários são úteis para identificar e quantificar padrões ecossistêmicos, especialmente padrões da caatinga, uma vez que a atividade da sua vegetação é altamente controlada por variações sazonais e ações antrópicas. Promover estudos que identificam vulnerabilidades nos ecossistemas podem fornecer medidas eficientes de adaptação não apenas as mudanças climáticas atuais e projetadas, mas também para extremos de variabilidades climáticas, como por exemplo, as secas, bem como as mudanças provocadas pela ação antrópica.

6. REFERÊNCIAS

ACEITUNO, Patricio et al. The 1877–1878 el Niño episode: associated impacts in south America. **Climatic Change**, v. 92, n. 3, p. 389-416, 2009.

ALVES, Joaquim. **História das secas (séculos XVII a XIX)**. Edições do Instituto do Ceará, 1953. p. 296.

ALVES, Jose Jakson Amâncio. Caatinga do Cariri paraibano. **Geonomos**, 2009.

ANGELOTTI, Francislene et al. Cenários de mudanças climáticas para o semiárido brasileiro. **Embrapa Semiárido-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2010.

ANGELOTTI, Francislene et al. Mudanças climáticas e desertificação no Semi-Árido brasileiro. **Embrapa Semiárido-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2009.

ANGELOTTI, Francislene; SIGNOR, Diana; GIONGO, Vanderlise. Mudanças climáticas no Semiárido brasileiro: experiências e oportunidades para o desenvolvimento. **Embrapa Semiárido-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2015.

ANGELOTTI, F.; SA, I. B.; PETRERE, V. G. Mudanças climáticas e o semiárido brasileiro: o papel da Embrapa Semiárido e suas ações de pesquisa. **Embrapa Semiárido-Documentos (INFOTECA-E)**, 2009.

ANTONINO, Antonio Celso Dantas et al. Balanço hídrico em solo com cultivos de subsistência no semi-árido do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, p. 29-34, 2000.

ARAGÃO, José Oribe Rocha. Fundamentos de meteorologia e relação oceanoatmosfera. **Recife: Secretaria de Recursos Hídricos de Pernambuco**, 2000.

ARAÚJO, SMS de. A região semiárida do nordeste do Brasil: questões ambientais e possibilidades de uso sustentável dos recursos. **Rios Eletrônica-Revista Científica da FASETE**, v. 5, n. 5, p. 88-98, 2011.

BAILEY, S.-A. et al. Primary productivity and species richness: relationships among functional guilds, residency groups and vagility classes at multiple spatial scales. **Ecography**, v. 27, n. 2, p. 207-217, 2004.

BRASIL. **Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICMBio**. Disponível em: < <https://www.icmbio.gov.br/portal/protecao/49-menu-o-que-fazemos/4260-caatinga>>. Acesso em 04 de janeiro de 2022.

BRASIL. **Ministério do Meio Ambiente - MMA**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>>. Acesso em 14 de março de 2020.

BRASIL. (2005). Ministério da Integração Nacional. **Nova delimitação do semi-árido brasileiro**. Brasília, DF, 32 p.

BRASIL. **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE**. Disponível em: < <http://www.dsr.inpe.br/laf/series/>>. Acesso em 07 de setembro de 2020.

BRASIL. **Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil** – MapBiomass. Disponível em: < <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/>>. Acesso em 08 de novembro de 2020.

BRASIL. **SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE** – SUDENE. Disponível em: <https://www.gov.br/sudene/pt-br/centrais-de-conteudo/02semiaridorelatorionv.pdf>>. Acesso em 02 de fevereiro de 2022.

CARDIM, Fernão. **Tratados da terra e gente do Brasil**. hedra, 2009.

CAMPOS, José Nilson Beserra; STUDART, Ticiania Marinho de Carvalho. **Secas no Nordeste do Brasil: origens, causas e soluções**. 2001.

CAMPOS, Samuel Alex Coelho et al. Degradação ambiental agropecuária no bioma Caatinga. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 46, n. 3, p. 155-170, 2015.

CASTELLETTI, C. H. M. et al. Quanto ainda resta da Caatinga? Uma estimativa preliminar. **Ecologia e conservação da caatinga**. Recife: **Editora Universitária da UFPE**, p. 719-34, 2003.

CASTRO, A. S.; CAVALCANTE, A. Flores da Caatinga-Caatinga Flowers. **Edição Bilingue, Instituto Nacional do Semiárido, Campina Grande, Brazil**, 2011.

