



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA**

LUIZ EDUARDO DOS SANTOS COSTA

**AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE DESERTIFICAÇÃO NOS MUNICÍPIOS DE
OURO BRANCO E SENADOR RUI PALMEIRA, NO SEMIÁRIDO ALAGOANO, A
PARTIR DE SENSORIAMENTO REMOTO.**

**MACEIÓ-AL
JULHO, 2021.**

LUIZ EDUARDO DOS SANTOS COSTA

AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE DESERTIFICAÇÃO NOS MUNICÍPIOS DE
OURO BRANCO E SENADOR RUI PALMEIRA, NO SEMIÁRIDO ALAGOANO, A
PARTIR DE SENSORIAMENTO REMOTO.

Dissertação apresentada ao Programa
de Pós-Graduação em Meteorologia
do Instituto de Ciências Atmosféricas
da Universidade Federal de Alagoas,
como parte dos requisitos para a
defesa da dissertação.

Orientador: Prof. Dr. Humberto Alves
Barbosa

MACEIÓ-AL
JULHO, 2021

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecário: Marcelino de Carvalho Freitas Neto – CRB-4 – 1767

C837a Costa, Luiz Eduardo dos Santos.
Avaliação do processo de desertificação nos municípios de Ouro Branco e Senador Rui Palmeira, no semiárido alagoano, a partir de sensoriamento remoto / Luiz Eduardo dos Santos Costa. – 2021.
79 f. : il.

Orientador: Humberto Alves Barbosa.
Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Ciências Atmosféricas. Maceió, 2021.

Bibliografia: f. 69-79.

1. Degradação ambiental. 2. Desertificação. 3. Semiárido - Alagoas. 4. Sensoriamento remoto. I. Título.

CDU: 528.8(813.5)

DEDICATÓRIA

A Deus o autor da minha fé. Porque dEle, por ele e para ele são todas as coisas. A minha mãe, minha esposa e ao meu filho, por todo amor e incentivo que me deram durante essa etapa da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente ao Deus todo poderoso autor da minha fé e que me deu o fôlego de vida e a oportunidade de viver esse momento.

Ao bom Jesus, Amigo fiel de todas as horas, que me deu certeza que sempre estaria presente e que com Ele eu sou mais que vencedor.

Aos meus pais, que foram escolhidos por Deus para que eu pudesse vim ao mundo. Em especial a minha mãe que por diversas vezes, abriu mão de algo para que eu pudesse realizar esse sonho.

Aos meus avós paternos (Seu Agenor e Dona Marlene), que me criaram com muito amor e cuidados, me dando conselhos e repreensão quando necessário, os quais foram de grande importância para forjar meu caráter pessoal e profissional. Externos os agradecimentos as minhas tias por parte de pai, que também foram muito importantes nessa fase da minha vida, e a elas sou muito grato.

A minha esposa por seu imenso amor, paciência e incentivos, que foram de fundamental importância nesta fase, e sem a qual teria sido muito mais difícil o êxito.

Ao meu filho que mesmo com toda sua inocência, conseguia me desestressar e me motivar na caminhada.

A minha irmã Polianna Karla, meu cunhado Cláudio Vilemon e os meus sobrinhos (Claudio Eduardo e Claudio Vinicius). Em especial minha irmã, por alterar sua rotina pra me ajudar cuidando do meu filho com muito amor e dedicação.

Ao meu orientador Humberto Alves Barbosa, pelas oportunidades proporcionadas ao longo da minha formação acadêmica, e pela confiança no meu potencial como aluno.

Ao meu amigo irmão Leandro Rodrigo Macedo da Silva, por diversas vezes dispor do seu tempo pra me ajudar, que foi de fundamental importância neste trabalho e na minha formação acadêmica.

Aos amigos do Laboratório de Análise e Processamento de Imagens de Satélites (LAPIS), amigadas essas que vão além das quatro paredes do laboratório e ficaram pra vida toda. A eles que contribuíram para meu crescimento profissional e ainda pessoal. A Edson M. dos Santos, Tatiana V. dos Santos, Anselmo M. dos Santos, Cláudia R. F. dos Santos, João V. I. dos Santos, Pessoas Muito importantes nesta caminhada.

Aos membros da banca examinadora (Qualificação e defesa final), que com suas críticas e sugestões contribuíram grandemente para melhorar a qualidade do meu trabalho.

Aos meus sogros José Valmir e Maria Denilma, pois sempre que precisei se dispuseram a me ajudar ao longo dessa caminhada.

A todos os familiares, amigos de longas datas e aqueles que fiz ao logo da vida acadêmica, que de alguma forma me ajudara ao êxito nesta caminhada e não poderia esquecê-los.

A todos os professores que me acompanharam na vida acadêmica e contribuíram imensamente no meu progresso no curso de Meteorologia.

A todos os funcionários do ICAT (Em especial a Rafael Araújo e Bruna Queiroz), que cuidam para nos proporcionar um melhor ambiente de ensino.

A todos meus agradecimentos!!!

EPIÍGRAFE

“Porque em esperança fomos salvos. Ora a esperança que se vê não é esperança;
porque o que alguém vê como o esperará?

Mas, se esperamos o que não vemos, com paciência o esperamos.

E da mesma maneira também o Espírito ajuda as nossas fraquezas; porque não sabemos o que havemos de pedir como convém, mas o mesmo Espírito intercede por nós com gemidos inexprimíveis.

E aquele que examina os corações sabe qual é a intenção do Espírito; e é ele que segundo Deus intercede pelos santos.

E sabemos que todas as coisas cooperam para o bem daqueles que amam a Deus, daqueles que são chamados segundo o seu propósito.

Porque os que dantes conheceu também os predestinou para serem conformes à imagem de seu Filho, a fim de que ele seja o primogênito entre muitos irmãos. E aos que predestinou a estes também chamou; e aos que chamou a estes também justificou; e aos que justificou a estes também glorificou.

Que diremos, pois, a estas coisas? Se Deus é por nós, quem será contra nós?”

Romanos 8:24-31

"A ciência humana de maneira nenhuma nega a existência de Deus. Quando considero quantas e quão maravilhosas coisas o homem compreende, pesquisa e consegue realizar, então reconheço claramente que o espírito humano é obra de Deus, e a mais notável."

Galileu Galilei

RESUMO

A maioria dos problemas relacionados a degradação ambiental da região semiárida, são provenientes das características próprias da região e a forma errada que é feita o uso do solo, desrespeitando seus limites favoráveis de produção de biomassa, e assim tornando a mesma vulnerável. Portanto, é de grande importância realizar uma verificação no bioma do semiárido alagoano, nos municípios Ouro Branco - AL e Senador Rui Palmeira - AL, para ter uma noção da magnitude da degradação da Caatinga, em virtude das influências das características do próprio ambiente como também das ações antrópicas. Neste trabalho, foram utilizadas técnicas de sensoriamento remoto para a identificação, avaliação e classificação das áreas degradadas suscetíveis a desertificação nos municípios analisados. O presente estudo teve por objetivo geral, identificar áreas suscetíveis a desertificação dos municípios Ouro Branco - AL e Senador Rui Palmeira - AL, no período de 2007 a 2020 a fim de avaliar e classificar os níveis de degradação por meio de sensoriamento remoto. Na metodologia foram utilizados os produtos precipitação, índices de vegetação, umidade do solo e uso e cobertura do solo. Os produtos de precipitação, vegetação e umidade do solo, foram usadas as médias interanuais, geradas através de médias mensais. Já para o produto de uso e cobertura do solo, foi utilizado o dado de referência do ano 2018. Cada produto foi utilizado em uma ou mais etapas, para fazer a identificação, avaliação e classificação das áreas degradadas suscetíveis a desertificação dos municípios analisados. Os resultados obtidos no decorrer do estudo, mostram que os as regiões que se encontram com áreas degradadas, apresentam valores do índice de vegetação variando entre 0,0 e 0,4 e valores médios anuais de precipitação entre 30 mm e 40 mm. Também foi possível perceber que a resposta do produto de umidade do solo, pode ter comportamentos diferentes de acordo com o regime de precipitação ou as próprias características do solo. O produto do uso e cobertura do solo, a partir de sua própria classificação, possibilitou ver que os solos da região estudada sofreram alterações nos seus tipos de solo, onde as principais modificação observadas foram: de vegetação natural para solo cultivado ou solo agrícola. Contudo concluo que a metodologia adotada no trabalho foi válida, pois através do método utilizado, foi possível identificar, avaliar e classificar as áreas, com os diferentes níveis de degradação (muito fraca, fraca, moderada, forte e muito forte). Após a classificação das áreas, os dados obtidos foram expressos em porcentagem. E dentre as classificações propostas nos objetivos, não foram encontradas nenhuma região que atendesse a classe de degradação muito fraca, ficando a mesma com valor de 0,0%. Também observou, que a classe de degradação muito forte destaca-se apenas na região do município Senador Rui Palmeira, com valor percentual de 11,1% e 5,6% da área total da análise e as demais classes, foram atendidas em ambos os municípios.

Palavras Chaves: Degradação ambiental, Desertificação, Semiárido alagoano, Sensoriamento remoto.

ABSTRACT

Most of the problems related to environmental degradation in the semiarid region stem from the region's own characteristics and the wrong way in which the land is used, disrespecting its favorable limits for biomass production, and thus making it vulnerable. Therefore, it is very important to carry out a verification of the semi-arid biome of Alagoas, in the municipalities Ouro Branco - AL and Senador Rui Palmeira - AL, to get a sense of the magnitude of the Caatinga degradation, due to the influences of the characteristics of the environment as well as of anthropic actions. In this work, remote sensing techniques were used for the identification, evaluation and classification of degraded areas susceptible to desertification in the analyzed municipalities. This study aimed to identify areas susceptible to desertification in the municipalities of Ouro Branco - AL and Senador Rui Palmeira - AL, from 2007 to 2020, in order to assess and classify the levels of degradation through remote sensing. In the methodology, precipitation, vegetation indices, soil moisture and land use and cover were used. The products of precipitation, vegetation and soil moisture were used as interannual averages, generated through monthly averages. As for the land use and land cover product, the reference data for the year 2018 was used. Each product was used in one or more stages to identify, assess and classify degraded areas susceptible to desertification in the analyzed municipalities. The results obtained during the study show that the regions with degraded areas have vegetation index values ranging between 0.0 and 0.4 and average annual precipitation values between 30 mm and 40 mm. It was also possible to notice that the response of the soil moisture product can have different behaviors according to the precipitation regime or the soil characteristics. The product of land use and land cover, from its own classification, made it possible to see that the soils of the studied region underwent changes in their soil types, where the main changes observed were: from natural vegetation to cultivated soil or agricultural soil. However, I conclude that the methodology adopted in the work was valid, because through the method used, it was possible to identify, evaluate and classify the areas, with different levels of degradation (very weak, weak, moderate, strong and very strong). After the classification of the areas, the data obtained were expressed in percentage. And among the classifications proposed in the objectives, no region was found that met the very weak degradation class, with a value of 0.0%. He also noted that the very strong degradation class stands out only in the region of the municipality Senador Rui Palmeira, with a percentage of 11.1% and 5.6% of the total area of analysis and the other classes were met in both counties.

Keywords: Environmental degradation, Desertification, Alagoas semiarid, Remote sensing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema do Sensoriamento Remoto	16
Figura 2 - Vegetação do semiárido	19
Figura 3 - Cobertura vegetal, conforme o período sazonal do SAB.	20
Figura 4 - Reflectância da luz solar.	22
Figura 5 - Ano de lançamento, operação e termino da missão de cada. satélite.	23
Figura 6 - Satélite MSG 1.	25
Figura 7- Sensor SEVIRI.	26
Figura 8 - Representação da área de disponibilidade do FVC.	27
Figura 9 - Umidade do solo do semiárido Brasileiro.	28
Figura 10 - Média interanual da precipitação.	30
Figura 11 - Mapa da cobertura da terra em escala global.	31
Figura 12 - Mudanças detectadas pelos pixels.	32
Figura 13 - Área de estudo.	33
Figura 14 - Interface gráfica do software R Studio.	36
Figura 15 - Tela principal e compositor do Qgis.	37
Figura 16 - Fluxograma metodológico.	38
Figura 17 - Média interanual do FVC, dos municípios Ouro Branco-AL e.	44
Figura 18 - Média da precipitação interanual dos municípios Ouro Branco	45
Figura 19 - Uso e cobertura do solo dos municípios Ouro Branco-AL e	47
Figura 20 - Média interanual da umidade do solo, dos municípios Ouro Branco-AL e Senador Rui Palmeiras-AL (2010 a 2020).	48
Figura 21 - Relação do FVC com precipitação e umidade do solo, comparando com as características do uso e cobertura do solo.	50
Figura 22 - Gráfico da relação entre os produtos de FVC, precipitação e umidade do solo no ponto 1.	52
Figura 23 - Gráfico da relação entre os produtos de FVC, precipitação e umidade do solo no ponto 2.	53
Figura 24 - Gráfico da relação entre os produtos de FVC, precipitação e umidade do solo no ponto 3.	54
Figura 25 - Gráfico da relação entre os produtos de FVC, precipitação e umidade do solo no ponto 4.	55

Figura 26 - Distribuição espaço-temporal do NDVI do mês de março de 2011 a 2016.	57
Figura 27 - Distribuição espaço-temporal da média interanual do IVDN do período de 2011 a 2016.	58
Figura 28 - Divisão dos setores para classificar as áreas degradadas	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Histórico da variação do número de municípios do semiárido brasileiro..	10
Tabela 2 - Histórico dos eventos que influenciaram a evolução do sensoriamento remoto.	17
Tabela 3 - Algumas especificações técnicas da plataforma MSG.....	24
Tabela 4 - Classes de degradação e a correspondência com os respectivos valores de reflectância do FVC.....	42
Tabela 5 - Valores predominantes, máximos e mínimos dos pixels encontrados dentro dos limites de cada município.	43
Tabela 6 - Número de municípios com decreto de emergência em Alagoas em 2011 e no período da seca de 2012 a 2017.....	56
Tabela 7 - Variação da produção do feijão e do milho, em 2011 e nos anos de seca do período de 2012 a 2017 em Ouro Branco – AL.....	60
Tabela 8 - Variação da produção do feijão e do milho, em 2011 e nos anos de seca do período de 2012 a 2017 em Senador Rui Palmeiras – AL.	60
Tabela 9 - Análise e classificação das áreas degradadas.....	62
Tabela 10 - Tabela da porcentagem das classificações dos setores dos municípios analisados.	65

LISTA DE SIGLAS

CCI-LC	Climate Change Initiative Land Cover
CHG	Climate Hazards Group
CHIRPS	Climate Hazard InfraRed Precipitation
EROS	Earth Resources Observation and Science
ESA	European Satellite Agency
ESOC	European Space Operations Center
EUMETSAT	European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites
FVC	Fraction Vegetation Coverage
FCFNE	Fundo Constitucional de Financiamento do Nordeste
IVPCC	Intergo Vermental Panelon Climate Change
LAPIS	Laboratório de Análise e Processamento de Imagens de Satélite
MSG	Meteosat Second Generation
NASA	National Aeronautics and Space Administration
UNCCD	Nations Convention To Combat Desertification
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
IVDN	Índice de Vegetação Por Diferença Normalizada
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
SEVIRI	Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SMOS	Soil Moisture Ocean Salinity
SPI	Standardized Precipitation Index
USGS	United State Geological Survey
USAID	U.S. Agency for International Development
IVPCC	Intergo Vermental Panelo Climate Change

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
2.1 Geral	3
2.2 Específicos	3
3. REVISÃO DE LITERATURA	4
3.1 Histórico	4
3.2 Desertificação	4
3.2.1 Definições:	4
3.2.2 Problemática da desertificação	5
3.2.3 Principais causas da desertificação e seus fatores diretos e indiretos.	6
3.2.4 Manejo inadequado da terra	6
3.2.5 Processo de desmatamento	7
3.2.6 Mau uso da irrigação	7
3.2.7 Processo de queimadas	7
3.2.8 Efeito das secas	8
3.2.9 Efeito da pecuária no processo de desertificação	8
3.2.10 Principais consequências da desertificação	9
3.2.11 Delimitação das áreas susceptíveis ao processo de desertificação no Brasil	9
3.2.12 Política Nacional de Combate à Desertificação	11
3.2.13 Estudos iniciais acerca da desertificação	11
3.3 Degradação	12
3.3.1 Conceitos de Degradação	12
3.3.2 O que pode influenciar a degradação?	12
3.3.3 Principais consequências da degradação	13
3.4 Sensoriamento remoto	13
3.4.1 Definição	13
3.4.2 Origem e evolução do sensoriamento remoto	15
3.4.3 Sensoriamento remoto no Brasil	18
3.4.4 Informações obtidas a partir do sensoriamento remoto	18
3.5 Vegetação	19
3.6 Índices de Vegetação	21
3.7 Satélites METEOSAT	22
3.7.1 Plataforma MSG	23

3.7.2 Sensor SEVIRI.....	25
3.8 Fração de Cobertura Vegetal - FVC (SEVIRI)	26
3.9 Umidade do solo (SMOS)	28
3.10 Climate Hazard InfraRed Precipitation – CHIRPS.....	29
3.11 Dados de Uso e Cobertura do Solo	30
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	33
4.1 Área de estudo.....	33
4.2 Dados Utilizados.	34
4.2.1 Fração de Cobertura Vegetal – FVC.....	34
4.2.2 Umidade do solo.....	35
4.2.3 Climate Hazard InfraRed Precipitation – CHIRPS.	35
4.2.4 Dados de uso e cobertura de solo (CCI-LC).....	35
4.3 Software utilizados.....	36
4.3.1 Software estatístico "R".	36
4.3.2 Software Qgis.	37
4.4 Métodos	38
4.4.1 Serie de dados da vegetação	39
4.4.2 Serie de dados da precipitação	39
4.4.3 Serie de dados de umidade do solo (SMOS).....	40
4.4.4 Produto de uso e cobertura de solo (CCI-LC).....	40
4.4.5 Identificação e avaliação das áreas degradadas suscetíveis à desertificação	
4.4.6 Classificação das áreas degradadas suscetíveis à desertificação.....	41
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	43
5.1 Análise da vegetação.....	43
5.2 Análise da precipitação	44
5.3 Análise do uso e cobertura do solo	46
5.4 Análise da umidade do solo	47
5.5 Identificação e avaliação das áreas degradadas suscetíveis à desertificação.	48
5.6 Impactos da seca de 2011 a 2017 nos municípios Ouro Branco – AL e Senador Rui Palmeira -AL	55
5.7 Classificação dos níveis de degradação	61
6. CONCLUSÕES	67
7. REFERÊNCIAS.....	69

1. INTRODUÇÃO

A remoção parcial ou total da vegetação em áreas da Caatinga resulta na redução do estoque da produção de biomassa vegetal e na diminuição da cobertura dos solos do semiárido, fatores esses que junto com as características predominantes de solos rasos e pedregosos, podem levar ao aumento na degradação do bioma (COSTA et al., 2009).

De acordo com Santana et al. (2004), a Caatinga é o único bioma tipicamente brasileiro, abrangendo uma área aproximada de 800 mil km², incluindo todos os estados nordestinos, além do norte do estado de Minas Gerais.

Os estudos na região Nordeste do país são imprescindíveis, principalmente neste bioma pois é um dos mais ameaçados devido ao uso inadequado e insustentável dos recursos naturais. O autor ressalta que a Caatinga é um dos biomas brasileiros, mais alterados pelas atividades antrópicas nos últimos séculos (ALMEIDA et al., 2009).

Nos últimos anos o Sensoriamento Remoto (SR) tem assumido grande importância no monitoramento de diversos fenômenos meteorológicos e ambientais, oferecendo suporte nas previsões do tempo e melhor entendimento das mudanças climáticas, além de auxiliar no planejamento agro ecológico (BEZERRA et al., 2011).

Técnicas de sensoriamento remoto têm sido utilizadas em estudos temporais de análise das mudanças do uso e cobertura do solo Gómez et al., (2011), como consequência tem se tornado uma ferramenta poderosa para a obtenção de informações necessárias ao manejo, gerenciamento e gestão de recursos naturais (CUNHA et al., 2012). O Laboratório de Análise e Processamento de Imagens de Satélite-LAPIS, desde 2007 vem utilizando algumas técnicas de sensoriamento remoto em suas pesquisas, e tem sido de grande relevância a sua contribuição para comunidade científica nacional e internacional. O LAPIS também tem um papel muito importante auxiliado alguns órgãos competentes em seus planejamentos, facilitando suas tomadas de decisões.

De acordo com Amiri et al., (2009) alguns pesquisadores mostram em seus estudos, que existem diversos sensores remotos com resoluções espaciais, temporais e espectrais diferentes. O aparecimento de novos sensores gera expectativa de que os novos dados possibilitem uma melhor compreensão da evolução dos processos de

desertificação e também propiciem informações valiosas (ACCIOLY et al., 2002). E nas utilizações desses sensores, o principal interesse é compreender as mudanças ocorridas na paisagem ao longo do tempo.

Recentemente no estudo de Costa et al., (2020), foi possível observar que no semiárido alagoano, existem dois municípios (Ouro Branco e Senador Rui Palmeira), que mesmo depois do período chuvoso os mesmos mostram dificuldade para restabelecer o vigor da vegetação de suas áreas. Com isso, despertou-se o interesse em fazer uma investigação mais detalhada dessas áreas, para ter uma melhor compressão, se o que acontece é exclusivamente devido ao processo natural do clima, ou se além do das características do ambiente, também tem influencias antrópicas.

A motivação deste trabalho é a importância de contribuir para um levantamento atualizado do estágio de degradação ambiental, auxiliando na mitigação dos danos causados pelo clima e ação antrópica, trazendo benefícios socioambientais, nas áreas suscetíveis à desertificação dos municípios Ouro Branco-AL e Senador Rui Palmeiras-AL. Vale ressaltar que o interesse por essa área, foi o fato de no estudo de Costa et al., (2020), ter ficado evidente que ao logo do período da pesquisa, a resposta da vegetação desses municípios, tiveram baixos valores em seus índices mesmo após os períodos chuvosos.

2. OBJETIVOS

2.1 Geral

IDENTIFICAR as áreas suscetíveis a desertificação dos municípios Ouro Branco - AL e Senador Rui Palmeiras - AL, no período de 2007 a 2020, a fim de avaliar e classificar os níveis de degradação por meio de sensoriamento remoto.

2.2 Específicos

VERIFICAR a partir da precipitação, os impactos da seca de 2011 a 2017 no processo de desertificação, nos municípios estudados.

RELACIONAR a Precipitação, FVC e Umidade do solo com as características detalhada do uso e cobertura do solo dos municípios analisados.

AVALIAR E CLASSIFICAR a partir das análises dos produtos, os níveis de degradação dos municípios como sendo: muito fraco, fraco, moderado, forte ou muito forte, de acordo com valores já encontrados na literatura.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Histórico

Segundo Silva (2012), a desertificação começa a ter atenção na década de 1930, a partir de um fenômeno no meio do oeste americano conhecido como Dust Bowl. Neste o corrido, uma intensa degradação dos solos afetou uma área de cerca de 380.000 km². A partir de uma série de pesquisas, a comunidade científica caracterizou este processo, dando-lhe o nome de desertificação.

De acordo com Souza (2006), na década de 1970, aconteceu uma grande seca na região do Sahel, localizada abaixo do deserto do Saara, onde morreram de fome mais de 500.000 pessoas. Este acontecimento, fez com que a comunidade internacional reconhecesse os impactos econômicos, sociais e ambientais do problema, estabelecendo um programa mundial de ação para combatê-lo. A partir deste ocorrido, pesquisadores do mundo inteiro, voltaram sua atenção para os fenômenos que ocorrem nas regiões semiáridas, sujeitas a secas periódicas.

Os debates sobre a desertificação no Brasil aludem a década de 1970. E de acordo com Pereira (2012) e Marin (2018), o trabalho núcleos de desertificação no polígono das secas publicada pelo ecólogo João Vasconcelos Sobrinho (1971), é considerado o pioneiro nos estudos sobre a desertificação no Semiárido Brasileiro. Em 1971, Vasconcelos sobrinho publicou a monografia Núcleos de Desertificação no Polígono das Secas, onde apresentou as primeiras ideias sobre os Núcleos de Desertificação. Com isso, iniciaram estudos para monitorar a desertificação em terras brasileiras, que tiveram um caráter pontual e de elucidar lacunas referentes ao processo.

3.2 Desertificação

3.2.1 Definições:

Inúmeros pesquisadores discutem o conceito de desertificação, mas conforme a concepção adotada pela United Nations Convention to Combat Desertification - UNCCD, que foi recepcionado pela Lei nº 13.153, de 30 de julho de 2015. A desertificação é definida como a degradação da terra em zonas áridas, semiáridas e subúmidas secas, resultante de vários fatores, incluindo as variações climáticas e atividades humanas. (UNCCD, 2015).

De acordo com Vasconcelos Sobrinho (1978), a desertificação é um processo de fragilidade dos ecossistemas das terras secas em geral, decorrentes da pressão excessiva das populações humanas, perdem a produtividade e a capacidade de se recuperarem.

Segundo Brasil escola (2020), desertificação é o processo de degradação dos solos pela seca excessiva (Devido aos processos naturais e ações antrópicas) e rápida perda de nutrientes, gerando uma paisagem semelhante à dos desertos. Esse processo ocorre em regiões de clima árido, semiárido e sub úmido seco, onde o processo de evaporação é maior do que a precipitação.

Para Pena (2020), existem causas naturais e humanas relacionadas com o processo de desertificação, que por sua vez, só costuma ocorrer em áreas onde já existe um risco previamente estabelecido. Entre eles estão: manejo inadequado dos solos pelas práticas agropecuárias, desmatamento, exploração em larga escala de ecossistemas frágeis, uso inadequado de agrotóxicos, secas muito prolongadas, queimadas, irrigação ineficiente entre outros.

IICA (2007), enfatiza que o processo de desertificação abrange uma grande área em todo o globo, porém afeta de forma mais intensa os países subdesenvolvidos. A Organização das Nações Unidas, desde os anos 1990, vem promovendo formas de auxílio e combate ao alastramento do número de áreas desertificadas, no entanto a questão só passou a receber maior atenção política por parte da comunidade internacional, quando esse problema atingiu regiões dos Estados Unidos, notadamente os estados de Oklahoma, Kansas, Novo México e Colorado.

Segundo Matallo Junior (2001), o processo de desertificação nas regiões secas é resultado da imposição dos processos de produção em larga escala que contribui para acelerar a degradação ambiental. Ele ressalta, que os sinais de degradação podem ser evidentes quantitativamente em vários indicadores, porém não fornecem resultados consistentes com as observações, e o indicador mais aceito é a baixa cobertura vegetal como um sinalizador do início do processo de degradação.

3.2.2 Problemática da desertificação

De acordo com Brasil (2005), a problemática da desertificação interfere em escala de dimensões globais, que afeta as regiões de clima árido, semiárido e

subúmido seco da Terra, resultante de vários fatores que envolvem variações climáticas e atividades humanas.

Segundo Soares (2011), a desertificação é um infortúnio presente em diversos países, afetando boa parte da população mundial. E que por esse motivo tornou-se, tema de discussões na Organização das Nações Unidas-ONU, requisitando mais estudos acerca da degradação do ambiente.

Conforme Albuquerque (2020), a desertificação é um problema de ordem ambiental com repercussões sociais e econômicas. E esse problema é de interesse, nas discussões nos âmbitos científico, acadêmico e institucional, tanto no entendimento conceitual quanto na compreensão das suas causas e consequências, com vistas a ações de mitigação.

3.2.3 Principais causas da desertificação e seus fatores diretos e indiretos.

A desertificação é causada por uma combinação de fatores que mudam ao longo do tempo e variam conforme a localidade. Estes incluem fatores indiretos, tais como a pressão da população, fatores socioeconômicos e políticos, e do comércio internacional, bem como fatores diretos (manejo inadequado da terra, desmatamento, mau uso da irrigação, queimadas, efeito das secas), que são padrões de uso da terra, práticas e processos relacionados com o clima (SÁ et al., 2008).

De acordo com Sá (2007), dentre as principais causas climáticas que estão relacionadas com a desertificação, é válido citar as recorrentes e prolongadas secas, que afetam a região e agravam as consequências derivadas da ação humana.

3.2.4 Manejo inadequado da terra

Segundo MEA (1995), ao longo da história os meios de subsistência nas terras secas eram alicerçados em uma mistura de caça, coleta, corte de plantas e criação de animais. Ouve uma diversificação de mistura em composição com o tempo, lugar e cultura. O autor explica que a combinação do clima severo e imprevisível com as mudanças dos fatores socioeconômicos e políticos forçaram os habitantes das terras secas a serem flexíveis no uso da terra. No entanto a pressão da população levou a uma crescente preocupação entre os dois principais usos da terra: cultivo e pastoreio. Como os pastores e os agricultores alegam acesso e uso da mesma terra, em algumas áreas isso levou a conflitos interculturais e a desertificação.

3.2.5 Processo de desmatamento

O desflorestamento ou desmatamento é o processo de destruição das massas florestais, de origem antrópicas. De acordo com Tembe (2012), o desmatamento ocorre geralmente para exploração de madeira, obtenção de solo para cultivos agrícolas ou pastagem para o gado. A erosão acelerada causada pelo desmatamento e degradação do solo tornou-se o principal fator limitante da utilização sustentável dos recursos do solo. Conforme Silva (2018), o desmatamento de florestas para fins agrícolas ou pastagens, reduzem os valores encontrados do FVC.

3.2.6 Mau uso da irrigação

Conforme Lorensi et al. (2010), a técnica de irrigação utilizada na agricultura e tem por finalidade o fornecimento controlado de água para as plantas em quantidade suficiente, no momento certo, assegurando a produtividade e a sobrevivência da planta. O mesmo acrescenta que a precipitação natural e em alguns casos enriquece o solo com a deposição de elementos fertilizantes.

No entanto Felício et al. (2009), explana quanto ao mau uso da irrigação que pode ser favorecedor a desertificação de dois modos: O primeiro a irrigação ineficiente desperdiça água que pode reduzir a vegetação e aumentar a erosão de terra. No segundo o excesso de irrigação pode inundar a terra, ou conduzir a um aumento de salinidade, fazendo terras incapazes de apoiar o crescimento de plantas.

3.2.7 Processo de queimadas

Segundo a Revista da madeira (2005), a queimada é uma prática que já vem sendo feita há muitos anos, ela é agropastoril ou florestal através da utilização do fogo de forma controlada para possibilitar a agricultura ou renovar as pastagens. A queimada deve ser feita sob condições ambientais, em que o fogo se mantenha confinado à área que será utilizada para a agricultura ou pecuária.

De acordo com Sousa (2013), o impacto das queimadas é um assunto preocupante, pois está relacionado a fertilidade dos solos, a devastação da biodiversidade, a fragilização dos agros ecossistemas, a produção de gases nocivos à saúde humana e a qualidade do ar.

Conforme Ferreira (2011), a queimada associada ao desmatamento, facilita para extinção da vegetação nativa do solo, contribuindo para o surgimento de terrenos arenosos, muitas vezes erodidos, impermeáveis à absorção de água e de capacidade produtiva completamente esgotada.

3.2.8 Efeito das secas

Terras secas são territórios onde a entrada de água (precipitação) é menor que a saída potencial de água (evaporação e consumo pelo crescimento das plantas) durante parte ou por todo o ano, esta carência é a medida de aridez. De acordo com Araújo (2014), a desertificação faz parte de um processo cíclico, onde as condições ambientais naturais, que propiciam a ocorrência das secas, impactam consideravelmente na redução da produção e da produtividade das lavouras.

Portanto, a desertificação e as secas constituem fenômenos naturais associados, cujos efeitos são potencializados pela ação do homem e a degradação ambiental alcança o seu ápice com a desertificação (BRASIL, 2005).

Segundo Dregne (1986), um equívoco comum é que as secas são responsáveis pela desertificação. Ele explica que as secas podem contribuir para aceleração da degradação, a partir do uso de práticas abusivas no período da estiagem. No entanto, a partir de uma boa gestão do solo, o mesmo irá se recuperar bem no período chuvoso. Os impactos das secas são, portanto, amplificados nos solos degradados por exploração abusiva.

3.2.9 Efeito da pecuária no processo de desertificação

De acordo com CGEE (2016), a pecuária tem provocado uma série de danos ambientais no meio rural das áreas degradadas, desertificadas e de maior incidência de secas no Brasil, sendo considerada um dos principais fatores de desertificação, pois causa a compactação do solo.

Segundo Roxo (2006), a compactação do solo é resultado de uma pressão mecânica (no caso, o pisoteio dos animais) que reduz os espaços vazios entre as partículas de solo, destruindo a sua estrutura, dificultando a penetração das raízes, a capacidade de armazenamento de água, o arejamento, a fertilidade, a atividade biológica e a estabilidade dos agregados.

Mas conforme Duarte (2009), apesar de seus impactos ambientais, é de grande importância socioeconômica a pecuária. O setor é apontado como importante fonte de renda e de alimento para a população rural. Assim como a propriedade, os animais são considerados um patrimônio da família.

Ceará (2010), explica que as áreas Suscetíveis à Desertificação, tem importância significativa na criação brasileira de caprinos e ovinos e concentra 87,5% e 53,9% do rebanho nacional, respectivamente. E o autor enfatiza que dentre os rebanhos explorados na região, esses animais são considerados os mais resistentes e adaptados às condições ambientais e climáticas locais.

CGEE (2016) ressalta que as plantas da Caatinga é principal fonte de alimentação dos animais. Porém é preocupante, pois seus hábitos alimentares ameaçam a reprodução das espécies nativas, uma vez que consistem especialmente na ingestão de brotos germinativos.

3.2.10 Principais consequências da desertificação

Para Pena (2020), entre as principais consequências da desertificação, encontram-se fatores naturais, sociais e econômicos, tais como: redução e escassez total de recursos hídricos; perda de áreas agricultáveis, salinização alcalinização e infertilidade dos solos; aumento dos índices de erosão; eliminação da cobertura vegetal; aumento dos índices de pobreza na região afetada; entre outros problemas. Devido à falta de estratégias alternativas de sobrevivência, os agricultores utilizam os recursos naturais de maneira intensiva.

Segundo Drumond et al., (2004), os nutrientes e a matéria orgânica do solo diminuem devido à agricultura praticada, que extrai elementos nutritivos em quantidades superiores à capacidade de regeneração natural do solo, evitando sua reconstituição. O resultado é um efeito cumulativo da degradação do ambiente e da pobreza, causas principais da desertificação

3.2.11 Delimitação das áreas susceptíveis ao processo de desertificação no Brasil.

De acordo com Buriti e Barbosa (2018), a região semiárida brasileira foi instituída, preliminarmente, pela Lei Federal nº 7.827, de 27 de setembro de 1989. A partir deste momento, a Sudene passou a ser responsável em atualização da relação dos municípios que compõem o Semiárido brasileiro, para efeito do investimento dos

recursos do Fundo Constitucional de Financiamento do Nordeste – FCFNE. O autor explica que a partir desse momento, uma nova área de atuação foi definida por meio da portaria nº 1.182/99, estabelecendo que no total 1.031 municípios passariam a integrar a região semiárida. E a Tabela 1, mostra uma comparação histórica, do número de municípios que integram a região semiárida brasileira, em diferentes períodos, de acordo com as agências governamentais responsáveis.

Tabela 1 - Histórico da variação do número de municípios do semiárido brasileiro.

Estado	Número de municípios					
	Polígono das Secas	Área da Sudene	Semiárido Do FNE	Portaria Interministerial	INSA	Novo Semiárido
AL	51	101	35	38	38	38
BA	256	415	257	265	266	278
CE	180	184	134	150	150	175
MA	-	217	-	-	-	2
MG	86	165	40	85	85	91
PB	223	223	170	170	170	194
PE	145	185	118	122	122	123
PI	216	221	109	127	128	185
RN	161	166	140	147	147	147
SE	32	75	28	29	29	29
ES	-	77	-	-	-	-
Total	1350	2029	1031	1133	1135	1262

Fonte: Fonte: Buriti e Barbosa, (2018)

Segundo Santana (2007), o Atlas das áreas susceptíveis à desertificação do Brasil, abrangem o trópico semiárido, subúmido seco e suas áreas de entorno, ocupando cerca de 1.340.000 km², incluindo partes dos Estados dos 9 estados do nordeste e regiões de Minas gerais, atingindo diretamente 30 milhões de pessoas.

De acordo com o autor, do total das áreas, atualmente 180.000 km² já encontram-se em processo grave e muito grave de desertificação. As regiões de entorno das áreas suscetíveis a desertificação-ASD foram incluídas, mesmo não apresentando o mesmo padrão climático enquadrado na definição adotada. A razão é o fato delas conterem características físicas e limitações naturais idênticas às áreas e subúmidas secas. E esses critérios dizem respeito à incidência de secas, presença do Bioma Caatinga e serem enquadradas pela Lei nº 9.690 de 15.07.1998, como áreas de atuação da SUDENE.

No Brasil, áreas susceptíveis ao processo de desertificação, são delimitadas por um critério climático, em conformidade com as orientações da United Nations Convention To Combat Desertification - UNCCD. Áreas que possuam clima semiárido (300-800 mm/ano); subúmido seco (800-1000 mm/ano), com índice de aridez entre 0,20 e 0,65. Também serão consideradas as áreas que não se enquadrem nesses critérios, mas que estão sujeitas aos mesmos níveis elevados de degradação ambiental. (BRASIL, 2007).

De acordo com Sá (2007), na definição destes climas, foi utilizado o índice de Aridez, por que traduz a razão entre a precipitação e a evapotranspiração potencial. Este índice foi utilizado para o estabelecimento das áreas de risco e para a elaboração do Atlas Mundial da Desertificação, publicado pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente - PNUMA, no ano de 1997 tendo o mesmo sido atualizado no ano de 2014, que serve como parâmetro em todo o mundo.

3.2.12 Política Nacional de Combate à Desertificação

De acordo com Cavalcante (2015), foi aprovada a Lei nº 13.153, de 2015, que institui a política nacional de combate à desertificação e mitigação dos efeitos da seca. E em cumprimento às determinações da convenção das nações unidas de combate à desertificação e mitigação dos efeitos da seca, essa lei prevê diversas medidas aplicáveis ao semiárido Nordeste, mas também tem abrangência nacional.

3.2.13 Estudos iniciais acerca da desertificação

De acordo com Vasconcelos Sobrinho (1978), o autor ao estudar as áreas suscetíveis à desertificação (ASD), o mesmo escolheu empiricamente áreas pilotos, onde já existiam intensos processos de degradação do solo e da cobertura vegetal no Nordeste brasileiro, subordinada a "um equilíbrio ecológico instável devido ao regime pluviométrico de baixo índice de precipitações e extrema irregularidade dos solos rasos, com limitada capacidade de retenção de água, amplo fotoperiodismo e ventos secos e quentes com forte poder de desidratação".

O ecólogo Vasconcelos Sobrinho, fez a relação dos indicadores a serem considerados na desertificação (físicos, biológicos, sociais, uso da terra e processos sociais), o pesquisador estabeleceu ainda, o conceito de áreas-parâmetro como

recobertas de vegetação primitiva, contíguas às que ocorrem desertificações (áreas-piloto), permitindo assim comparar a evolução do fenômeno em destaque.

3.3 Degradação

3.3.1 Conceitos de Degradação

Conforme Brasil (1989), o decreto federal 97.632/89 define, a degradação ambiental como os processos resultantes dos danos ao meio ambiente, levando as perdas parcial ou total de algumas de suas propriedades, tais como: a qualidade ou capacidade produtiva dos recursos ambientais.

De acordo com DOU (2015), a lei federal Nº 13.153, de 30 de julho de 2015, determina a degradação da terra como sendo: a redução ou perda, nas zonas áridas, semiáridas e sub úmidas secas, da biodiversidade, da produtividade biológica e da complexidade das terras agrícolas, devida aos sistemas de utilização da terra e de ocupação do território.

3.3.2 O que pode influenciar a degradação?

Segundo Dias (1998) e Silva (2004), pode-se entender degradação ambiental, como sendo as alterações das condições naturais, por desmatamentos, derrubada da floresta, queima da vegetação entre outro, que prejudica o uso dos recursos naturais (solos, água, flora, fauna, etc.) e reduzem a qualidade de vida humana.

Segundo Balsan (2006), a degradação é provocada por diferentes aspectos e fatores, aparentemente inofensivos. Uma variedade de causas é apontada como responsáveis pelo atual processo que atinge distintas partes do mundo. Dentre elas destacam-se: intervenção humana, crescimento populacional, práticas inadequadas na agropecuária e construções de complexos industriais.

Para Poleto (2009), a degradação ambiental está relacionada com a agricultura, devido a remoção da cobertura vegetal, exposição do solo à erosão, afastamento da fauna, compactação do solo, redução da qualidade dos cursos d'água assoreando-os e contaminando-os com resíduos de fertilizantes e agrotóxicos.

Conforme Silva (2018), o processo de desmatamento, que é um dos principais processos de degradação ambiental do Nordeste e as queimadas da vegetação ocasionam uma serie de consequências negativas, como a perda da biodiversidade,

degradação do solo, processos erosivos, escoamento superficial, diminuição da água para recargas dos aquíferos, entre outras consequências.

Para Guerra et al (2000), o uso de forma inadequada dos recursos naturais, em áreas urbanas e rurais, tem sido a principal causa da degradação. E como consequência das intervenções antrópicas, é observar vários impactos, como erosão dos solos, desmatamentos, desertificação, poluição, inundações entre outros. E a retirada da cobertura original do solo do bioma caatinga é um dos principais indicadores dos processos de degradação e desertificação da região (SILVA, 2018).

3.3.3 Principais consequências da degradação

Sampaio et al (2005), afirmam que a degradação ambiental, quase sempre começa com o desmatamento e com a substituição da vegetação nativa por outra cultivada de porte ou ciclo de vida diferentes. A vegetação arbustiva e arbórea da caatinga, predominante no semiárido, é substituída por pastos herbáceos ou culturas de ciclo curto, favorece o processo de erosão. O cultivo continuado, com a retirada dos produtos agrícolas e sem reposição dos nutrientes, leva à perda da fertilidade. Nas áreas irrigadas, o uso de águas com níveis elevados de sais, a irrigação ineficiente e ausência de drenagem podem levar à salinização. Outro fator contribuinte para degradação ambiental é o uso de equipamentos pesados, em solos de textura argilosa e com teores de água inadequados podendo levar à compactação dos solos.

Os estudos da degradação, tem-se beneficiado pelo avanço tecnológico de diversas áreas do conhecimento tais como sensoriamento remoto e geoprocessamento. O uso das tecnologias é importante, pois aumenta abrangência em área, diminuir o tempo, os custos e aumenta a precisão das análises (SILVA, 2008).

3.4 Sensoriamento remoto

3.4.1 Definição

O sensoriamento remoto foi definido por Jensen (2000), como a arte e a ciência de se obter informações acerca de objetos presentes na superfície terrestre sem contato físico com os mesmos. De acordo com Novo (1998), é a utilização de sensores

para a aquisição de informações sobre objetos ou fenômenos sem que haja contato direto entre eles.

Segundo Santos (2013), existem diversas definições pertencentes à tecnologia do sensoriamento remoto, mas dependendo do ponto de vista, algumas definições são mais adequadas do que outras. De acordo com Novo (1998), sensoriamento remoto é: a utilização de sensores para a aquisição de informações sobre objetos ou fenômenos sem que haja contato direto entre eles. Já Jensen (2000), definiu o mesmo, como sendo a arte e a ciência de se obter informações acerca de objetos presentes na superfície terrestre sem contato físico com os mesmos.

Conforme Figueiredo (2005), o sensoriamento remoto é o processo de captação de informações dos fenômenos e feições terrestres, por meio de sensores, sem contato direto com os mesmos, associado a metodologias e técnicas de armazenamento, tratamento e análise destas informações. Rosa (2009), o define como, a forma de se obter informações de um objeto ou alvo, sem que haja contato físico com o mesmo.

Santos (2013), considera que o sensoriamento remoto tem suas origens ligadas à época de Galileu, e ressalta que a princípio pôde-se definir sensoriamento remoto como: “Tecnologia que permite a aquisição de informações sobre objetos, sem contato físico com eles.”

Mas o autor enfatiza que esta definição peca pela abrangência de um vasto campo de tecnologias, e como exemplo faz uso do telescópio, e explica que o instrumento permite a aquisição de informações sobre objetos (ex: astros) sem que ocorra qualquer espécie de contato direto (físico) com eles, e logo o telescópio também seria um sensor remoto. Para o autor esta definição está muito apegada às origens do sensoriamento remoto, ao dizer que ele deve boa parte de sua evolução aos avanços Astronômicos.

Prosseguindo com a definição proposta, para Santos (2013) o olho humano também pode ser considerado um sensor remoto, entretanto deseja vincular o termo sensoriamento remoto, à aquisição de medidas nas quais o homem não é peça chave no processo de detecção e registro dos dados. Sendo assim para o autor, o telescópio não poderia ser considerado um instrumento sensor, tendo em vista que sua finalidade é apenas ampliar a acuidade do observador através de sistemas ópticos, e, contudo, conclui que o olho humano não seria mais considerado um sensor remoto.

Segundo Santos (2013), ele concorda que diversos avanços tecnológicos verificados na óptica dos telescópios permitiram progressos consideráveis nos componentes ópticos dos modernos instrumentos sensores, e destaca que telescópios espaciais como “Hubble” são pertencentes à categoria de sensores remotos. Mas considerando as restrições apresentadas anteriormente, o autor nos propõe uma nova definição do termo:

“Tecnologia que utiliza sensores para extrair informações sobre objetos ou fenômenos, sem que haja contato direto entre eles, e sem que o homem seja parte essencial do processo de aquisição de dados”.

O autor afirma que o texto a seguir é mais que uma definição, pois engloba todo o conceito que deve ser entendido sobre o que é sensoriamento remoto, se tratando do ponto de vista do usuário de imagens de satélite:

Sensoriamento remoto consiste na utilização conjunta de modernos instrumentos (sensores), equipamentos para processamento e transmissão de dados e plataformas (aéreas ou espaciais) para carregar tais instrumentos e equipamentos, com o objetivo de estudar o ambiente terrestre através do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias componentes do planeta Terra, em suas mais diversas manifestações (NOVO, 1989).