COELHO, Maria Cristina et al. INDICADORES FLORÍSTICOS, FITOSSOCIOLÓGICOS E DE PRODUTIVIDADE EM ÁREA NATIVA DE CERRADO. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, v. 14, n. 25, 2017.

CONNELL, Joseph H.; LOWMAN, Margaret D. Low-diversity tropical rain forests: some possible mechanisms for their existence. **The American Naturalist**, v. 134, n. 1, p. 88-119, 1989.

COSTA, Thomaz C. et al. Análise da degradação da caatinga no núcleo de desertificação do Seridó (RN/PB). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, p. 961-974, 2009.

COSTA, Wanessa Luana de Brito et al. **Resposta de índices de vegetação às precipitações em diferentes regiões do Estado da Bahia**. 2017.

CHAO, Anne. Species richness estimation. **Encyclopedia of statistical sciences**, v. 12, p. 7907-7916, 2005.

DE ALBUQUERQUE, S. G.; SOARES, J. G. G.; DE ARAUJO FILHO, J. A. Densidade de espécies arbóreas e arbustivas em vegetação de caatinga. **Embrapa Semiárido-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, 1982.

DE ALBUQUERQUE, Ulysses Paulino et al. Caatinga revisited: ecology and conservation of an important seasonal dry forest. **The Scientific World Journal**, v. 2012, 2012.

DA SILVA, Diego Vicente Sperle; CRUZ, Carla Bernadete Madureira. 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.

DA SILVA, Vicente PR et al. Análise da pluviometria e dias chuvosos na região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 2, p. 131-138, 2011

DE MELO, Josemir Camilo. O fenômeno El Niño e as secas no Nordeste do Brasil. **Raízes: Revista de Ciências Sociais e Econômicas**, n. 20, p. 13-21, 1999.

EITEN, George. An outline of the vegetation of South America. In: **Symposia of the 5th Congress of the International Primatological Society, Nagoya, Japan**. 1974. p. 529-545.

EITEN, George. **Classificação da vegetação do Brasil**. 1983.

ERASMI, Stefan et al. Vegetation greenness in northeastern Brazil and its relation to ENSO warm events. **Remote Sensing**, v. 6, n. 4, p. 3041-3058, 2014.

FERNANDES, Diego Simões et al. Índices para a quantificação da seca. **Embrapa Arroz e Feijão-Documentos (INFOTECA-E)**, 2009.

FERREIRA, Johnny Mayron Santana et al. Análise Espaço-Temporal da Dinâmica da Vegetação de Caatinga no Município de Petrolina-PE (Analysis Space-Time from Dynamics of Caatinga Vegetation in the Municipality of Petrolina-PE). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 5, n. 4, p. 904-922, 2012.

FERRI, Mário Guimarães. **Vegetação brasileira**. Belo Horizonte: Itatiaia, 1980.

FRANCISCO, Paulo Roberto Megna et al. Análise espectral e avaliação de índices de vegetação para o mapeamento da caatinga. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 10, n. 3, p. 01-12, 2015.

FRASER, Lauchlan H.; JENTSCH, Anke; STERNBERG, Marcelo. What drives plant species diversity? A global distributed test of the unimodal relationship between herbaceous species richness and plant biomass. **Journal of Vegetation Science**, v. 25, n. 5, p. 1160-1166, 2014.

GIBBS, W. J. et al. Drought-its definition, delineation and effects. **Drought. Lectures presented at the twenty-sixth session of the WMO Executive Committee.**, p. 1-39, 1975.

GIULIETTI, Ana Maria et al. Diagnóstico da vegetação nativa do bioma Caatinga. **Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação**, 2004.

GOMES, V. P. et al. Sensoriamento remoto hyperspectral aplicado para análise dos indicadores de resiliência e suscetibilidade do bioma caatinga frente às mudanças climáticas. **Embrapa Semiárido-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2017.

GUIMARÃES, Sullyandro Oliveira et al. Projeções de Mudanças Climáticas sobre o Nordeste Brasileiro dos Modelos do CMIP5 e do CORDEX. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 3, p. 337-365, 2016.

GUTIÉRREZ, Ana Paula A. et al. Drought preparedness in Brazil. **Weather and Climate Extremes**, v. 3, p. 95-106, 2014.

GROSS, Katherine L. et al. Patterns of species density and productivity at different spatial scales in herbaceous plant communities. **Oikos**, v. 89, n. 3, p. 417-427, 2000.