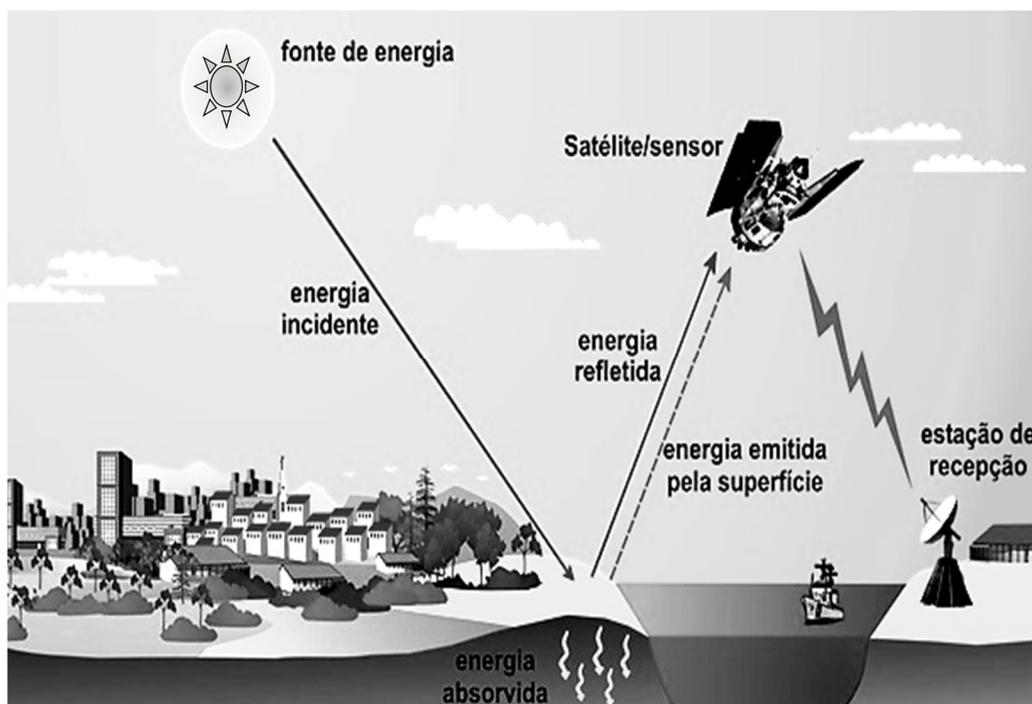
Conforme Rosa (2013), o sensoriamento remoto, é a forma de se obter informações de um objeto ou alvo, sem que haja contato físico com o mesmo. Sensoriamento remoto é o processo de captação de informações dos fenômenos e feições terrestres, por meio de sensores, sem contato direto com os mesmos, associado a metodologias e técnicas de armazenamento, tratamento e análise destas informações.

3.4.2 Origem e evolução do sensoriamento remoto

Não divergente de outros grandes feitos, as grandes guerras também tiveram um papel importante na Origem e evolução do sensoriamento remoto. Na 1ª Guerra Mundial, diversos países faziam uso de fotografias retiradas de aviões para vigiar territórios inimigos. O Sensoriamento Remoto nas guerras trouxe grandes avanços tecnológico para a área. Dentre os mesmos pode ser destacado o

monitoramento do comportamento dos objetos na região do infravermelho com a finalidade de detectar a camuflagem de inimigos, na 2ª Guerra Mundial (LISSIA et al., 2010). A Figura 1 representa o esquema clássico do sensoriamento remoto, a partir de obtenção de dados de satélite.

Figura 1 - Esquema do Sensoriamento Remoto.



Fonte: Adaptada de Resumo escolar, (2014)

De acordo com Santos (2013), diversos autores da American Society of Photogrammetry e seu "Manual of Remote Sensing" (1975), vinculam a origem do sensoriamento remoto com o surgimento dos sensores (câmeras) fotográficos. Conseqüentemente, defende que a história do sensoriamento remoto pode ser dividida em dois períodos: o primeiro, que se inicia em 1860 e se estende até 1960, que é totalmente dominado pelas fotografias aéreas (inicialmente em balões e posteriormente em aviões), e o segundo que se estende até os dias de hoje, por sua vez caracterizado pela multiplicidade de sistemas de sensores. A Tabela 2 apresenta o histórico dos eventos que influenciaram o surgimento e a evolução do Sensoriamento Remoto.

Tabela 2 - Histórico dos eventos que influenciaram a evolução do sensoriamento remoto.

Ligações entre alguns eventos e a evolução do Sensoriamento Remoto	
1672	- Desenvolvimento da teoria da luz - Newton: decomposição da luz branca - Utilização de uma câmara primitiva
1839	- Desenvolvimento de equipamentos ópticos - Pesquisas de novas substâncias fotossensíveis
1859	- Utilização de câmeras fotográficas a bordo de balões
1903	- Utilização de fotografias aéreas para fins cartográficos
1909	- Tomadas de fotografias aéreas a bordo de aviões
1930	- Coberturas sistemáticas do território para fins de levantamento de recursos naturais
1940	- Desenvolvimento de equipamentos para radiometria sensíveis à radiação infravermelha - Utilização de filmes infra vermelho na II Guerra Mundial, para detecção de camuflagem
1944	- Primeiros experimentos para utilizar câmaras multiespectrais
1954	- Desenvolvimento de radiômetros de microondas - Testes iniciais visando a construção de radares de visada lateral
1961	- Desenvolvimento de processamentos ópticos e digitais - Primeiros radares de visada lateral
1962	- Desenvolvimento de veículos espaciais tripulados e não tripulados - Lançamento de satélites meteorológicos - Primeira fotografia orbital MA-4-Mercury
1972	- Fotografias digitais tiradas pelo programa Gemini - Surgem outros programas espaciais envolvendo satélites de recursos naturais: SEASAT, SPOT, ERS, Landsat

Fonte: Adaptada de Figueiredo, (2005)

Conforme Rosa (2013), a evolução do sensoriamento remoto se deve a um esforço multidisciplinar que envolveu e envolve avanços entre diversas áreas tais como: Física, Físico-Química, Biociências e Geociências. A complexidade das atuais

técnicas de sensoriamento remoto faz com que cada vez mais um maior número de pessoas, de áreas diferentes participem do processo de transformação da energia registrada pelo sensor em informação.

3.4.3 Sensoriamento remoto no Brasil.

Na década de 1970, o Brasil foi o segundo país a ter uma antena de recepção de dados de satélite. De acordo com Epiphanyo (2013), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), o país é considerado um dos pioneiros na área de sensoriamento remoto, e reúne ferramentas importantes para atividades como monitoramento de reservatórios, mapeamento de agricultura e controle do desmatamento.

Os estudos sobre desertificação no Brasil, também se iniciaram na década de 1970. No Nordeste, Segundo Silva (2009), um dos primeiros trabalhos de identificação de áreas em processo avançado de desertificação com base em imagens de satélite foi realizado por Vasconcelos Sobrinho no ano de 1982. De acordo com autor, esse trabalho foi feito, com base na interpretação visual de imagens do MSS/LANDSAT de 1976 e 1978, o pesquisador mapeou, na escala de 1:500.000, seis possíveis núcleos de desertificação (Gilbués-PI; Irauçuba-CE; Seridó-RN/PB; Cabrobó-PE; Cariris Velhos-PB e Sertão do São Francisco-BA) na região semiárida Brasil.

3.4.4 Informações obtidas a partir do sensoriamento remoto.

A informação advinda do sensoriamento remoto, é atualmente fundamental para a modelagem de processos naturais e culturais, provendo informações espaciais, espectrais e temporais de forma eficiente e econômica (JENSEN, 2000).

De acordo com Silva (2018), visando mitigar ou inibir os processos de limitações nas regiões semiáridas, o uso das técnicas de sensoriamento remoto assegura com grande confiabilidade nos cenários atuais da superfície terrestre, de forma prática e em larga escala, promovendo o auxílio no planejamento e organização na tomada de decisões. A alta aplicabilidade desta técnica também determina índices de vegetação que possibilitam o monitoramento e a compreensão quantitativa e espaço-temporal das condições da vegetação.

3.5 Vegetação

Conforme MMA (2017) e Souza (2019), a Caatinga é um bioma exclusivamente brasileiro, que ocupa aproximadamente uma área de 734.478 km², correspondendo cerca de 70% da Região Nordeste e 11% do território nacional. A caatinga é o bioma predominante na região semiárida, e sua vegetação é composta principalmente por arbustos e arvoredos, abrigando espécies caracterizadas pela rusticidade, tolerância a salinidade, ao estresse hídrico e as altas temperaturas.

De acordo com Larcher (2000), a maior parte das plantas deste bioma apresentam mecanismos adaptativos como: folhas transformadas em espinhos, cutículas altamente impermeáveis, caules suculentos, queda das folhas na estação seca para reduzir perda de água e a presença de sistemas radiculares bem desenvolvidos para o aumento da capacidade de absorção da água do solo. A Figura 2 nos mostra um pouco da vegetação do bioma Caatinga.

Figura 2 - Vegetação do semiárido.



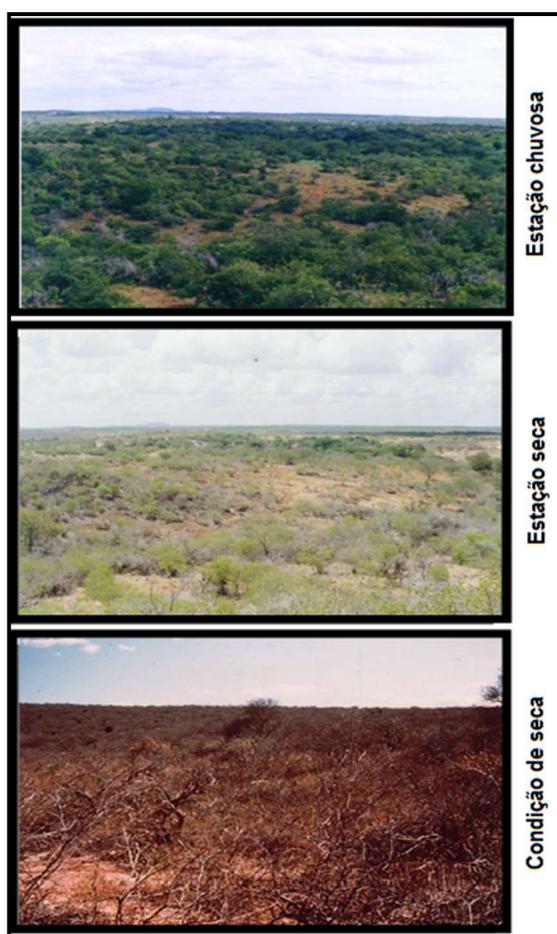
Fonte: Souza, (2019)

Segundo Souza (2019), a vegetação da Caatinga apresenta três estratos: arbóreo: com espécies que variam entre 8 e 12 metros de altura; arbustivo: com espécies que variam entre 2 e 5 metros de altura; herbáceo: com espécies com altura abaixo de 2 metros. As principais características da vegetação são árvores baixas, troncos tortuosos e que apresentam espinhos e folhas que caem no período

da seca. Algumas espécies de cactáceas, como o mandacaru, apresentam uma característica peculiar: suas folhas são modificadas em espinhos para evitar que a planta perca água pelo processo de transpiração.

Conforme Sá, (2009) as regiões semiáridas apresentam forte mudanças em sua cobertura vegetal, relacionadas ao regime pluviométrico e dinâmica da região. É possível na Figura 3, observar algumas mudanças da cobertura vegetal, conforme seu período sazonal.

Figura 3 - Cobertura vegetal, conforme o período sazonal do SAB.



Fonte: Barbosa, (2014)

Estas mudanças podem ser detectadas e monitoradas a partir da análise de imagens orbitais por meio de transformações para índices de vegetação. Sua principal aplicação é a utilização das propriedades espectrais da vegetação, na região do vermelho e infravermelho próximo.

3.6 Índices de Vegetação

Um índice de vegetação é um valor numérico usado para prever ou avaliar características da vegetação, como a área foliar, biomassa total, a saúde geral e o vigor da vegetação superficial (AMS, 2011).

Segundo Meneses et al. (2012), trabalhos iniciais que deram origem ao primeiro índice de vegetação, nomeados por alguns autores como Simple Ratio, em que sua equação respalda-se na razão entre a banda do infravermelho próximo (IVP), para realçar a vegetação devido apresentarem maior reflectância, e a banda do vermelho (V), onde a vegetação possui a maior absorção da luz solar visível por ter em sua constituição o pigmento verde clorofila, que é o indicativo de uma vegetação sadia. A Equação 1 descreve o cálculo do SR.

Tal índice é definido por:

$$SR = \frac{\rho_{IVP}}{\rho_V} \quad (1)$$

Onde:

SR = Simple Ratio

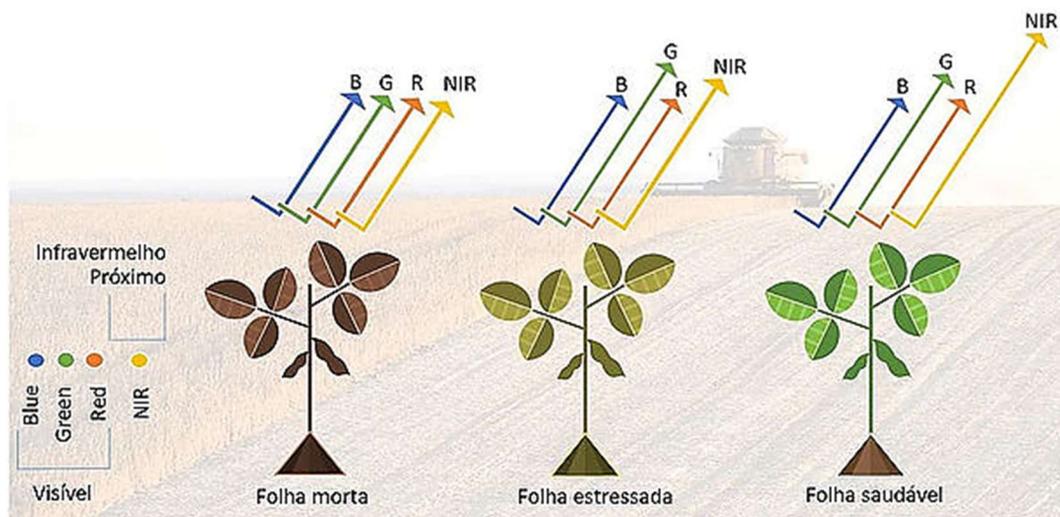
ρ_{IVP} = A reflectância na região do infravermelho próximo

ρ_V = A reflectância na região do vermelho do espectro eletromagnético.

Barbosa (2009), relatou em seu estudo, que existe uma variedade de índices de vegetação que vem sendo desenvolvidos para auxiliar no mapeamento da vegetação. A maioria baseia-se nas interações entre a vegetação e a energia eletromagnética nos comprimentos de onda do vermelho e do infravermelho próximo.

Em geral, quanto maior o vigor da vegetação maior o contraste entre a reflectância nas bandas espectrais do vermelho e infravermelho próximo a Figura 4, apresenta o contraste entre as bandas.

Figura 4 – Representação da reflectância da luz solar.



Fonte: Batista, (2017)

De acordo com Baret et al. (1989) e Rosa (2007), há duas razões básicas para o uso dessas duas bandas espectrais: a primeira é que estão presentes em quase todos os satélites de sensoriamento remoto e a segunda, é que contêm mais de 90% da informação espectral sobre a vegetação.

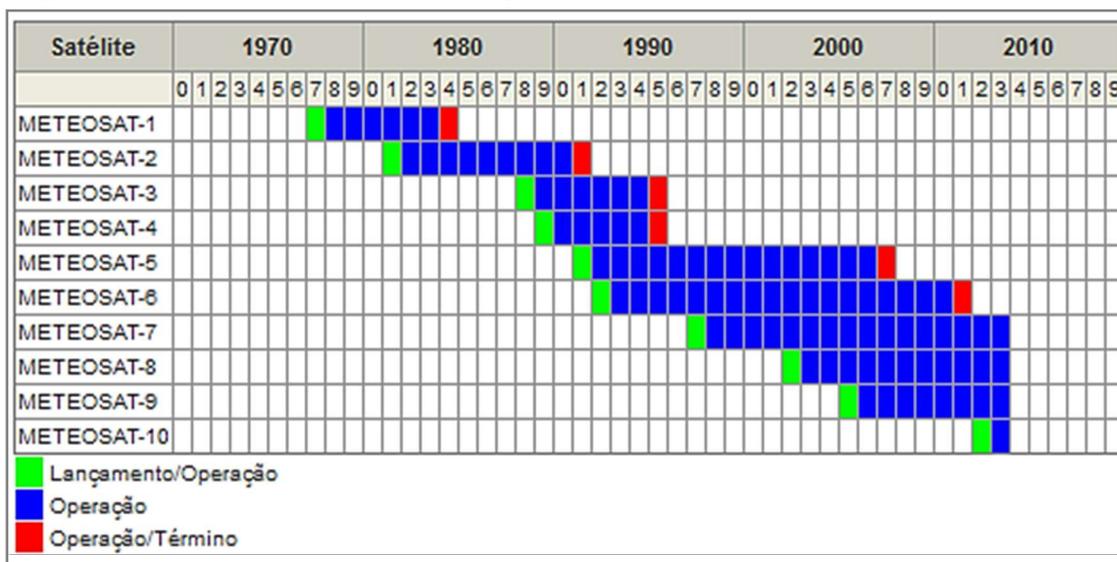
Segundo Liu (2007), no geral a superfície da vegetação absorve a radiação na faixa do visível (de 0,4 a 0,7 μm) e reflete na faixa do infravermelho próximo (de 0,725 a 1,10 μm). Rouse et al. (1973) explica que a faixa do vermelho, é evidenciada pela baixa reflectância devido a morfologia interna das folhas (pigmentos); ao mesmo tempo que na faixa do infravermelho próximo, tanto a morfologia interna das folhas quanto a estrutura da vegetação resultam em uma alta reflectância o autor cita como exemplo, o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN).

3.7 Satélites METEOSAT

Segundo Astronoo (2013), por iniciativa da França, a METEOSAT é uma contribuição europeia para o sistema de observação global, dedicada à meteorologia e climatologia. O primeiro Satélite Meteosat, foi lançado em 23 de novembro de 1977 e operou até 1979. Desde então não houve pausa do serviço METEOSAT, que é

gerenciado pela European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites -EUMETSAT Organização Europeia desde 1995. Do Meteosat-1 até o Meteosat-7 compõem a primeira geração, e a partir do Meteosat-8, a segunda geração dos satélites Meteosat. Na Figura 5, observa-se, o ano de lançamento, operação e termino da missão de cada satélite.

Figura 5 - Ano de lançamento, operação e termino da missão de cada.



Fonte: Souza, (2019)

De acordo com Gunter's Space Page (2002), O Meteosat Second Generation-MSG tem um radiômetro de imagem melhor (SEVIRI), com 12 canais e o instrumento Orçamento de Radiação Geoestacionária da Terra (GERB). A nova geração possui um desempenho, que é quatro vezes melhor que os outros no mercado e dez vezes melhor que os Meteosat da primeira geração. Além de garantirem a continuidade dos serviços atuais, esses satélites também fornecerão grandes avanços.

3.7.1 Plataforma MSG

Comforme ESA (2020), o primeiro MSG (Meteosat-8) foi lançado em 22 de agosto de 2002 as 22:45 UTC e declarado operacional em Janeiro de 2004. O satélite funcionar em órbita geoestacionária e opera em numa longitude de 0 graus sobre a África Ocidental equatorial.

Astronoo (2013), enfatiza, que sua aparente imobilidade, permite uma taxa de transmissão de imagens dobrada (a cada 15 minutos) e o número de canais

espectrais aumenta de 3 para 12 (incluindo 8 canais de infravermelho), sendo três permitindo acesso a informações abrangentes sobre a física atmosférica. A resolução espacial também é aprimorada, o MSG é capaz de discernir detalhes de até 1 km em um canal visível de alta resolução e 3 km nos outros canais. O mesmo afirma, que o conceito geral é derivado da primeira geração, mas a plataforma e a carga útil são completamente novas.

De acordo com Eumetsat (2020), com o aperfeiçoamento da digitalização do radiômetro os fenômenos climáticos locais são melhores analisados. Ao operar em órbita geoestacionária a 36.000 km acima do equador, o satélite gira no sentido anti-horário a 100 rpm em torno do seu eixo longitudinal, que é paralelo ao eixo norte-sul da terra. Por esse motivo, permiti-lhe digitalizar a superfície da terra em uma estreita faixa, a cada volta em torno de si mesmo a cada 600 ms.

Tabela 3 - Algumas especificações técnicas da plataforma MSG.

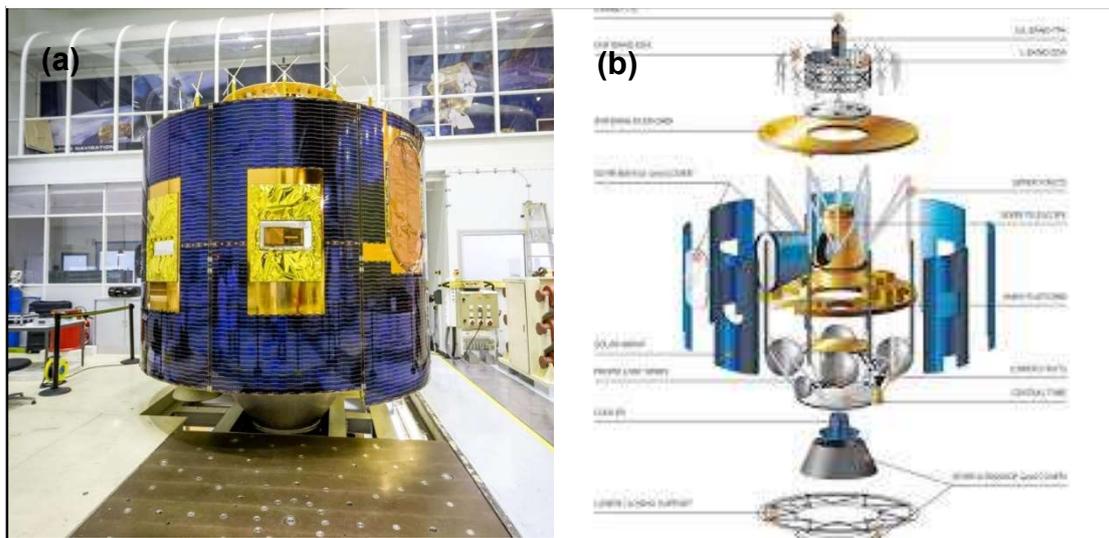
Órbita do satélite	36.000 km, 0° acima do Equador.
Potência do satélite	600 W (média para uma órbita)
Inclinação do satélite	98°
Peso do satélite	2000 kg no lançamento. (1,200 kg em orbita)
Tempo de revista	15 minutos
Velocidade máxima:	600 m/s

Fonte: Autor, (2020)

Segundo Eumetsat (2020), o corpo do MSG, é como um tambor solar de formato cilíndrico, com 3,2 m de diâmetro e 2,4 m de altura. Ele é construído de forma modular em torno de três subconjuntos principais: o seu principal sensor Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager-SEVIRI e o radiômetro de digitalização (GERB) ficam no compartimento central.

A carga útil da comunicação da missão (MCP), incluindo antenas e transponders no compartimento superior. E a plataforma ainda suporta subsistemas, no compartimento inferior. A Figura 6 (a) mostra uma foto real do MSG 1 e a Figura 6 (b), ilustra o MSG 1, destacando os seus componentes.

Figura 6 - Satélite MSG 1.



Fonte: Eumetsat, (2008)

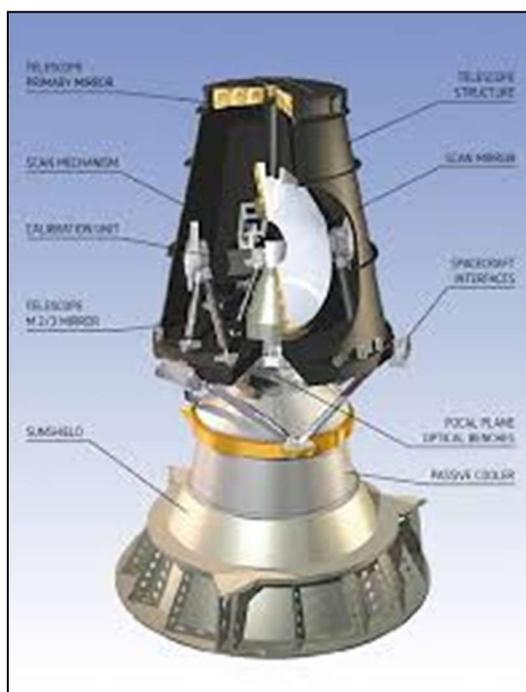
3.7.2 Sensor SEVIRI

Conforme Eumetsat (2020), o sistema MSG fornece dados precisos de monitoramento climático, por meio de seu instrumento principal SEVIRI, que é possível observar na Figura 7. O autor ressalta que o sensor, tem a capacidade de observar a terra em 12 canais espectrais. Eles fornecem dados com maior precisão em toda a atmosfera, oferecendo maior qualidade às condições de partida dos modelos de Previsão Numérica do Tempo.

Dos doze canais, oito estão no infravermelho térmico, entre outras fornece informações permanentes sobre as temperaturas das nuvens, da superfície da terra e do mar. Tres com resolução espacial de 3 km, e um dos canais é chamado de canal de Haut Resolution Visible - HRV e possui uma distância de amostragem no nadir de 1 km.

De acordo com Eumetsat (2020), O MSG opera a 100 rotações por minuto em torno de seu eixo principal, o radiômetro analisa a superfície terrestre e converte imagens digitalizadas transmitidas, e envia em tempo real para European Space Operations Center-ESOC em Darmstadt, Alemanha. Nesta velocidade, o ângulo de exploração que corresponde a 18°, está descrito em 30 ms. Durante os 570 ms restante para terminar a sua volta sobre si, o telescópio usa este tempo, para modificar a orientação do espelho. E na próxima rodada ele varre o chão.

Figura 7 - Sensor SEVIRI.



Fonte: Eumetsat, (2020)

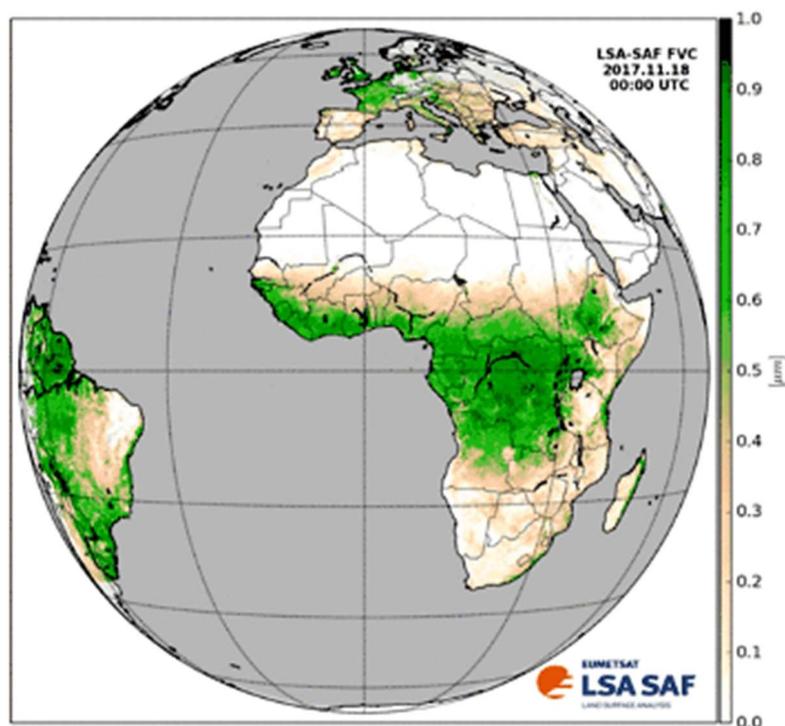
Segundo Astronoo (2013), a aquisição de uma imagem completa precisa de 3712 digitalização, como existência de três sensores ele espera cerca de 1250 rotações do satélite, ou seja, 12 minutos e 30 segundos. E os 2 minutos e 30 restantes, são dedicados ao retorno do espelho para a posição inicial e calibragem dos detectores.

3.8 Fração de Cobertura Vegetal - FVC (SEVIRI)

Conforme LSA SAF; Trigo et al. (2011) o FVC, define uma importante propriedade estrutural de um dossel da planta, que corresponde ao complemento da unidade da fração de brecha na direção do nadir, respondendo pela quantidade de vegetação distribuída em uma perspectiva horizontal.

O FVC está relacionado com a partição entre a contribuição do solo e da vegetação para a emissividade e a temperatura. O FVC é relevante para uma ampla gama de aplicações da biosfera terrestre, como agricultura e silvicultura, gestão ambiental e uso da terra, hidrologia, monitoramento e gerenciamento de riscos naturais, monitoramento da dinâmica vegetação-solo, condições de seca e extensão de cicatrizes de incêndio. A Figura 8 representa o produto FVC.

Figura 8 - Representação da área de disponibilidade do FVC.



Fonte: Eumetsat, (2020)

Atualmente, o produto FVC é gerado diariamente com a resolução espacial completa do instrumento MSG / SEVIRI, e é fornecido posteriormente a cada 10 dias e mensalmente. O produto é baseado nos três canais de ondas curtas (VIS 0,6 μm , NIR 0,8 μm , SWIR 1,6 μm) (Roujean et al. 1992). O produto FVC é calculado dentro da área coberta pelo disco MSG, em 4 regiões geográficas específicas (Europa, África - África do Sul e América do Sul). Para cada dia e região geográfica, o produto FVC, sua estimativa de erro e o sinalizador de processamento são disseminados no formato Hierarchical Data Format 5-HDF5 (LSA SAF; TRIGO ET AL. 2011).

De acordo com Barbosa (2013), o FVC é o único parâmetro biofísico, determinante para a partição das contribuições do solo exposto e da vegetação, para a evapotranspiração da superfície, fotossíntese, albedo e outros fluxos essenciais, para as interações terra-atmosfera.

O autor explica que para fazer uso desse produto, é necessário fazer a conversão a partir do índice de vegetação Normalized Difference Vegetation Index-NDVI usando a equação proposta por Muñoz et al. (2005), no software ILWIS versão

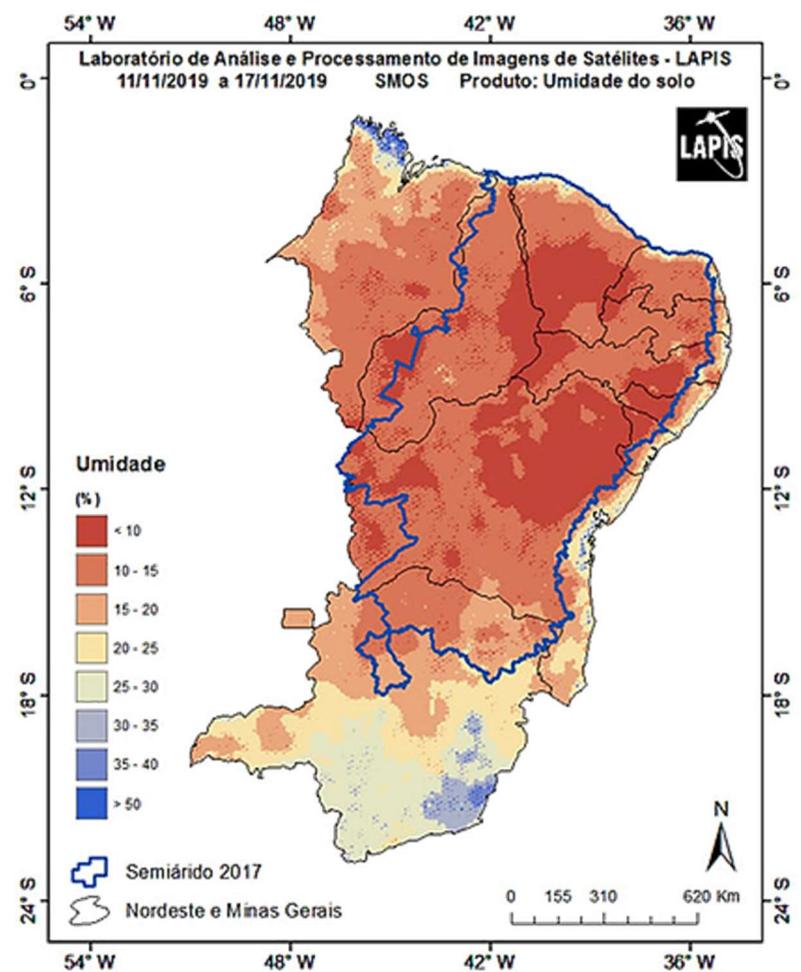
3.8, onde o mesmo descreve o passo a passo da metodologia. A equação 1 nos mostra como é gerado o FVC.

$$FVC = 1,1101 \times IVDN - 0,0857 \quad \text{Eq. (2)}$$

3.9 Umidade do solo (SMOS)

A composição de 30 dias é formada por uma média semanal, ao longo do mês, das órbitas ascendentes e descendentes do satélite, pois somente em uma semana pode-se obter dados para toda a superfície da área de estudo. A Figura 9 apresenta o produto sendo utilizado no semiárido brasileiro.

Figura 9 - Umidade do solo do semiárido Brasileiro.



Fonte: SimaCaatinga (2019)

A composição semanal é modelada por meio de uma grade para a região de estudo, onde cada célula tem resolução espacial de 5 quilômetros, sendo preenchida com valores médios interpolados das órbitas do satélite referente aos 7 dias.

Esse dado deriva de um modelo de transferência radiativa usado para calcular temperaturas de brilho multiangular com base em um conjunto de parâmetros geofísicos de 'primeira estimativa', incluindo a umidade da superfície do solo. Esses valores são comparados com as observações, usando a soma das diferenças ponderadas ao quadrado na chamada "função de custo". O produto de Nível 2 resulta na umidade volumétrica do solo (m^3/m^3), representando os primeiros centímetros da camada superficial do solo (entre 2 a 5 cm) (ALLEN et al., 2007).

3.10 Climate Hazard InfraRed Precipitation – CHIRPS

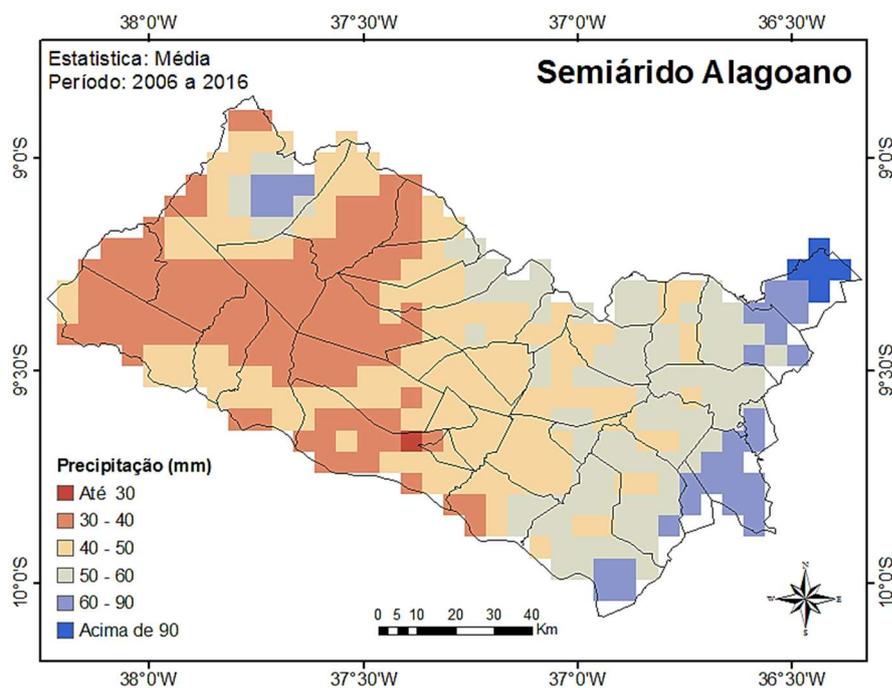
Conforme Funk et al. (2015), o CHIRPS é um conjunto com mais de 30 anos de dados, abrangendo 50° S – 50° N (em todas as longitudes), iniciando em 1981 até o presente momento. O CHIRPS incorpora imagens de satélite de resolução de 0,05° com dados da estação in-situ para criar séries temporais de precipitação, para à análise de tendências e monitoramento sazonal de seca.

O dado CHIRPS foi desenvolvido a partir da cooperação dos cientistas do USGS e o centro Earth Resources Observation and Science-EROS. E de acordo com Funk et al. (2014), os dados CHIRPS estão disponíveis em FTP no site: <ftp://ftp.chg.ucsb.edu/pub/org/chg/products/CHIRPS-2.0/> por vários passos de tempo, domínios espaciais e formatos.

Segundo Silva (2015), desde 1999 os cientistas do United State Geological Survey-USGS e do Climate Hazards Group-CHG, financiados pela U.S. Agency for International Development-USAID, a National Aeronautics and Space Administration-NASA e a National Oceanic and Atmospheric Administration-NOAA, vem desenvolvendo técnicas para a produção de mapas de chuva, principalmente onde há ausência de dados de superfície.

O autor enfatiza que o CHIRPS foi desenvolvido com intuito de entregar de forma confiável, conjuntos de dados completos, com objetivo de alerta precoce tal como: análise de tendências e monitoramento da seca sazonal. Abaixo temos na figura 10, a apresentação do dado de precipitação, sendo usado na região semiárida alagoana.

Figura 10 - Média interanual da precipitação.



Fonte: Costa et al., (2020)

Conforme Funk et al. (2014), estimar variações de precipitação no espaço e no tempo é um aspecto importante no alerta precoce da seca e monitoramento ambiental. Todavia as estimativas calculadas a partir de dados de satélite, que fornecem médias de áreas, são consideradas inconsistentes devido à complexidade dos terrenos, que muitas vezes subestimam a intensidade das precipitações em eventos extremos. Por outro lado, os dados de precipitação produzidos a partir de redes de estações, também são considerados inconsistentes em regiões rurais onde há menos estações pluviométricas.

3.11 Dados de Uso e Cobertura do Solo

Conforme O. Arino (2017), os dados de uso e cobertura do solo, são disponibilizados pelo projeto Climate Change Initiative Land Cover (CCI-LC), que fornece mapas da cobertura terrestre em escala global, consistentes com resolução espacial de 300m, resolução anual para o período de 1992 a 2015. De acordo com o autor, o sistema de referência de coordenadas, usado para o banco de dados, é um sistema de coordenadas geográficas-SCG baseado no mundo referência do sistema geodésico 84 (conhecido como: WGS84) elipsóide de referência.

Os mapas não são produzidos de forma independente, eles são extraídos de um único mapa de cobertura terrestre, gerado a partir do arco MERIS FR e RRive de 2003 a 2012. As alterações da cobertura da terra são detectadas a 1 km com base na série temporal AVHRR entre 1992 e 1999, séries cronológicas do SPOT-VGT entre 1999 e 2013 e PROBA-V com dados para os anos de 2013, 2014 e 2015. Depois das séries temporais MERIS FR ou PROBA-V estarem disponíveis, as alterações detectadas a 1 km são mapeadas novamente para 300 m. O último passo consiste em voltar e atualizar o mapa de cobertura da terra com base de 10 anos para produzir os 24 mapas anuais de cobertura da terra para o período de 1992 a 2015. A Figura 11 apresenta o mapa de cobertura da terra em escala global, resolução espacial de 300 m do ano 2015 (O. ARINO, 2017).

Figura 11 - Mapa da cobertura da terra em escala global.



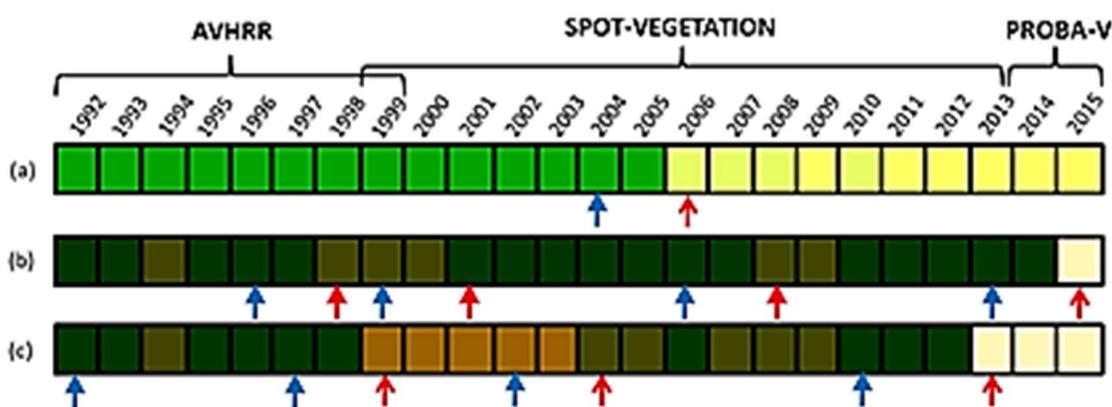
Fonte: Arino, (2017)

De acordo com O. Arino (2017), o módulo de classificação que gera esse mapa, foi projetado para ser globalmente consistente enquanto ajustada regionalmente. Nas regiões mais dinâmicas do mundo podem ser detectadas na cobertura terrestre mais de uma mudança entre 1992 e 2015 (ou seja, onde é possível observar mudanças com maior frequência na paisagem.). A maioria dos pixels estão associados a 0, 1, 2 ou 3 mudanças, mas para que possam ser detectadas precisam durar pelo menos dois anos. A exemplo, uma perda de floresta para matagal durante dois anos seguidos por

um reflorestamento. É um tempo curto para ser detectado como mudança na cobertura terrestre.

A Figura 12 exhibe às alterações dos pixels na detecção a partir de uma série temporal de 24 classificações globais anuais de 300m do período de 1992 a 2015 (AVHRR, SPOT-VGT e PROBA-V). As setas vermelhas indica onde teve mudança detectadas ao longo dos anos, e as setas azuis mostra onde possivelmente iniciou a mudança.

Figura 12 - Mudanças detectadas pelos pixels.



Fonte: Adaptado de O. Arino (2017)

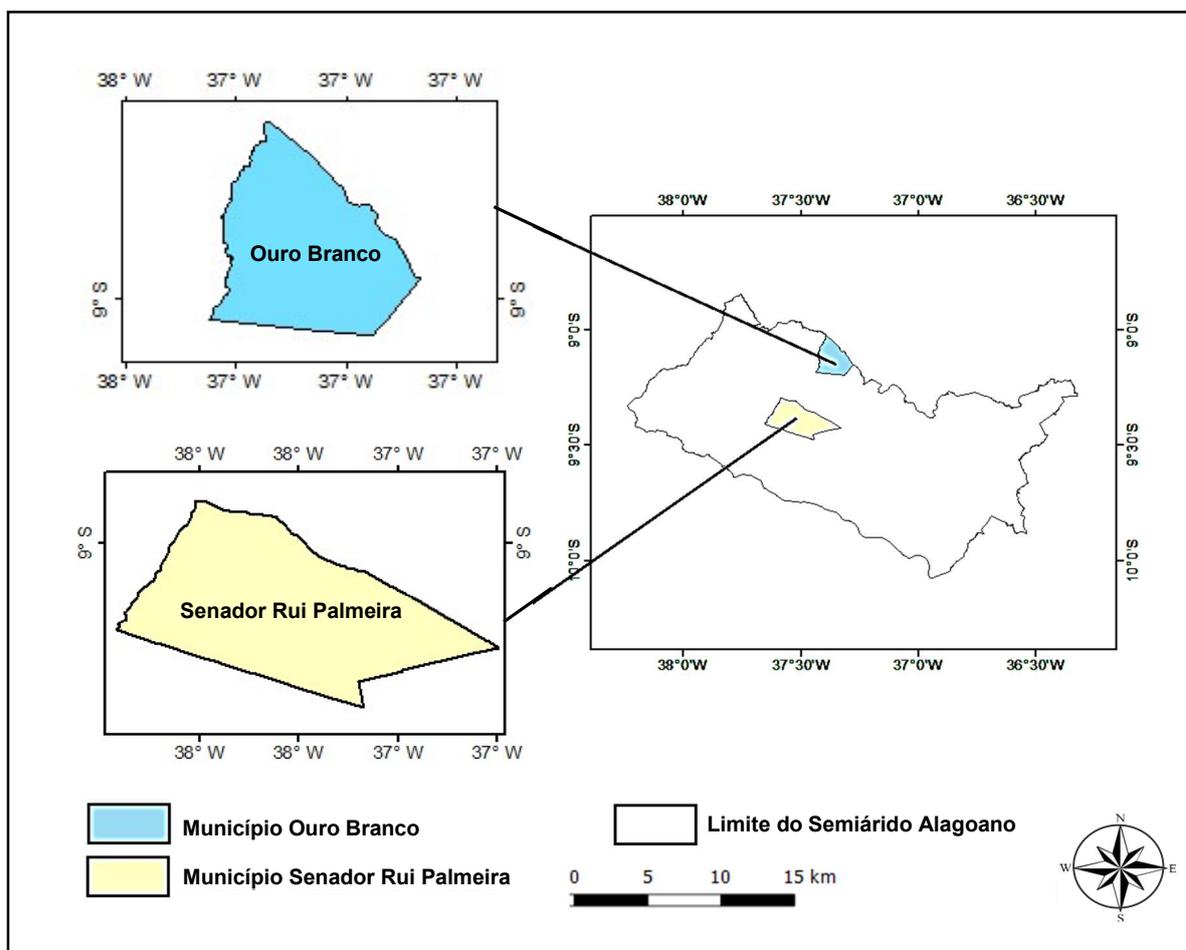
De acordo com O. Arino (2017), a mudança do uso e cobertura do solo, é detectada entre a classe da cobertura territorial do CCI agrupados nas seis categorias da terra do Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC, ou seja: terra cultivada, floresta, pastagem, pantanal, assentamento e outras terras. Esta última classe é dividida para matagal, vegetação esparsa, solo exposto, área urbana e água. Este agrupamento era um requisito expresso pelo usuários do clima, e evita também detectar falsas mudanças entre classes de Land Cover-LC que são próximas.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

A área de estudo deste trabalho foram os municípios Ouro Branco -AL e Senador Rui Palmeira -AL, localizados no semiárido alagoano, inclusos entre os 38 municípios alagoano, pertencentes ao antigo polígono das secas. (IBGE ,2015; ASA, 2017). A Figura 13 apresenta a área de estudo, mostrando o semiárido alagoano no lado direito, e destacando os municípios Ouro branco-AL e Senador Rui Palmeiras-AL do lado esquerdo.