HAMADA, E.; MAIA, A.; THOMAZ, M. C. Temperaturas médias projetadas pelos modelos climáticos globais do quarto relatório do IPCC para o Nordeste Brasileiro. In: **Embrapa Meio Ambiente-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: WORKSHOP SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E PROBLEMAS FITOSSANITÁRIOS, 2012, Jaguariúna. Anais... Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2012. 6 p., 2012.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo demográfico**. Disponível em <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-demografico/demografico-2010/inicial>>. Acesso em 24 de janeiro de 2022.

INSTITUTO NACIONAL DO SEMIÁRIDO - INSA. 2012. <<http://livroaberto.ibict.br/bitstream/1/941/2/INSA.pdf>>. Acesso em 12 de julho de 2019.

ISBELL, Forest et al. Biodiversity increases the resistance of ecosystem productivity to climate extremes. **Nature**, v. 526, n. 7574, p. 574-577, 2015.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2007), **Climate Change 2007: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**.

JENSEN, John R.; EPIPHANIO, José Carlos Neves. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parêntese Editora, 2009.

JUSTICE, Christopher O. et al. The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): Land remote sensing for global change research. **IEEE transactions on geoscience and remote sensing**, v. 36, n. 4, p. 1228-1249, 1998.

KANE, R. P. Prediction of droughts in north-east Brazil: Role of ENSO and use of periodicities. **International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 17, n. 6, p. 655-665, 1997.

KEYANTASH, John; DRACUP, John A. The quantification of drought: an evaluation of drought indices. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 83, n. 8, p. 1167-1180, 2002.

KLOKE, John D. et al. Rfit: rank-based estimation for linear models. **R J.**, v. 4, n. 2, p. 57, 2012.

LÁZARO, Yvonne Magdalena Campos. **Mudança climática no nordeste do Brasil, Amazônia e Bacia do Prata: avaliação dos modelos do IPCC e cenários para o século XXI**. 2011.

LEAL, Inara R. et al. **Changing the course of biodiversity conservation in the Caatinga of northeastern Brazil**. *Conservation Biology*, v. 19, n. 3, p. 701-706, 2005.

LEAL, Inara Roberta; TABARELLI, Marcelo; DA SILVA, José Maria Cardoso. **Ecologia e conservação da Caatinga**. Editora Universitária UFPE, 2003.

- LEAL, R. D. K. et al. Conservação na caatinga: em que pé estamos. In: **Congresso de Ecologia do Brasil**. 2007.
- LEIGH JR, Egbert G. On the relation between the productivity, biomass, diversity, and stability of a community. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 53, n. 4, p. 777, 1965.
- LEITE, José Adelmo Nunes et al. Análise quantitativa da vegetação lenhosa da Caatinga em Teixeira, PB. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 35, n. 82, p. 89-100, 2015.
- LIMA, D. Andrade. The caatinga dominium. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 4, p. 149-163, 1981.
- LUETZELBURG, P. 1923. Estudos botânicos do Nordeste. Rio de Janeiro, **Inspetoria Federal de obras contra as secas**, 3:1.
- MA, Xuanlong et al. Spatial patterns and temporal dynamics in savanna vegetation phenology across the North Australian Tropical Transect. **Remote sensing of Environment**, v. 139, p. 97-115, 2013.
- MACHADO, Debora Rubin. Riqueza e produtividade: resposta a estratégias de manejo em campo nativo. 2015.
- MARENGO, José A. et al. Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. **Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas**, v. 1, 2011.
- MARENGO, JOSE ANTONIO; SOARES, WAGNER RODRIGUES. Impacto das mudanças climáticas no Brasil e possíveis futuros cenários climáticos: síntese do terceiro relatório do IPCC 2001. **Clima e Recursos Hídricos**, p. 209-233, 2003.
- MARENGO, José A. Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. **Ministerio Do Meio Ambiente Secretaria de Biodiversidade EF**, 2006.
- MARENGO, Jose A.; CUNHA, Ana P.; ALVES, Lincoln M. A seca de 2012-15 no semiárido do Nordeste do Brasil no contexto histórico. **Climanálise**, v. 3, n. 1, p. 1-6, 2016.
- MARENGO, Jose A.; VALVERDE, Maria C. Caracterização do clima no Século XX e Cenário de Mudanças de clima para o Brasil no Século XXI usando os modelos do IPCC-AR4. **Revista Multiciência**, v. 8, p. 5-28, 2007.
- MARENGO, José A. et al. Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 90, p. 1973-1985, 2017.
- MARENGO, Jose A.; TORRES, Roger Rodrigues; ALVES, Lincoln Muniz. Drought in Northeast Brazil—past, present, and future. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 129, n. 3, p. 1189-1200, 2017.
- MARTINS, Eduardo Sávio Passos Rodrigues; MAGALHÃES, Antonio Rocha. A seca de 2012-2015 no Nordeste e seus impactos. **Parcerias Estratégicas**, v. 20, n. 41, p. 107-128, 2016.