Figura 13 - Área de estudo.



Fonte: Autor,(2021)

Conforme Brasil (2019), o município de Senador Rui Palmeira, encontrasse localizado na região Oeste de Alagoas, no semiárido alagoano, na micro região de Santana do Ipanema. Limita-se ao Norte com Maravilha, Poço das Trincheiras e

Santana do Ipanema; ao Sul com São José da Tapera; ao Leste com Carneiros e ao Oeste com Inhapi e Canapi. Situado a 366 metros de altitude, compreendido entre as seguintes coordenadas geográficas: Latitude: 9° 21' 25" Sul, Longitude: 37° 30' 1" Oeste, teve sua origem após a emancipação política junto ao município de Santana do Ipanema.

De acordo com IBGE 2010, a extensão territorial do município é de 359,667 km² e com uma população de 13 780 habitantes. No último censo, sua densidade demográfica foi de 38,1 habitantes por km², tendo sua principal atividade econômica a agricultura de subsistência, pois o clima e a qualidade do solo permite o cultivo de vários produtos importantes: feijão, milho e algodão, tendo como grande dificuldade a escassez de chuvas. Suas atividades secundárias são: curtume e a olaria.

O município de Ouro Branco, localizado na região NW do estado de Alagoas, limitando-se a Norte e a Leste com o estado de Pernambuco, a sul com o município de Maravilha e a oeste com Canapi. Localizado entre as latitude 09°10'00" sul e a longitude 37°21'24" oeste, estando a uma altitude de 380 metros. Com uma população no ultimo censo de 10 452 habitantes. Possui uma extensão territorial de 205,4 km² e com densidade demográfica de 53,3 hab./km².

As principais atividades econômicas do município são: agricultura, pecuária, silvicultura e comércio. Possui um relevo movimentado, com vales profundos e estreitos dissecados. Em relação à fertilidade dos solos, é bastante variada, com certa predominância de média para alta. Dentro de sua área existem alguns rios perenes, porém de pequena vazão e o potencial de água subterrânea é baixo. A vegetação é composta por florestas subcaducifólicas e caducifólicas, próprias das áreas agrestes. O clima é do tipo tropical chuvoso, com verão seco. A estação chuvosa se inicia em janeiro/fevereiro (Brasil, 2019).

4.2 Dados Utilizados.

4.2.1 Fração de Cobertura Vegetal – FVC.

Os dados de FVC utilizados neste trabalho, foram adquiridos no formato HDF5, com projeção geográfica Datum WGS-84, resolução espacial de 3 km e resolução temporal a cada 10 dias (período de dados utilizado, de janeiro de 2007 a dezembro de 2020).

A aquisição dos dados, teve como fonte o banco de dados do Laboratório de Análise e Processamento de Imagens de Satélites – LAPIS, com disponibilidade dos dados a partir do ano 2007, prontos para serem usados no site: <https://www.lapismet.com.br>

4.2.2 Umidade do solo.

Os dados de umidade do solo foram obtidos pela European Satellite Agency-ESA através da missão Soil Moisture Ocean Salinity-SMOS, nível 2, na resolução espacial de 5 quilômetros, composição temporal de 07 dias (período de dados utilizado, de janeiro de 2010 a dezembro de 2020), do banco de dados do SMOS, disponíveis em: (<https://smos-diss.eo.esa.int/oads/access/>).

4.2.3 Climate Hazard InfraRed Precipitation – CHIRPS.

Já os dados de Precipitação, foram obtidos do projeto Climate Hazard InfraRed Precipitation-CHIRPS. Os mesmos são formados por um conjunto de dados pluviométricos mensais, abrangendo 50 °S - 50 °N (e todas as longitudes), adquiridas no formato GeoTIFF, com resolução espacial 5km (incorpora imagens de satélite de resolução de 0,05°) e temporal a cada 07 dias (período de dados utilizado, de janeiro de 1981 a dezembro de 2020). Os dados CHIRPS estão disponíveis em FTP no site: <ftp://ftp.chg.ucsb.edu/pub/org/chg/products/CHIRPS-2.0/>, por vários passos de tempo, domínios espaciais e formatos.

4.2.4 Dados de uso e cobertura de solo (CCI-LC).

O dado de uso e cobertura do solo é um mapa da cobertura terrestre em escala global consistente, com resolução espacial de 300 m, resolução temporal anual (sendo usada a imagem de referência, do ano 2018, pois era a mais atual no momento das análises), sistema de coordenadas geográficas baseado no World Geodetic System 84 (WGS-84), elipsóide de referência, disponibilizados pelo projeto Climate Change Initiative Land Cover (CCI-LC) no site: <http://maps.elie.ucl.ac.be/CCI/viewer/index.php>

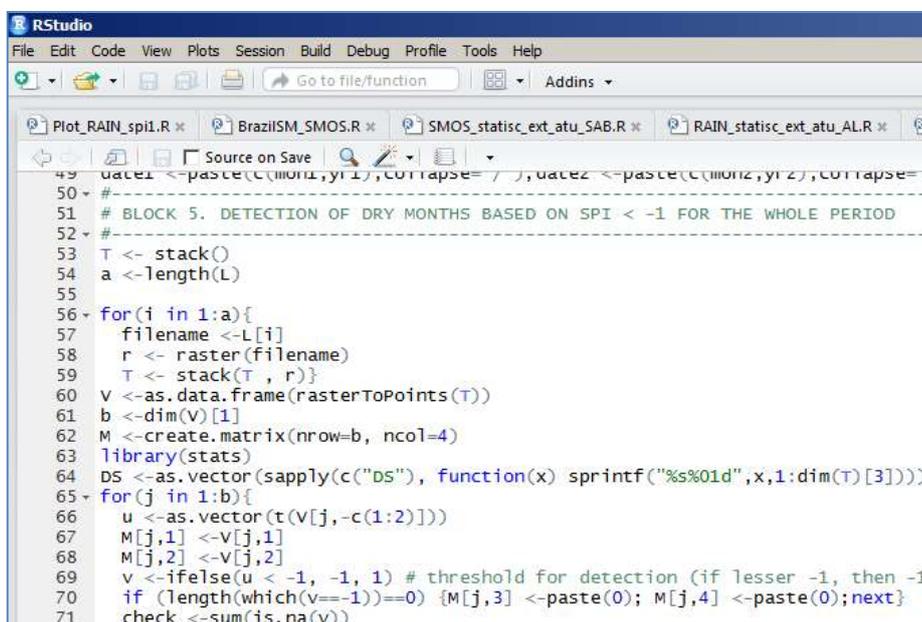
4.3 Software utilizados.

4.3.1 Software estatístico "R".

O "R" é um software de ambiente livre para computação estatística e gráfica, ele compila e roda em uma ampla variedade de plataformas. O "R" pode ser adquirido de forma gratuita através do site: <https://www.r-project.org/>

Foi utilizada a versão (3.14) do "R" para fazer o processamento, empilhamentos (das médias mensais e anuais), ou seja, o empilhamento consiste em uma técnica de sobreposição de imagens georreferenciadas, onde as ferramentas de processamento podem capturar os valores dos pixels de várias imagens na mesma posição x, y da matriz, e com esses valores a ferramenta faz o somatório dos pixels das imagens e realiza uma média aritmética, gerando uma nova imagem. E em seguida foi feito os recortes das imagens dos produtos de IVDN, precipitação e uso e cobertura do solo para área de estudo. A figura 14 mostra a interface do RStudio.

Figura 14 - Interface gráfica do software R.



```

49 - date1 <-paste(c(mon1, yr1), collapse= "/ "); date2 <-paste(c(mon2, yr2), collapse= /
50 - #-----
51 - # BLOCK 5. DETECTION OF DRY MONTHS BASED ON SPI < -1 FOR THE WHOLE PERIOD
52 - #-----
53 - T <- stack()
54 - a <-length(L)
55 -
56 - for(i in 1:a){
57 -   filename <-L[i]
58 -   r <- raster(filename)
59 -   T <- stack(T, r)}
60 - V <-as.data.frame(rasterToPoints(T))
61 - b <-dim(V)[1]
62 - M <-create.matrix(nrow=b, ncol=4)
63 - library(stats)
64 - DS <-as.vector(sapply(c("bs"), function(x) sprintf("%s%01d",x,1:dim(T)[3])))
65 - for(j in 1:b){
66 -   u <-as.vector(t(V[j,-c(1:2)]))
67 -   M[j,1] <-V[j,1]
68 -   M[j,2] <-V[j,2]
69 -   v <-ifelse(u < -1, -1, 1) # threshold for detection (if lesser -1, then -1
70 -   if (length(which(v==1))==0) {M[j,3] <-paste(0); M[j,4] <-paste(0);next}
71 -   check <-sum(is.na(v))

```

Fonte: Costa et al., (2020)

Os mapas anuais foram gerados através de dados mensais para os anos de referência e as interanuais a partir dos anos de referências. No geral para cada ano de referência, foram utilizadas 12 imagens referentes aos meses do ano e as interanuais para cada um dos produtos, a partir das imagens dos anos de referências. Esse cálculo pode ser explicado pela Equação 3.

$$\bar{X}_1 = \frac{1}{n} \sum_{ij=1}^n X_{ij} \quad \text{Eq. (3)}$$

Onde:

n = número de meses ou anos.

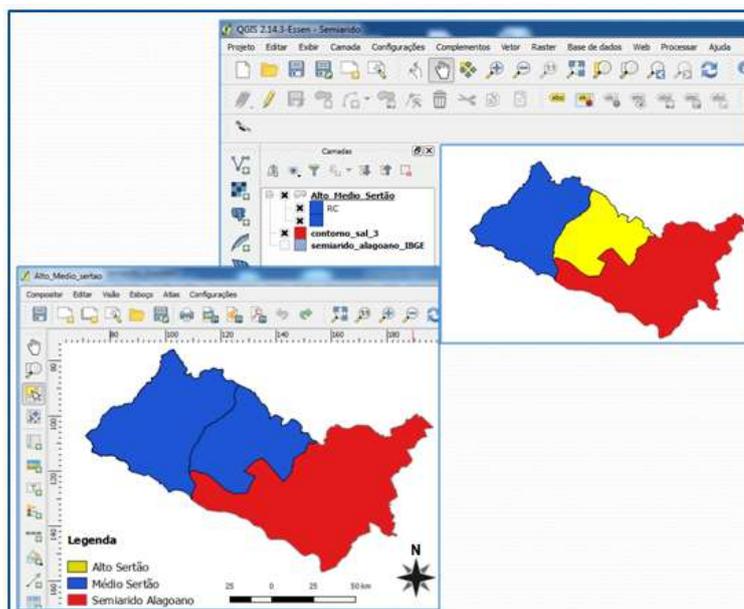
X = mês ou ano de referência

\bar{X} = Médias mensais anuais ou interanual.

4.3.2 Software Qgis.

A elaboração dos mapas temáticos foi feita por meio do compositor do software livre Quantum gis (Qgis). O Qgis, é um Sistema de Informação Geográfica-SIG de código aberto licenciado segundo a Licença Pública Geral GNU, ele disponibiliza ferramentas para criação, edição e análise de dados georreferenciados. O mesmo possui suporte para integração de plugins, tornando ainda mais vasta a sua biblioteca de ferramentas e nele, será possível gerar alguns shapes e elaborar toda parte de layout. A Figura 15 ilustra a tela principal e o compositor do Qgis. Esse software pode ser adquirido de forma gratuita através do site https://www.qgis.org/pt_BR/site/forums/download.html.

Figura 15 - Tela principal e compositor do Qgis.

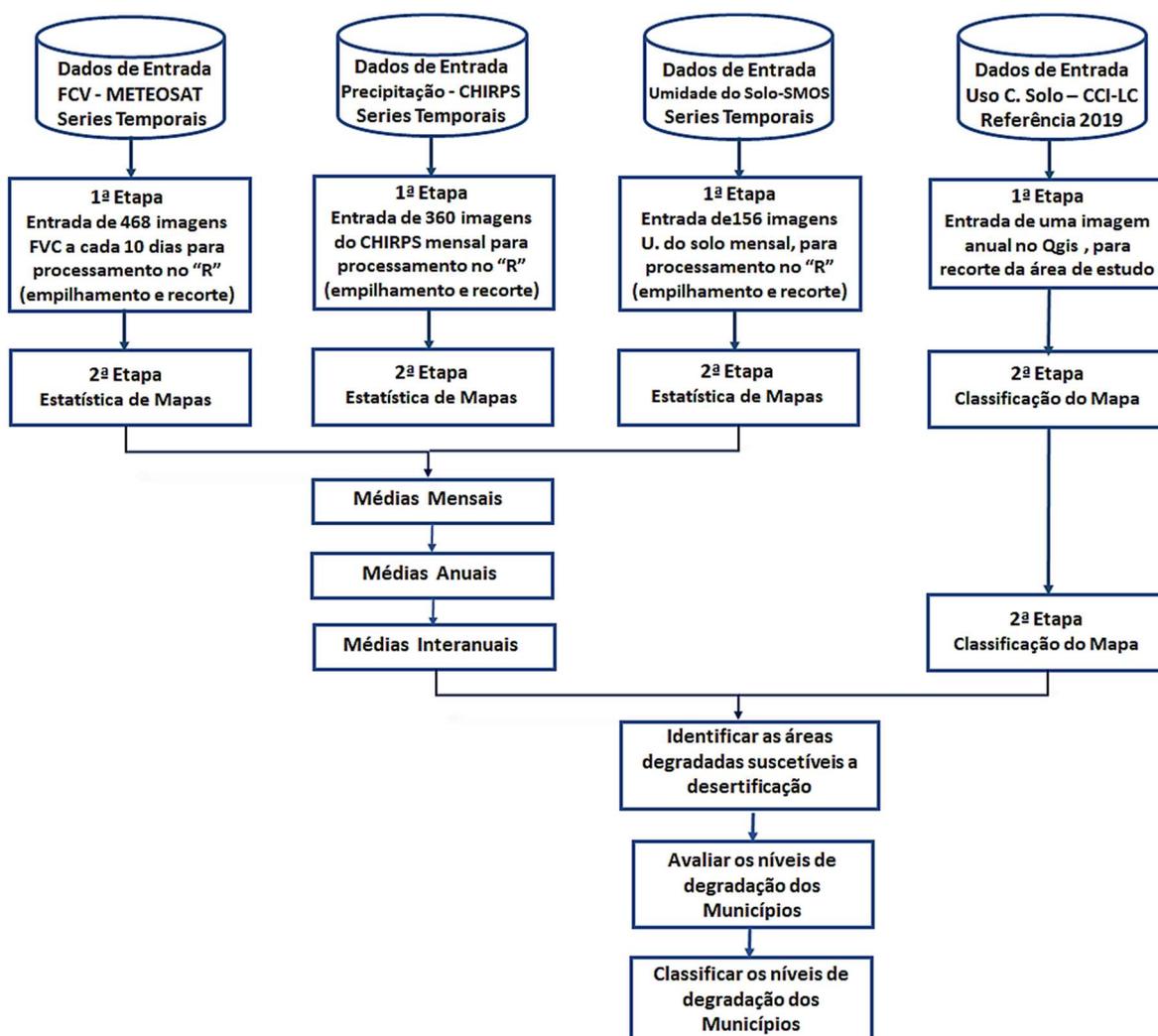


Fonte: Costa et al., (2020)

4.4 Métodos

A metodologia adotada propôs realizar uma identificação, avaliação e classificação, das áreas degradadas suscetíveis a desertificação nos municípios Ouro Branco-AL e Senador Rui Palmeiras-AL. A identificação, avaliação e classificação das áreas, foram feitas a partir de utilização de imagens de satélite, no período de 14 anos devido os dados de vegetação estarem disponíveis no intervalo entre os anos de 2007 a 2020. Para tal, foi organizado um banco de dados dos produtos utilizados no trabalho, para dá início as etapas propostas pela metodologia. Na execução do trabalho, foram utilizados dados de FVC, precipitação, umidade do solo e uso e cobertura do solo, a partir de uso de técnicas de sensoriamento remoto. A Figura 16, detalha o passo a passo da metodologia adotada.

Figura 16 - Fluxograma metodológico.



Fonte: Autor, (2021)

Na primeira parte do trabalho, foi adotada a metodologia de Costa 2020, e a partir da mesma, foram analisadas as áreas que tiveram valores baixos de IVDN, que indiquem áreas degradadas, suscetíveis a desertificação. E de acordo com Paixão et al., (2009) os valores de IVDN abaixo de 0.4 já serão considerados válidos para a análise.

Posteriormente, foi feita uma relação dos baixos valores de IVDN, com os produtos de umidade do solo e precipitação das respectivas áreas, a fim de identificar a capacidade de retenção de água no solo e períodos de seca. Também foi utilizado o produto de uso e cobertura do solo, para verificar se áreas suscetíveis a desertificação mapeada, ocorreram exclusivamente devido ao processo natural ou se além disso, houve influência antrópica. E finalmente, para avaliar e classificar as áreas degradadas, como sendo: muito fraco, fraco, moderado forte ou muito forte, fez uso da metodologia adaptada de Gonsalves 2012.

4.4.1 Serie de dados da vegetação

Na primeira etapa foram selecionadas do banco de dados, 468 imagens de FVC no formato HDF5, sendo pré processadas no MSGtoobox e saíram no formato GeoTiff, sem cobertura de nuvens, para o período de 2007 a 2020. As mesmas são obtidas com resolução temporal a cada 10 dias, resolução espacial de 3km, cobrindo em totalidade a área do estudo. Logo após na segunda etapa, foram feitos o processamento, empilhamento e recorte para a área de interesse. Na terceira etapa, foram feitas as estatísticas de mapas e em seguida, foram geradas as médias mensais e anuais.

Essas etapas foram seguidas a fim de encontrar os baixos valores de FVC, que de acordo com a literatura para áreas degradadas encontram-se a partir de 0.4, a baixo e a partir desses valores fazer a relação com os outros produtos analisados, para avaliar e classificar os níveis de degradação das áreas suscetíveis a desertificação.

4.4.2 Serie de dados da precipitação

Na primeira etapa, utilizou-se de 360 imagens GeoTiff, obtidas com resolução temporal mensal e resolução espacial de 5km, para realização do processamento, empilhamentos e recortes para área do trabalho no período de 30 anos. Na segunda

etapa, foram feitas as análises estatísticas mensais para analisar a sazonalidade da precipitação e anuais para observar períodos de seca, mantendo as mesmas características de resolução temporal dos dados. Na terceira etapa foi feita uma relação deste produto com o produto de vegetação para ajudar na avaliação e classificação dos níveis de degradação nas áreas suscetíveis a desertificação.

4.4.3 Serie de dados de umidade do solo (SMOS)

Na primeira etapa, fez uso de 156 imagens GeoTiff, obtidas com resolução temporal mensal e resolução espacial de 5km, para realizar o processamento, empilhamentos e recortes para área do trabalho no período de 10 anos.

Na segunda etapa, tiveram as análises estatísticas mensais e anuais, para analisar a sazonalidade da precipitação (períodos chuvosos e períodos de seca), mantendo as mesmas características de resolução temporal dos dados.

Na terceira etapa foi feita uma relação deste produto com o produto de vegetação a fim de verificar a capacidade de retenção de água no solo e observar a resposta da vegetação com relação aos valores encontrados da umidade do solo (valores encontrados na literatura.) e ajudar na avaliação e classificação dos níveis de degradação nas áreas suscetíveis a desertificação.

4.4.4 Produto de uso e cobertura de solo (CCI-LC)

A primeira etapa deste dado, foi feita a partir de uma imagem GeoTiff, do produto de uso e cobertura do solo, disponibilizado pelo projeto CCI-LC, que fornece mapas da cobertura terrestre, com resolução espacial de 300 m. Nesta etapa, fez o processamento e recorte do produto para área de estudo.

Na segunda etapa foi feito um mapa temático, com a classificação do uso e cobertura do solo da área estudada. Foi utilizada a imagem do ano de referência 2018 (por ser a mais atual que se pode obter.), e com base nas classificações do uso e cobertura do solo do próprio produto, investigar as áreas degradadas suscetíveis a desertificação, que além do próprio clima (processo natural), também poderiam ter influências antrópicas.

Na análise deste produto fez uma comparação com os diferentes tipos de dados utilizados neste trabalho, para verificar as características encontradas em uma mesma região.

4.4.5 Identificação e avaliação das áreas degradadas suscetíveis à desertificação

Para fazer a identificação das áreas degradadas suscetíveis à desertificação, foi feita uma verificação das regiões que têm forte relação entre a baixa precipitação e baixos valores de umidade no solo e que influenciam na resposta da vegetação. Também foi feita a relação do FVC com os produtos de precipitação, umidade do solo, e uso e cobertura do solo, para fazer uma análise e obter um maior entendimento da dinâmica da região.

Ao avaliar as áreas degradadas, a partir dos dados observados com baixos valores de FVC, baixa precipitação, baixa umidade no solo, foi feita uma comparação com o produto de uso e cobertura do solo.

Para uma melhor compreensão do comportamento das áreas degradadas avaliadas, também foram gerados quatro pontos de controle, sendo dois pontos de controles localizados dentro dos limites de cada município em destaque no estudo (P1 e P2 em Ouro branco e P3 e p4 Senador Rui Palmeira). Esses pontos foram criados, com intuito de ajudar em um maior entendimento da variação da vegetação de forma pontual.

Na utilização dos pontos de controle, foram feitos quatro gráficos, com as relações diretas, dos valores da precipitação, umidade do solo e FVC, e também foi gerada uma linha de tendência para acompanhar o desempenho da vegetação ao longo dos anos dos 14 anos de estudo. Posteriormente deu início as fases de classificação das áreas degradadas.

4.4.6 Classificação das áreas degradadas suscetíveis à desertificação

Durante a classificação das áreas degradadas suscetíveis a degradação, foi utilizada a metodologia adaptada de Gonçalves (2012), que relaciona a classe da degradação, com os valores de reflectância do índice de vegetação. A tabela 4, apresenta as classes de degradação e a correspondência com os seus respectivos valores.

Tabela 4 - Classes de degradação e a correspondência com seus respectivos valores de reflectância do FVC.

Classes de degradação	Valores de refletância da vegetação
Muito Fraca	> 0,35
Fraca	0,30 a 0,35
Moderada	0,25 a 0,30
Forte	0,10 a 0,25
Muito Forte	0,0 a 0,10

Fonte: adaptada de Gonçalves, (2012)

Para as classificações das áreas degradadas, foram feitas divisões de setores com as mesmas proporções, nas áreas mapeadas. Para tal, foram divididas em 9 setores cada região dos municípios analisados. Na divisão dos mesmos, foram classificados a partir da letra ``a`` até a letra ``r``, que é possível verificar na figura 26, visando obter uma resposta mais pertinente a cada setor. No software estatístico ``R``, foram extraídos os valores máximos e mínimos do FVC e calculada as médias para cada setor.

Também foram levadas em consideração as análises dos produtos utilizados para darem suporte a classificação. Por fim, foram feitas as classificações dos níveis de degradação dos limites dos municípios Ouro branco e Senador Rui Palmeira, e também de suas respectivas áreas adjacentes com suas devidas classes.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Análise da vegetação.

Ao fazer a análise preliminar da Figura 17, que traz o mapa espaço-temporal da vegetação interanual média, do período de 2007 a 2020, pôde-se perceber a partir da resposta do FVC, que as áreas do mapa apresentam valores que estão compreendidos entre -0.04 e 0.52. Vale ressaltar que na maior parte da área estudada, os valores encontrados do índice de vegetação encontram-se dentro do intervalo de 0.0 e 0.4.

Essas regiões são mais interessantes para o estudo, pois de acordo com a metodologia de Paixão et al., (2009), os valores de IVDN abaixo de 0.4 indicam áreas degradadas, suscetíveis a desertificação.

Ainda na Figura 17, foi observado, que os valores mais baixos de FVC, que estão próximos de 0.0 estão concentrados em uma única região no município Ouro Branco, enquanto no município Senador Rui Palmeira, encontrasse de forma mais espalhada em seu território. Também é notório que os municípios analisados, estão quase que em totalidade de seus territórios apresentando baixos valores de FVC.

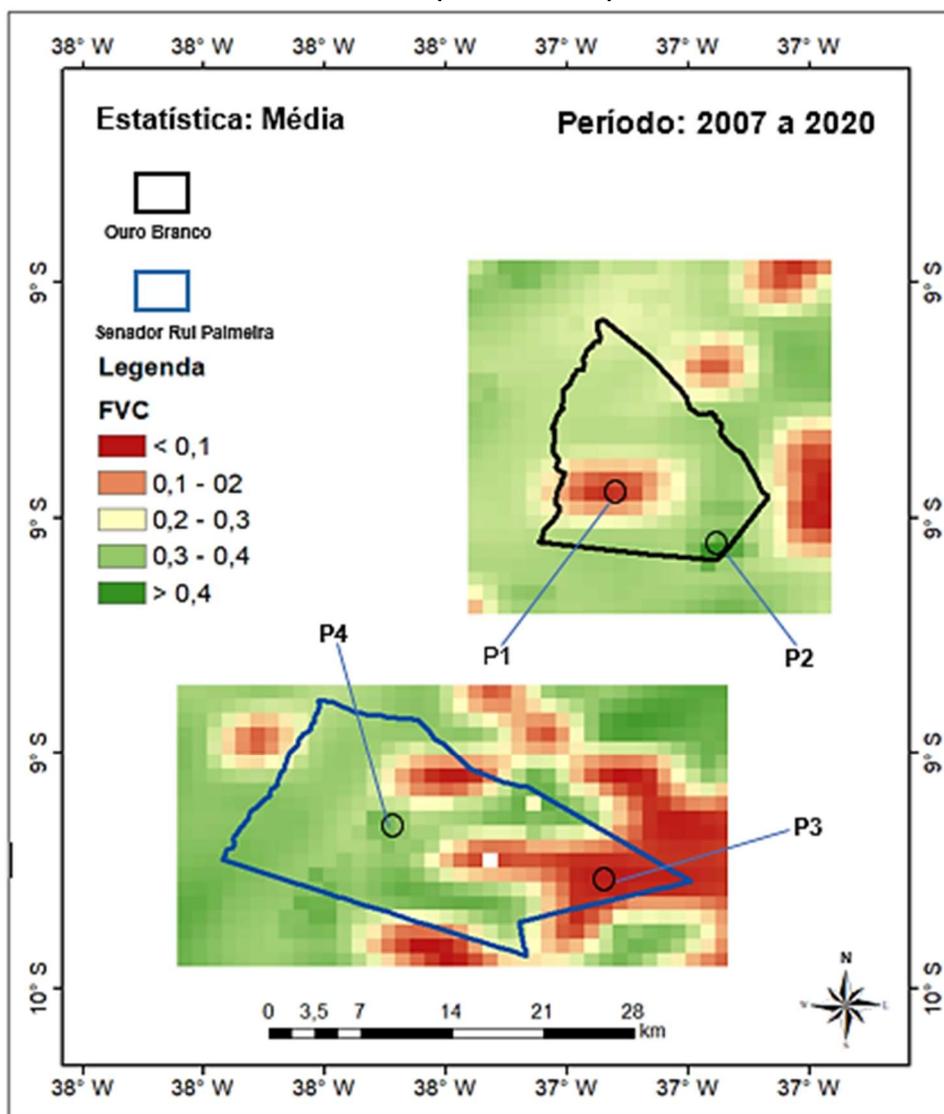
Também é visível e vale ressaltar, que áreas próximas aos municípios, também encontram-se nessa mesma realidade com baixos valores de FVC, sendo possível que a maioria dessas áreas estejam em processo de desertificação. Neste sentido a Figura 16 também destaca, dois pontos de controle que foram escolhidos em cada município (P1 e P2 no município Ouro Branco, P3 e P4 em Senador Rui Palmeira), para serem extraídos os valores de FVC e analisados com maior atenção. Abaixo, a Tabela 5 expressa os resultados dos valores predominantes, máximos e mínimos do FVC, encontrados dentro das regiões de cada município.

Tabela 5 - Valores predominantes, máximos e mínimos dos pixels encontrados dentro dos limites de cada município.

Municípios	Valores predominantes	FVC MAX.	FVC MIN.
Ouro Branco	0.30	0.52	-0.04
Senador R. Palmeira	0.32	0.51	-0.06

Fonte: Autor, (2021)

Figura 17 - Média interanual do FVC, dos municípios Ouro Branco-AL e Senador Rui Palmeiras-AL (2007 a 2020).



Fonte: Autor, (2021)

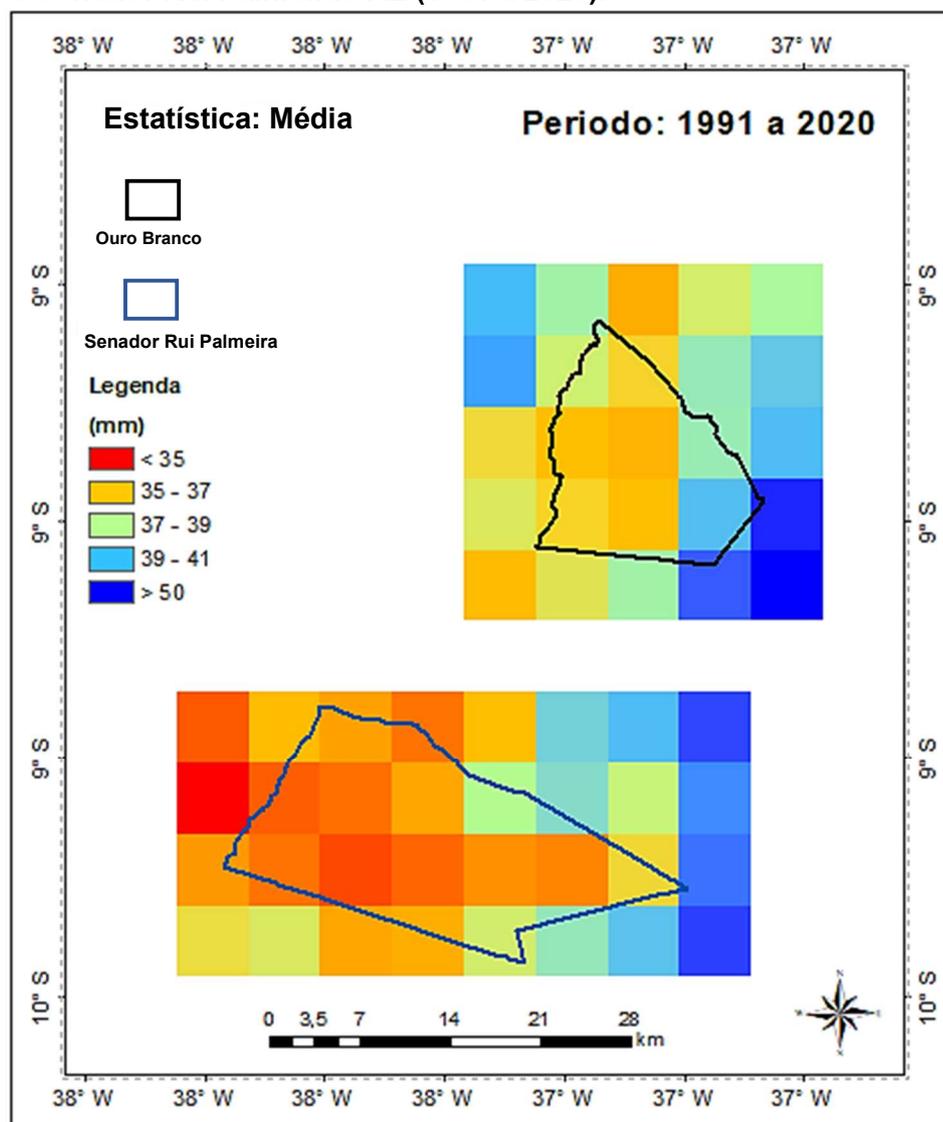
5.2 Análise da precipitação

Através da análise do mapa temático interanual (do período de 1991 a 2020, para obter a climatologia da precipitação das áreas analisadas.), da distribuição espaço-temporal da precipitação média mm/ano retratada na Figura 18, pode-se perceber que houve um déficit de precipitação na maior parte da área do mapa analisado. Vale salientar que também foram encontrados dentro dos limites dos municípios Ouro Branco e Senador Rui Palmeiras, baixos valores de precipitação, que variaram entre 30 mm até 40 mm. Porém em alguns pequenos setores isolados,

próximos aos limites dos dois municípios, foi possível observar a existência de precipitações que podem chegar até um pouco mais de 50 mm.

De acordo com Molion (2002), essa deficiência da precipitação na área do estudo, é em virtude da variabilidade interanual das chuvas no Nordeste brasileiro (NEB), na escala espaço-temporal que está diretamente relacionada a alguns fatores climáticos. Dentre os fatores podemos aludir como exemplos o El Niño e a La Niña, que influencia diretamente no ramo descendente da circulação geral da atmosfera, deslocando os ventos do ramo descendente da célula de Walker para cima do NEB, podendo causar inibição das nuvens que provocam chuvas na região.

Figura 18 - Média da precipitação interanual dos municípios Ouro Branco e Senador Rui Palmeiras-AL (1991 a 2020).



Fonte: Autor, (2021)

Como, verificou-se (Figura 18) uma grande deficiência de chuvas na região analisada e diante da realidade encontrada, podemos constatar que esse fator, indica uma forte influência na ocorrência de secas local e, dependendo do período de ocorrência, frequência e intensidade, esse dispositivo pode acelerar ainda mais o processo de degradação ambiental.

5.3 Análise do uso e cobertura do solo

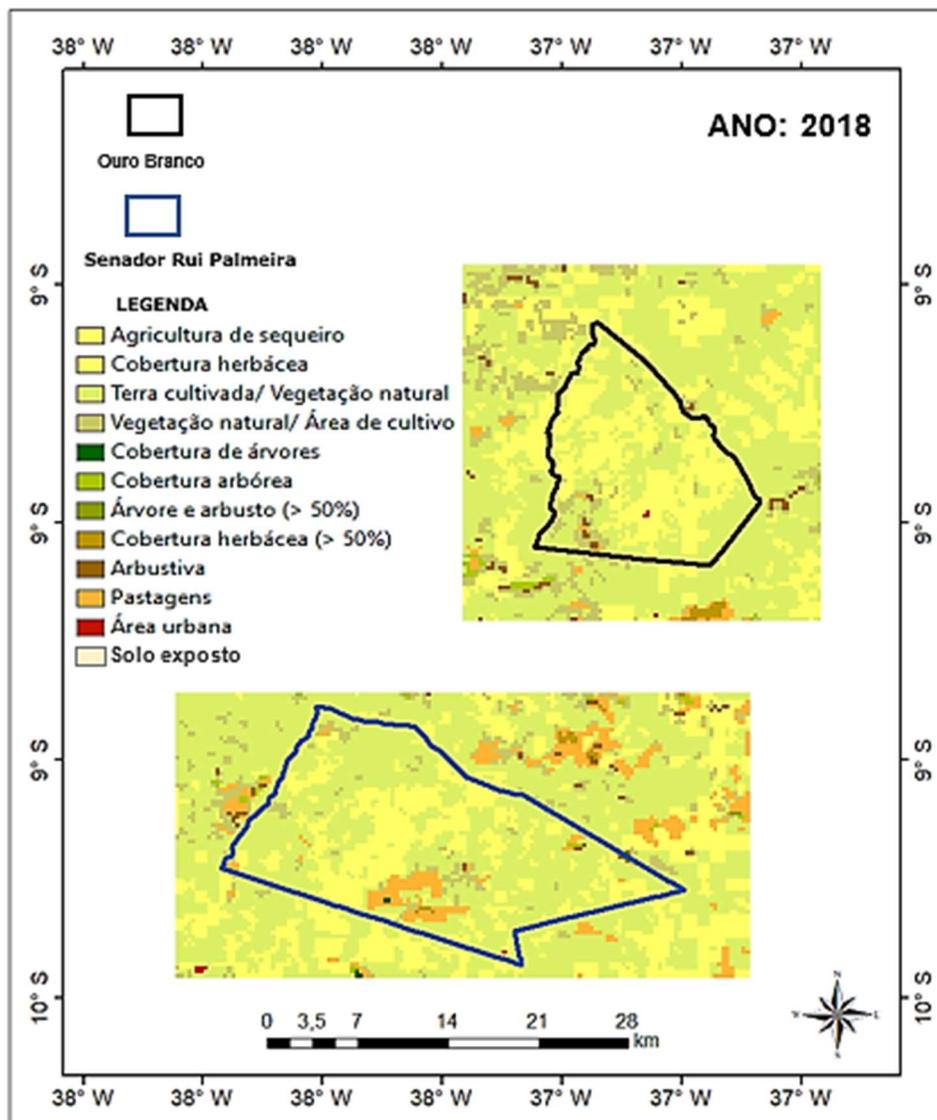
Ao fazer a análise do produto de uso e cobertura do solo, conforme apresenta a Figura 19, foi possível verificar pelos resultados obtidos, que além de áreas urbanas, existem algumas classes de solos que se destacam na área estudada (sendo elas 12 classes distintas). As classes que se apresentaram em destaques são: agricultura de sequeiro, área cultivada, agrícola/vegetação natural, arbusto, pastagem, solo exposto e cobertura de árvore.

Neste momento do estudo, pode-se constatar, a partir das análises dos resultados do mapa temático, que ao longo dos últimos anos as mudanças detectadas no uso e cobertura do solo, classificadas pelos critérios próprios da ESA que disponibiliza o produto, mostraram que tiveram alterações significativas na paisagem dos municípios Ouro Branco e Senador Rui Palmeira.

Foi possível identificar as variações na paisagem a partir das informações obtidas no mapa de uso e cobertura do solo de referência do ano de 2018, pois uma vez que em uma certa área existia uma vegetação nativa e a partir da resposta do produto, as mesmas sofreram ao longo dos anos algumas alterações.

A maiorias das áreas analisadas sofreram de forma significativa interferências antrópicas, tendo como algumas de suas principais mudanças, solo com vegetação natural para solo cultivado ou de vegetação natural para solo agrícola. Vale ressaltar, que as intensas alterações na cobertura do solo observadas classificadas pelo próprio produto, evidenciam os conflitos entre o uso inadequado do solo e a preservação das áreas com vegetação natural.

Figura 19 – Uso e cobertura do solo dos municípios Ouro Branco-AL e Senador Rui Palmeiras-AL (ano de referencia 2018).



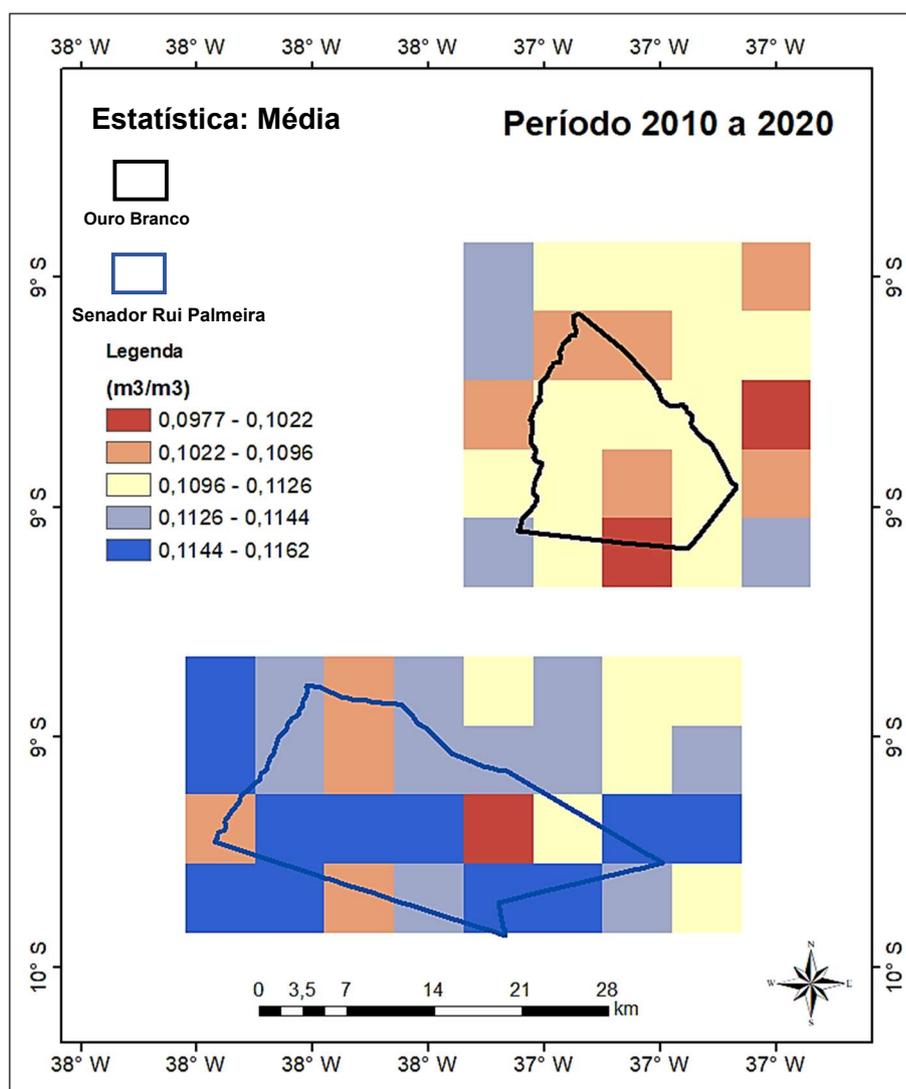
Fonte: Autor, (2021)

5.4 Análise da umidade do solo

Na Figura 19, através do produto de umidade do solo, nota-se que na região dos municípios analisados, os valores encontrados de água retida no solo, estão abaixo de $0,12 \text{ m}^3/\text{m}^3$, justificando o motivo de algumas áreas, estarem com baixos valores no índice de vegetação. Ainda através da figura 20, podemos observar que a região em que se encontra o município Ouro Branco, estão com os mais baixos valores de umidade do solo, localizados na área de estudo. Dentro do limite do município podemos encontrar valores máximo e mínimo da umidade do solo, compreendidos no intervalo de 0.1144 e 0.0977.

A região onde encontra-se o município Senador Rui Palmeira, detem os maiores valores de umidade no solo encontrados, no entanto esses valores estão muito abaixo do ideal para uma boa qualidade da vegetação. Nesta área os valores encontram-se entre o máximo de 0.1162 e o mínimo de 0.0977. Vale salientar que através desse dado, podemos adquirir muitas informações, das alterações da umidade do solo.

Figura 20 - Média interanual da umidade do solo, dos municípios Ouro Branco-AL e Senador Rui Palmeiras-AL (2010 a 2020).



Fonte: Autor, (2021)

5.5 Identificação e avaliação das áreas degradadas suscetíveis à desertificação

Após ser feita a análise dos produtos utilizados no trabalho, pode-se observar que a nítida influência do clima com predominância de baixa precipitação, junto com

as características dos solos da região (rasos e pedregosos), fatores esses que, ajudam na baixa capacidade de retenção de água no solo. Essas condições, contribuem para que a resposta da vegetação seja os baixos valores de FVC, que no geral estão compreendidos entre 0.0 e 0.4. Como mencionado anteriormente na metodologia, de acordo com Paixão et al., (2009) os valores do índice de vegetação abaixo de 0.4, são características das áreas que sofrem o processo de degradação e que conseqüentemente, estão suscetíveis a desertificação.

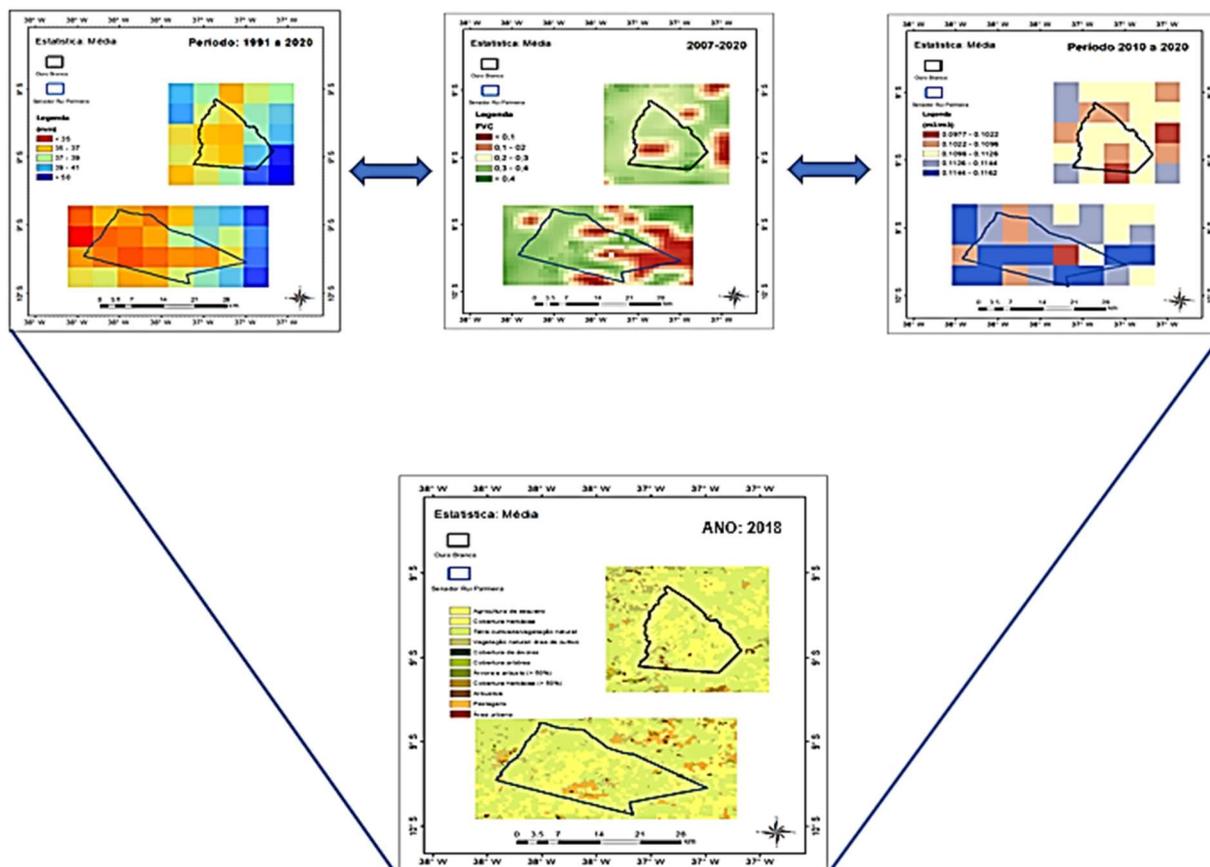
Após ser feita a comparação dos produtos, também, pôde-se notar que em algumas dessas áreas que ocorreram alterações no uso e cobertura do solo, como pode ser visto na Figura 21, foram causadas por ação antrópica. Logo após, pode-se constatar que boa parte das áreas dos municípios analisados sofreram de forma significativa interferências humana. Dentre as principais modificações percebidas que podemos citar, temos como exemplo: as mudanças do solo com vegetação natural para solo cultivado, solo agrícola e solo exposto que possivelmente sejam áreas que já sofrem o processo de desertificação.