MEDEIROS, Edna Samara e Silva et al. Predicting plant species richness with satellite images in the largest dry forest nucleus in South America. **Journal of Arid Environments**, v. 166, p. 43-50, 2019.

MCKEE, Thomas B. et al. The relationship of drought frequency and duration to time scales. In: **Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology**. 1993. p. 179-183.

MOLINAS, Pedro Antônio; MELO-LIMA, L. C. T. ESTUDO DE SECAS AGRÍCOLAS NO NORDESTE BRASILEIRO. **XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Belo Horizonte**, 1999.

MORO et al. A catalogue of the vascular plants of the Caatinga Phytogeographical Domain: a synthesis of floristic and phytosociological surveys. **Phytotaxa**, v. 160, n. 1, p. 001-118, 2014.

MORO, Marcelo Freire et al. A phytogeographical metaanalysis of the semiarid Caatinga domain in Brazil. **The Botanical Review**, v. 82, n. 2, p. 91-148, 2016.

MITTELBAACH, Gary G. et al. What is the observed relationship between species richness and productivity?. **Ecology**, v. 82, n. 9, p. 2381-2396, 2001.

MYERS, Norman et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, n. 6772, p. 853-858, 2000.

NAMIAS, Jerome. Influence of northern hemisphere general circulation on drought in northeast Brazil 1. **Tellus**, v. 24, n. 4, p. 336-343, 1972.

NIMER, Edmon. Climatologia da região Nordeste do Brasil. Introdução à climatologia dinâmica. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 34, n. 2, p. 3-51, 1972.

OLIVEIRA, WM de; CHAVES, I. de B.; LIMA, ERV de. Índices espectrais de vegetação de caatinga em um neossolo litólico do semiárido paraibano. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, v. 14, p. 2103-2110, 2009.

PALMER, Wayne C. **Meteorological drought**. US Department of Commerce, Weather Bureau, 1965.

PRADO, Darién E. As Caatingas da América do Sul. **Ecologia e conservação da Caatinga**, v. 2, p. 3-74, 2003.

PEREIRA JÚNIOR, José de Sena. Nova delimitação do semi-árido brasileiro. **Brasília, DF: Biblioteca Digital da Câmara dos Deputados. Centro de Documentação e Informação**, p. 24, 2007.

RAN, Youhua et al. Spatial representativeness and uncertainty of eddy covariance carbon flux measurements for upscaling net ecosystem productivity to the grid scale. **Agricultural and forest meteorology**, v. 230, p. 114-127, 2016.

RIBAS, Carla Rodrigues. Gradiente latitudinal de riqueza de espécies de formigas em cerrado: regra de rapoport e efeitos da produtividade e heterogeneidade. 2006.

RIBEIRO, Eberson Pessoa et al. Estimativa dos índices de vegetação na detecção de mudanças ambientais na bacia hidrográfica do rio Pajeú. **Geosul**, v. 31, n. 62, p. 59-92, 2016.

ROCHA, Carlos Frederico Duarte et al. Riqueza, abundância e biomassa em duas comunidades de serpentes na Floresta Atlântica em sítios com diferenças na produtividade. **Biota Neotropica**, v. 8, p. 117-122, 2008.

RODAL, Maria Jesus Nogueira; MARTINS, Fernando Roberto; SAMPAIO, Everardo Valadares de Sá Barretto. Levantamento quantitativo das plantas lenhosas em trechos de vegetação de caatinga em Pernambuco. **Revista Caatinga**, v. 21, n. 3, p. 192-205, 2008.

RODRIGUES, Valdemar et al. Avaliação do quadro da desertificação no Nordeste do Brasil: diagnóstico e perspectivas. In: **Conferência Internacional sobre Impactos de Variações Climáticas e desenvolvimento Sustentável em Regiões Semi-Aridas. Proceedings...** Fortaleza, Brasil. 1992. p. 2375-2408.

SÁ, I. B. et al. Processos de desertificação no Semiárido brasileiro. **Embrapa Semiárido-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2010.

SALAZAR, Luis F.; NOBRE, Carlos A.; OYAMA, Marcos D. Climate change consequences on the biome distribution in tropical South America. **Geophysical Research Letters**, v. 34, n. 9, 2007.

SALIMON, Cleber; ANDERSON, Liana. How strong is the relationship between rainfall variability and Caatinga productivity? A case study under a changing climate. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 90, n. 2, p. 2121-2127, 2018.