Ao longo da avaliação das áreas degradadas, foi visível que existe uma tendência para as variações detectadas no intervalo do tempo da investigação, sendo que as transformações mais observadas foram: de vegetação natural para solo cultivado, ou de vegetação natural para solo agrícola.

Durante a análise foi perceptível, que existem áreas que a degradação é apenas um processo natural do ambiente, devido a climatologia e os demais fatores (Exemplos: déficit de precipitação e as recorrentes e prolongadas secas). Já em outros casos, pôde-se comprovar através do FVC, da precipitação, da umidade do solo e do produto de uso e cobertura do solo, que o processo de degradação, é totalmente devido a ambos os fatores, sendo eles, processo climático e por influências humana (Exemplos: desmatamento, queimadas, irrigação ineficiente e uso inadequado do solo).

Também ficou evidente na fase de avaliação, que em algumas áreas não há uma forte relação entre a precipitação e os valores de umidade do solo, com os baixos valores de FVC que fazem com que essas áreas tenham fortes níveis de degradação. Porém pôde-se entender através do produto de uso e cobertura do solo, que existem áreas que ainda não estão em estágios críticos de degradação, mas que também já sofrem pelo processo de interferências antrópicas.

Figura 21 - Relação do FVC com precipitação e umidade do solo, comparando com as características do uso e cobertura do solo.



Fonte: Autor, (2021)

Abaixo as Figuras de numeração 22 a 25, apresentam os gráficos da relação dos produtos dos quatro pontos de controle, onde a partir deles foi possível ter uma melhor compreensão do comportamento das áreas degradadas avaliadas. Esses pontos ajudaram a ter um maior entendimento da variação da vegetação de forma pontual. E a partir da linha de tendência pode-se acompanhar o desempenho da vegetação ao longo dos anos dos 14 anos de estudo.

Ao analisar os gráficos nos quatro pontos de controle, pôde-se perceber que nem todos os comportamentos da resposta da vegetação, estão associados a dinâmica da precipitação. O comportamento da vegetação foi evidenciado, a partir dos dados observados durante o intervalo de estudo. Pois em alguns momentos do estudo, pode-se observar que mesmo onde houveram precipitações acima das médias interanuais (Médias interanuais da precipitação: P1= 37 mm; P2= 40 mm; P3= 35 mm e P4= 35 mm), a vegetação teve uma diminuição nos valores do seu índice, ao longo dos anos da pesquisa.

Ao observarmos o comportamento da precipitação média climatológica mês/ano, nos quatro pontos de controle, pode-se perceber no decorrer do período estudado, que alguns anos se destacaram, sendo possível identificar no intervalo estudado, que alguns anos apresentaram precipitações pluviométricas superiores e inferiores à média nos quatro pontos. Entre os anos em destaque, temos: o ano de 2009 e 2020, onde tiveram as maiores precipitação (ao longo dos 30 anos e dentro do período da pesquisa). Nestes anos, a precipitação dos pontos chegou a um pouco mais de 50 mm.

Outro momento que também teve uma precipitação que merece atenção, foi o ano de 2012, onde tivera os menores valores, com pluviometria total acumulada inferiores à média, e foi o ano que fora registrada uma seca muito severa na região semiárida e de acordo com IBGE (2012), teve repercussões socioeconômicas muito negativa.

Ao fazer a relação da precipitação e a umidade do solo no mesmo período, pode-se observar uma interação muito boa entre os produtos em alguns determinados momentos. Vale ressaltar, que onde ocorreu divergências nas respostas dos produtos, pode estar associado, aos diferentes tipos de solo. De acordo com Pelinson (2016), uma possível explicação desse comportamento do produto de umidade do solo, pode ser o fato do satélite medir os primeiros cinco centímetros do solo, e a essa profundidade a variação do mesmo acontece rapidamente.

Ao analisar os resultados dos dados de vegetação nos gráficos, pode-se perceber que exceto no ponto de controle 3, os demais pontos, tiveram valores de FVC que apresentam uma descida ainda que não brusca na linha de tendência. Embora mesmo os pontos tendo uma distribuição de precipitações semelhantes, é evidente que resultaram com diferença na resposta da vegetação. Essa realidade, pode ser evidenciada ao observamos que nos pontos P1 e P3, encontramos valores do índice de vegetação muito próximos de 0,0 caracterizando áreas com fortes níveis de degradação e possivelmente dominada pelo processo de desertificação. Enquanto que nos pontos P2 e P4, os valores encontrados mostram que essas áreas observando de forma pontual, não estão com seus níveis de degradação forte, ainda sendo possível encontrar vegetação natural.

A observação do resultado pontual do produto de vegetação, nos permitiu verificar uma diferença nos padrões de comportamento do índice, apresentando os melhores e piores desempenho da vegetação. No entanto, essas diferenças nas

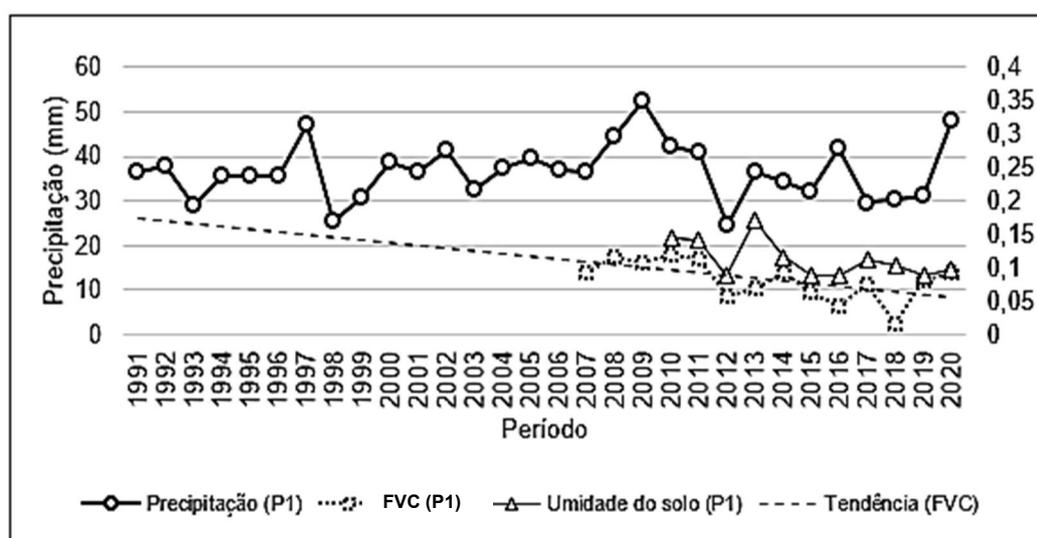
respostas da vegetação em diferentes pontos já eram esperadas, levando em consideração, aos diferentes uso e manejo do solo em cada região.

Ao analisar o comportamento da média mês/ano climatológica da precipitação na Figura 22 (P1), percebe-se que com exceção aos anos que tiveram precipitação acima (1997, 2009 e 2020) ou abaixo (1998 e 2012) do padrão local, nos demais anos os valores encontrados se mantiveram entre 25 mm e 40 mm.

Foi possível observar também, que a partir do período de disponibilidade dos dados de umidade do solo, apenas no intervalo entre os anos 2010 a 2015, a umidade local nesse ponto de controle, acompanhou o regime de precipitação. Sendo assim ficou claro que este fato influenciou de forma significativa no desempenho da vegetação, pois no geral pode-se observar que nas áreas que ainda tem uma boa capacidade de retenção de água no solo, os valores encontrados do FVC foram maiores.

Neste ponto os valores máximo e mínimo do FVC então compreendidos entre 0,120 e 0,015, que apesar de serem valores muito baixo e com tendência negativa, é possível perceber a capacidade de resiliência dessa vegetação local, pois é possível observar, que mesmo com déficit de precipitação ao longo dos anos analisados, a vegetação ainda responde de forma positiva quando chove.

Figura 22 - Gráfico da relação entre os produtos de FVC, precipitação e umidade do solo no ponto 1.

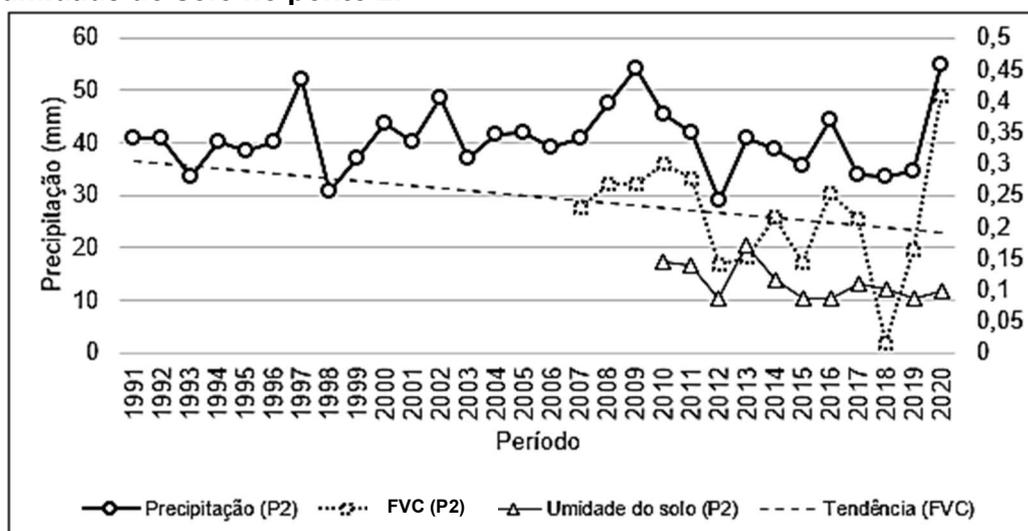


Fonte: Autor, (2021)

Observando no gráfico a média mês/ano climatológica da precipitação na Figura 23 (P2), notasse que mantém o mesmo padrão que teve na precipitação do P1, com os valores máximos nos anos de (1997, 2009 e 2020), chegando próximo de 60 mm e apresentando em nos anos (1998 e 2012) valores um pouco menos de 30 mm no ponto local. Nos outros anos os valores encontram-se em um intervalo de 30 mm a 50 mm.

Sendo também perceptível no P2, que a partir do período de disponibilidade dos dados de umidade do solo, similarmente ao P1 a partir do ano de 2015, a umidade do solo local não acompanhou de forma tão rígida o regime de precipitação como mostra o gráfico. Apesar de encontramos uma vegetação mais saldável neste ponto, com valores de FVC que variam de 0,014 a 0,406, ainda sim é preocupante pois a linha de tendencia negativa nos leva a crer, que a vegetação está perdendo por algum motivo, seja ele climático ou por influência antrópica a sua capacidade de se restabelecer diante aos autos e baixos do regime de precipitação.

Figura 23 -Gráfico da relação entre os produtos de FVC, precipitação e umidade do solo no ponto 2.



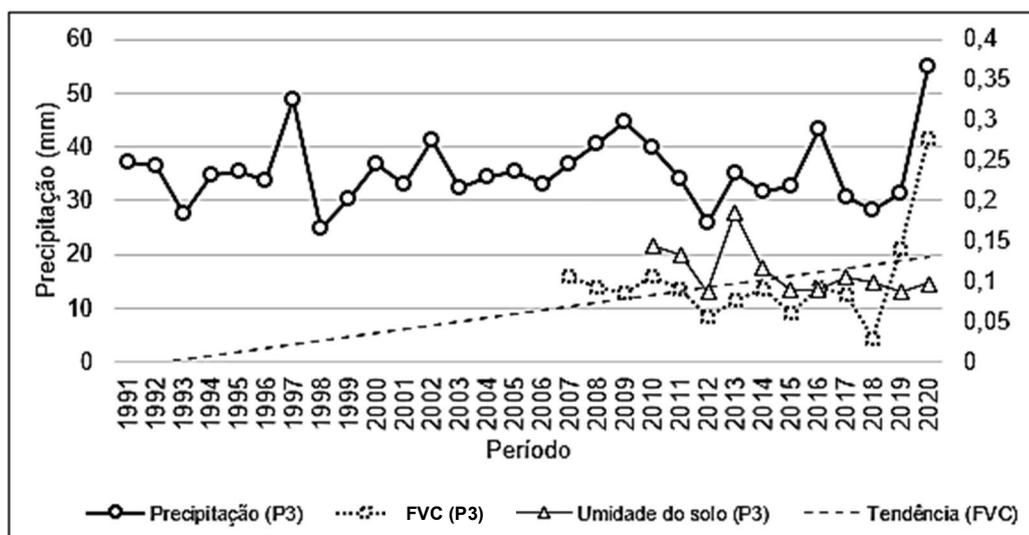
Fonte: Autor, (2021)

Na análise da Figura 24 que mostra o comportamento das variáveis no ponto 3, foi possível verificar que a média mês/ano climatológica da precipitação no geral se mantiveram entre 30 mm e 40 mm. Toda via em alguns anos tiveram precipitações com valores ainda mais baixo, apresentando uma vegetação com menos vigor, sendo possível observar no gráfico.

É visível que a partir do ano 2013 a umidade do solo local se manteve muito baixa, porem mesmo de forma discreta acompanhou o regime de precipitação,

fazendo com que tivesse uma leve melhora na resposta da saúde da vegetação. O fato ora mencionado, também mostra o potencial da vegetação local em se restabelecer com uma climatologia favorável, sendo possível observar essa resiliência na linha de tendencia. Neste ponto foi encontrado valor de FVC máximo de 0,276 e mínimo de 0,029.

Figura 24 - Gráfico da relação entre os produtos de FVC, precipitação e umidade do solo no ponto 3.

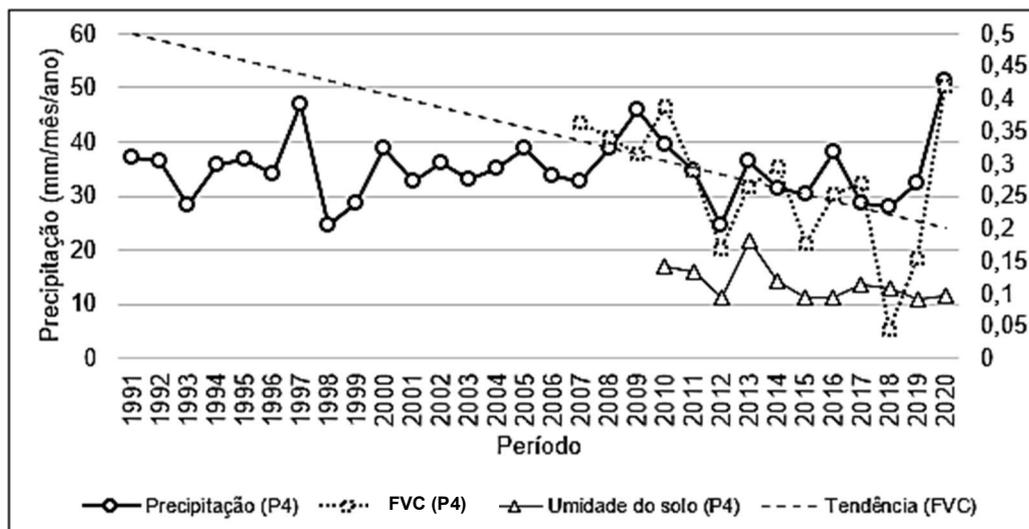


Fonte: Autor, (2021)

Ao analisar o gráfico do ponto 4, apresentado na Figura 25, fica claro que é muito forte a influência da precipitação na vegetação em praticamente todos os anos da análise. Porém podemos observar que mesmo não tendo valores tão baixos do índice de vegetação, encontramos uma vegetação mais saudável, no entanto, presenciamos uma linha de tendencia do FVC negativa, o que nos faz acreditar, que possivelmente essa tendência negativa, venha ser pelo fato de mesmo acompanhando o regime de precipitação, houve uma grande diminuição da capacidade de retenção de água no solo, onde é visível no gráfico.

Neste ponto a variação de precipitação máxima foi próximo de 50 mm e a mínima de 25 mm. Onde os valores de FVC encontrados neste ponto estão compreendidos entre 0,014 e 0,406, ainda sim também é muito preocupante pois mais uma vez, a linha de tendencia negativa nos mostra que a vegetação está perdendo a capacidade de se restabelecer diante as circunstâncias.

Figura 25 - Gráfico da relação entre os produtos de FVC, precipitação e umidade do solo no ponto 4.



Fonte: Autor, (2021)

5.6 Impactos da seca de 2011 a 2017 nos municípios Ouro Branco – AL e Senador Rui Palmeira -AL

Após todas as análises das relações entre os produtos utilizados na pesquisa, ficou claro que a diminuição ou ausência da precipitação, geram grandes impactos do processo de desertificação nos municípios estudados. Como consequências dos resultados do déficit de precipitação, podemos observar os baixos valores do FVC compreendidos na maioria das áreas entre 0.0 e 0.4, que assinalam possíveis áreas degradadas., A partir do produto do uso e cobertura do solo, encontram-se grandes regiões com mudanças da vegetação natural, para áreas cultivadas, áreas de agricultura e solo exposto. Através das observações dos dados de vegetação e do produto do uso e cobertura do solo, ficou visível que uma grande parcela da região estudada, já se encontra favorável ao processo de desertificação.

O que no intervalo entre os anos 2011 a 2017 inicialmente era um período de estiagem, passou a ser considerado seca. Normalmente percebe-se a intensidade do fenômeno algum tempo depois do início do mesmo. Alguns modelos climáticos tentam prever as secas, mas a grande incerteza acaba dificultando as previsões.

Buriti e Barbosa (2018), em sua pesquisa, utilizaram séries temporais de precipitação abrangendo o semiárido brasileiro, entre os meses de março a maio (estação chuvosa da região), para o intervalo de 1901 a 2016, compreendendo o período de 115 anos. Os autores por meio do Standardized Precipitation Index-SPI

analisaram a duração, frequência e gravidade das secas meteorológicas, o que foi muito importante, para terem uma maior compressão do comportamento e magnitude dos fenômenos ao longo dos anos. Os dados possibilitaram avaliar os anos de ocorrência de chuva intensas em relação à média histórica acumulada. De acordo com os autores, através dos dados científicos que comprovam, a seca de 2011 a 2017 foi a mais severa e duradoura no período de mais de 100 anos onde os mesmos lhe deram o nome de: “A seca do século”.

Abaixo na Tabela 6, é apresentada a comparação dos números de municípios que declararam situação de emergência, nos anos de 2011 a 2017 no estado de Alagoas em razão da seca. Através dos dados pode-se verificar, que os municípios que declararam situação de emergência, na área de atuação da Sudene aumentou tendo a maior inclusão no ano de 2017. Vale ressaltar que para inclusão dos municípios a situação de emergência, são levados em consideração os impactos que afetam de forma direta a população menos favorecida, que normalmente dependem de incentivos governamentais e que frequentemente se encontram em condições de extrema pobreza.

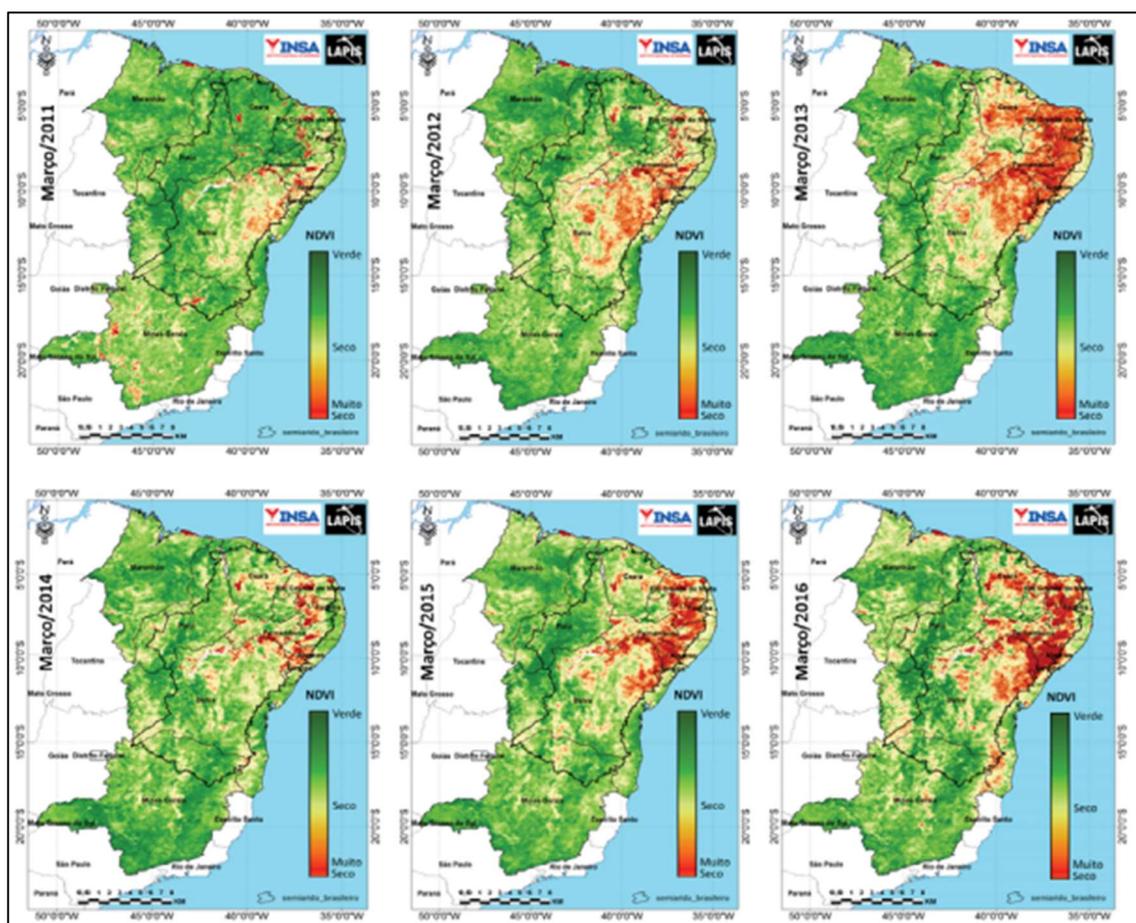
Tabela 6 - Número de municípios com decreto de emergência em Alagoas em 2011 e no período da seca de 2012 a 2017.