SALVATIERRA, Luis Hernán Acosta et al. Variação espaço-temporal da cobertura de vegetação da Caatinga, usando o índice de vegetação normalizada (NDVI). 2016.

SANDFORD, Stephen. Towards a definition of drought. In: **Proceedings Symposium on Drought in Botswana June 5-8, 1978, Gaborone. Published by the Botswana Society in collaboration with Clark University Press.** p 33-40, 1979. 2 Fig, 1 Tab, 7 Ref. 1979.

SANTOS, David N. dos et al. Estudo de alguns cenários climáticos para o Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 5, p. 492-500, 2010.

SCHUCKNECHT, Anne; MATSCHULLAT, Jörg; ERASMI, Stefan. Spatial and temporal variability of vegetation status in Paraíba, Northeastern Brazil. In: **2012 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium.** IEEE, 2012. p. 32-35.

SEDDON, Alistair WR et al. Sensitivity of global terrestrial ecosystems to climate variability. **Nature**, v. 531, n. 7593, p. 229-232, 2016.

SILVA, JMC da; DINNOUTI, A. Análise de representatividade das unidades de conservação federais de uso indireto na Floresta Atlântica e Campos Sulinos. In: **Conservation International, Workshop Avaliação e Ações Prioritárias para Conservação dos Biomas Floresta Atlântica e Campos Sulinos, Sao Paulo.** <http://www.conservation.org>. 1999.

SILVA, JMC da et al. Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação. **Ministério do Meio Ambiente, Brasília**, 2004.

SOBRINHO, Thomaz Pompeu. **História das secas**. A. Batista Fontenele, 1953.

SOUZA, I. A. et al. Influência do El Niño no comportamento pluviométrico do Estado de Pernambuco durante o ano de 1998. In: **Anais do XI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia e II Reunião Latino-Americana de Agrometeorologia CD ROM, Florianópolis-SC**. 1999.

TABARELLI, M. et al. Análise de representatividade das unidades de conservação de uso direto e indireto na Caatinga. **Relatório do Projeto Avaliação e Ações Prioritárias para a Conservação da biodiversidade da Caatinga, Petrolina, Brasil**, 2000.

TILMAN, David et al. Diversity and productivity in a long-term grassland experiment. **Science**, v. 294, n. 5543, p. 843-845, 2001.

VASCONCELOS SOBRINHO, J. 1941. As regiões naturais de Pernambuco. **Arquivo do instituto de pesquisas agropecuárias**. Recife, pp. 23-25.

VELOSO, Henrique Pimenta; RANGEL-FILHO, Antonio Lourenço Rosa; LIMA, Jorge Carlos Alves. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. Ibge, 1991.

VELLOSO, Agnes L. **Ecorregioes propostos para o bioma da Caatinga**. Instituto de Conservacao Ambiental The Nature Conservancy do Brasil; Recife; associacao Plantas do Nordeste., 2002.

VILLA, Marco Antonio. **Vida e morte no sertão: histórias das secas no Nordeste nos séculos XIX e XX**. Ática, 2000.

WAIDE, R. B. et al. The relationship between productivity and species richness. **Annual review of Ecology and Systematics**, v. 30, n. 1, p. 257-300, 1999.

WAGLE, Pradeep et al. Sensitivity of vegetation indices and gross primary production of tallgrass prairie to severe drought. **Remote Sensing of Environment**, v. 152, p. 1-14, 2014.

WELTZIN, Jake F. et al. Assessing the response of terrestrial ecosystems to potential changes in precipitation. **Bioscience**, v. 53, n. 10, p. 941-952, 2003.

WILHITE, Donald A. **National drought policies: Addressing impacts and societal vulnerability**. 2011.

WILHITE, Donald A.; GLANTZ, Michael H. Understanding: the drought phenomenon: the role of definitions. **Water international**, v. 10, n. 3, p. 111-120, 1985.

WILLIS, Katherine J.; WHITTAKER, Robert J. Species diversity--scale matters. **Science**, v. 295, n. 5558, p. 1245-1248, 2002.

WHITTAKER, Robert J. Meta-analyses and mega-mistakes: calling time on meta-analysis of the species richness--productivity relationship. **Ecology**, v. 91, n. 9, p. 2522-2533, 2010.

ZANELLA, Maria Elisa. Considerações sobre o clima e os recursos hídricos do semiárido nordestino. **Caderno Prudentino de Geografia**, v. 1, n. 36, p. 126-142, 2014.