ALAGOAS: Estado de atuação da Sudene.						
2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
00	36	59	43	38	40	71

Fonte: Brasil, (2017)

De acordo com Buriti e Barbosa (2018), a seca é vista como um desastre natural crônico-silencioso, com impactos econômicos negativos que atinge milhares de pessoas, sendo por muitas vezes ignoradas pelos formuladores de políticas públicas. Os autores em sua pesquisa, analisaram os dados de IVDN do semiárido brasileiro, onde também contempla os municípios Ouro Branco e Senador Rui Palmeira, na escala temporal de 2011 a 2016. No estudo os autores enfatizaram que o período mais crítico foi observado entre os anos de 2012 e 2013, quando houve a intensificação da seca. A Figura 26 Apresenta a distribuição espaço-temporal do IVDN, do mês de março no período dos anos de 2011 a 2016.

Figura 26 - Distribuição espaço-temporal do NDVI do mês de março de 2011 a 2016.

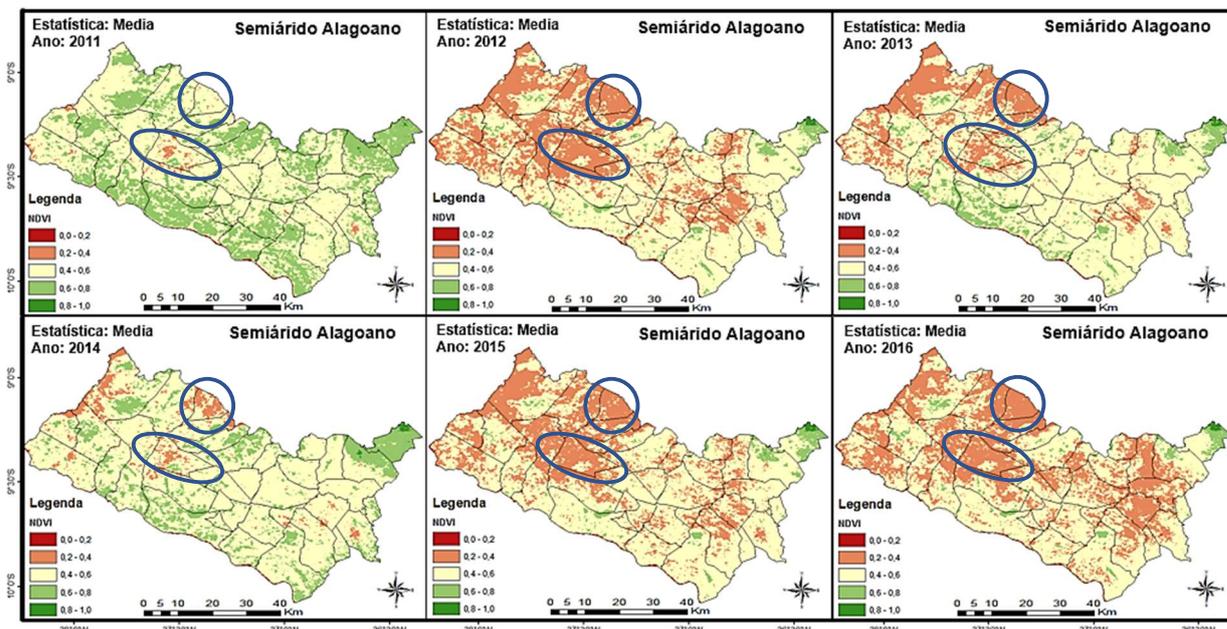


Fonte: Buriti e Barbosa, (2018)

Costa et al. (2020), em seu estudo também analisou o IVDN e observou a partir da resposta da vegetação, que os valores mais baixos do índice no semiárido alagoano no período de 2006 a 2016, estão compreendidos entre 0.0 e 0.4. O autor também percebeu que os municípios Ouro Branco e Senador Rui Palmeira, estão com quase totalidade de seu território apresentando valores de IVDN muito baixo, e sugere que a maioria das áreas dos municípios, já estejam em processo de desertificação.

É possível observar a partir dos resultados de Costa et al. (2020), que ocorreu uma forte mudança negativa na resposta do índice de vegetação a partir do ano 2012, mostrando mais uma vez os danos da seca sobre as regiões analisadas. A Figura 27, apresenta as médias anuais do IVDN do período de 2011 a 2016, trazendo valores do IVDN próximos de 0.0, correspondendo a solo exposto, e destaca os impactos da seca no processo de desertificação nos municípios Ouro Branco e Senador Rui Palmeira.

Figura 27 - Distribuição espaço-temporal da média interanual do IVDN do período de 2011 a 2016.



Fonte: Adaptada de Costa et al., (2020)

De acordo com Buriti e Barbosa (2018), a extensão e frequência recorrentes das secas, prejudicam diversas atividades econômicas nas áreas da agricultura, pecuária, indústria e a comunidade em geral, que desestrutura diversos setores como agricultura familiar e empresas ligadas ao agronegócio. Na ocorrência de fenômenos climáticos extremos (Ex: Altas ou baixas temperaturas, chuvas em excesso ou secas), o setor agropecuário é um dos primeiros a sentir os impactos (Santana e Santos 2020).

Sabe-se que o setor agropecuário apesar de ser um dos primeiros, não é o único setor prejudicado pelo déficit de precipitação e vale destacar também, os impactos da seca sobre os municípios analisados. É inegável que os danos causados por uma grande seca como a de 2011 a 2017, extrapolam as esferas ambientais, econômicas, políticas e as importantes questões sociais envolvidas. Os prejuízos causados pela seca aumentam a compressão sobre a Caatinga, deixando-a mais vulnerável, diminui a condição dos agricultores familiares, aumenta o extrativismo, e a pressão dos habitantes locais sobre os recursos naturais, sobretudo na vegetação.

Neste trabalho ganhou destaque, os impactos do mais recente período de seca, sobre a produção agrícola das culturas do milho e do feijão, pelo fato dessas culturas terem sido as mais prejudicadas da região estudada. Neste estudo foi levado em consideração que o setor agrícola, afetou de forma muito negativa as atividades

econômicas de ambos os municípios e reflete a complexa realidade vivenciada na região.

A receita propiciada por atividades do setor agrícola, mostrou quão grande instabilidade na produtividade ocorreu nos períodos das secas. Assim, considerando a discrepância na quantidade produzida entre os anos de 2011 e 2017, observou-se que as culturas apresentaram grande queda na produção, sobretudo no ano de 2012, que marca o primeiro ano de estiagem e também no ano de 2016.

De acordo com Santana e Santos (2020), os produtos que apresentaram as maiores quedas na produção (milho e feijão), são característicos de atividades realizadas por pequenos produtores, e principalmente da agricultura familiar (Lei no 11.326/2006 e Decreto no 9.064/2017). O autor ressalta, que o prejuízo é muito impactante uma vez que as culturas, têm grande importância para segurança alimentar.

Os danos na queda da produção são realmente muito impactantes para os municípios Ouro Branco e Senador Rui Palmeira, pois conforme a análise do produto de uso e cobertura do solo, apresentada anteriormente na Figura 19, foi possível verificar através dos resultados obtidos, que existem 12 classes distintas do uso do solo que se destacam na área estudada. As classes que se apresentaram em destaques são: agricultura de sequeiro, área cultivada/agrícola, vegetação natural, arbusto, pastagem e cobertura de árvore.

Também pode-se constatar a partir dos resultados do mapa temático, que ao longo dos últimos anos a maiorias das áreas analisadas, sofreram alterações significativas no uso e cobertura do solo dos municípios, tendo como algumas de suas mudanças: solo com vegetação natural para solo cultivado ou de vegetação natural para solo agrícola. Sendo possível observar o quão presente está a agricultura nos municípios Ouro Branco e Senador Rui Palmeira, os resultados obtidos no presente trabalho, corroboram com a ressalva feita pelos autores Santana e Santos (2020), quando mencionam sobre os impactos e a importâncias de algumas culturas para segurança alimentar, devido sua vulnerabilidade econômica.

A Tabela 7 e Tabela 8, apresentam as comparações das culturas de feijão e do milho, do período 2011 a 2017, que marcam a safra anterior ao início da última grande seca (ano de 2012) e o último ano, realçando quantitativamente uma pequena fração dos impactos do déficit de precipitação e da seca, no processo de desertificação nos municípios analisados.

Tabela 7 - Variação da produção do feijão e do milho, em 2011 e nos anos de seca do período de 2012 a 2017 em Ouro Branco – AL.

Lavoura Temporária de Feijão em Ouro Branco - AL				
ANO	Área Plantada (Há)	Área Colhida (Há)	Produção (TON)	Vlr da Produção (R\$)
2011	1212	793	235	360.000
2012	61	12	1	1.000
2013	809	163	45	209.000
2014	550	165	12	14.000
2015	1500	1500	122	287.000
2016	300	15	1	9.000
2017	1500	975	410	752.000

Lavoura Temporária de Milho em Ouro Branco - AL				
ANO	Área Plantada (Há)	Área Colhida (Há)	Produção (TON)	Vlr da Produção (R\$)
2011	756	756	136	71.000
2012	30	0	0	0
2013	809	162	78	45.000
2014	809	809	57	31.000
2015	1900	1900	110	83.000
2016	300	9	1	2.000
2017	1500	975	634	317.000

Fonte: SEPLAG/IBGE, (2021)

Tabela 8 - Variação da produção do feijão e do milho, em 2011 e nos anos de seca do período de 2012 a 2017 em Senador Rui Palmeiras – AL.

Lavoura Temporária de Feijão em Senador Rui Palmeira - AL				
ANO	Área Plantada (Há)	Área Colhida (Há)	Produção (TON)	Vlr da Produção (R\$)
2011	1212	793	235	360.000
2012	61	12	1	1.000
2013	809	163	45	209.000
2014	550	165	12	14.000
2015	1500	1500	122	287.000
2016	300	15	1	9.000
2017	1500	975	410	752.000

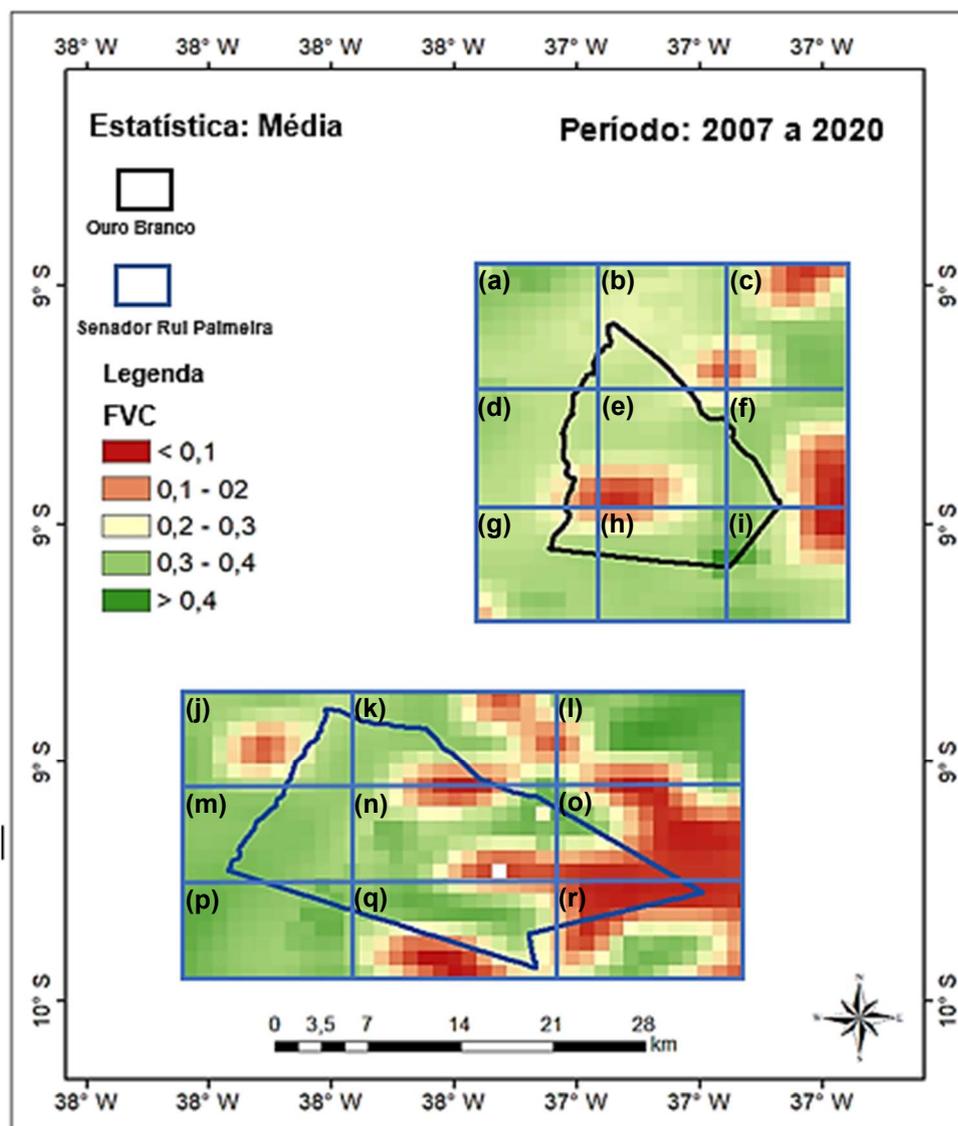
Lavoura Temporária de Milho em Senador Rui Palmeira - AL				
ANO	Área Plantada (Há)	Área Colhida (Há)	Produção (TON)	Vlr da Produção (R\$)
2011	606	606	108	54
2012	36	0	0	0
2013	820	160	79	48
2014	1350	1350	972	535
2015	750	0	0	0
2016	750	75	2	4
2017	363	72	13	5

Fonte: SEPLAG/IBGE, (2021)

5.7 Classificação dos níveis de degradação

Com auxílio da Figura 28, que apresenta as divisões das áreas mapeadas, pode-se fazer a classificação dos níveis de degradação dos limites dos municípios Ouro branco e Senador Rui Palmeira e também de suas respectivas áreas adjacentes, expostas na Tabela 9, que se encontra logo abaixo. É possível observar na imagem, que para classificação das áreas dos municípios, foi feita uma divisão em 18 setores visando obter uma resposta mais pertinente a cada setor. Na divisão os mesmos foram classificados a partir da letra ``a`` até a letra ``r``.

Figura 28 - Divisão dos setores para classificar as áreas degradadas.



Fonte: Autor, (2021)

Tabela 9 – Análise e classificação das áreas degradadas.

Setor	FVC	Precipitação	Umidade do solo	Cobertura do solo	Classificação
a	Max. 0,43 Min. 0,27 Média 0,35	Moderada	Moderada	•Vegetação natural •Terra cultivada.	Fraca
b	Max. 0,31 Min. 0,19 Média 0,25	Moderada	Moderada	•Vegetação natural •Terra cultivada.	Moderada
c	Max. 0,40 Min. 0,04 Média 0,22	Moderada/ Alta	Baixa / Moderada	•Vegetação natural (pouca) •Terra cultivada •pastagem	Forte
d	Max. 0,32 Min. 0,05 Média 0,19	Baixa	Baixa	•Vegetação natural (pouca) •Terra cultivada	Forte
e	Max. 0,32 Min. 0,02 Média 0,17	Baixa/ Moderada	Baixa / Moderada	•Vegetação natural (pouca) •Terra cultivada •Pastagem •Área urbana.	Forte
f	Max. 0,37 Min. 0,01 Média 0,18	Baixa	Baixa	•Vegetação natural (discreta) •Área cultivada	Forte
g	Max. 0,36 Min. 0,30 Média 0,33	Baixa / Moderada	Baixa / Moderada	•Vegetação natural (discreta) •Área cultivada •Cobertura herbácea	Fraca

				•Pequena área de pastagem	
h	Max. 0,36 Min. 0,02 Média 0,19	Baixa / Moderada,	Baixa / moderada	•Vegetação natural (discreta) •Área cultivada •Cobertura herbácea •Pequena área de pastagem	Forte
i	Max. 0,36 Min. 0,01 Média 0,19	Moderada / alta	Baixa / moderada	•Vegetação natural (discreta) •Área cultivada	Forte
j	Max. 0,38 Min. 0,04 Média 0,21	Baixa / Moderada	Baixa / Moderada	•Vegetação natural (discreta) •Muita área cultivada •Cobertura herbácea •Pouca área de pastagem	Forte
k	Max. 0,38 Min. 0,03 Média 0,21	Baixa / Moderada	Baixa / Moderada	•Vegetação natural (discreta) •Muita área cultivada •Cobertura herbácea •Pequena área de pastagem	Forte

l	Max. 0,50 Min. 0,02 Média 0,26	Baixa / Moderada	Baixa / Moderada	<ul style="list-style-type: none"> •Muita área cultivada •Agricultura de sequeiro 	Moderada
m	Max. 0,40 Min. 0,34 Média 0,37	Moderada	Moderada / Alta	<ul style="list-style-type: none"> •Muita área cultivada •Agricultura de sequeiro •Discreta área de pastagem. 	Fraca
n	Max. 0,35 Min. 0,01 Média 0,18	Baixa	Moderada / Alta	<ul style="list-style-type: none"> •Muita área cultivada •Agricultura de sequeiro 	Forte
o	Max. 0,09 Min. 0,03 Média 0,06	Moderada	Baixa	<ul style="list-style-type: none"> •Muita área cultivada •Agricultura de sequeiro •Pequena área de pastagem 	Muito Forte
p	Max. 0,44 Min. 0,37 Média 0,41	Baixa	Moderada / Alta	<ul style="list-style-type: none"> • área cultivada •Agricultura de sequeiro •Discreta área urbana 	Fraca
q	Max. 0,44 Min. 0,04 Média 0,24	Baixa	Moderada / Alta	<ul style="list-style-type: none"> •Muita área cultivada •Cobertura herbácea •Agricultura de sequeiro 	Forte

				•Pequena área de pastagem	
r	Max. 0,40 Min. 0,03 Média 0,22	Baixa	Moderada / Alta	•Muita área cultivada •Cobertura herbácea •Agricultura de sequeiro •Pequena área de pastagem	Forte

Fonte: Autor, (2021)

Depois de fazer as classificações dos setores apresentados na Figura 28, foi gerada a Tabela 10, que expressa as informações das classes atribuídas as áreas em porcentagem. Observa-se ainda na Tabela 10, que dentre as classificações propostas nos objetivos, não foram encontradas nenhuma região que atendesse a classe de degradação muito fraca, sendo assim a mesma ficou com valor de 0,0%. Também é possível observar, que a classe de degradação muito forte destaca-se apenas na região do município Senador Rui Palmeira, onde teve o seu valor percentual de 11,1% considerando apenas a área do município ora citado e compreendendo 5,6% da área total da análise.

Tabela 10 – Tabela da porcentagem das classificações dos setores dos municípios analisados.

	Ouro Branco	Senador Rui Palmeira	Geral (Nos 2 Municípios)
Muito Fraca:	0,0%	Muito Fraca: 0,0%	Muito Fraca: 0,0%
Fraca:	22,2%	Fraca: 22,2%	Fraca: 22,2%
Moderada:	11,1%	Moderada: 11,1%	Moderada: 11,1%
Forte:	66,7%	Forte: 55,6%	Forte: 61,1%
Muito Forte:	0,0%	Muito Forte: 11,1%	Muito Forte: 5,6%

Fonte: Autor, (2021)

De acordo com o que sugerem Barbosa et al. (2015), algumas dessas regiões devem ser classificadas como áreas de degradação do solo induzida por interferência antrópica, por que a resposta do Índice de vegetação pode variar em razão das alterações do uso do solo. Conforme Silva (2015), o desmatamento de florestas para fins agrícolas ou pastagens, reduzem os valores encontrados do FVC. Durante todas as fases de análises do presente estudo, pode-se perceber a influência não só do clima ao ambiente, como também do homem gerando danos significativos as áreas analisadas.

6. CONCLUSÕES

A metodologia adotada no presente trabalho, mostrou-se satisfatória, pois atendeu as etapas estabelecidas em seus objetivos. Identificou-se as áreas suscetíveis a desertificação, relacionando os produtos de precipitação (dados SHIRPS), vegetação (FVC) e umidade do solo (SMOS) com as características do uso e cobertura do solo dos municípios analisados. A partir das relações entre os produtos utilizados, foi possível avaliar e classificar os níveis de degradação dos municípios analisados como sendo: muito fraco, fraco, moderado, forte ou muito forte, a partir dos valores já encontrados na literatura.

Fazer uma análise climatológica da precipitação no trabalho foi muito importante, pois permitiu ter uma melhor compreensão do regime de precipitação da região ao longo dos 30 anos. Ademais, facilitou o entendimento das interações entre os produtos utilizados no período estudado e a verificação dos impactos da seca de 2011 a 2017, no processo de desertificação sobre os municípios analisados.

Foi possível fazer a identificação das áreas degradadas suscetíveis a desertificação, a partir do produto FVC, com auxílio dos dados de precipitação e umidades do solo. A identificação foi realizada, devido os resultados do FVC obtidos nas áreas que possivelmente estão degradadas, apresentarem baixos valores do índice de vegetação em praticamente todo o período de estudo.

Na avaliação realizada, os dados de precipitação apresentaram valores acima da média apenas para os anos de 1997, 2010 e 2020. Já para os anos de 1998 e 2012, esses valores ficaram abaixo da normal. Durante a avaliação, o FVC mostrou que mesmo em períodos mais seco, a vegetação dessa região tem um alto poder de resiliência, mesmo estando em situações críticas em razão a diversos fatores, sejam eles climáticos ou antrópicos como apresentaram os gráficos.

Foi visto também durante a avaliação das áreas degradadas, que os valores de umidade do solo nem sempre acompanhou o regime de precipitação pontual. Sendo possível que esse comportamento esteja ligado a dois fatores. O primeiro que podem ser associados aos tipos(características) de solos, pelo fato de a observação ser feita nos cinco primeiros centímetros, e nessa profundidade os solos tem grande variação de umidade. O segundo motivo pode ter relação com as alterações no uso do solo, ou seja, o manejo inadequado.

Contudo concluo reforçando, que a metodologia adotada no trabalho foi válida, pois mesmo ocorrendo um caso, onde a área avaliada poderia ter duas classificações, como pode ser visto no setor ``I´´, apresentado na Figura 28, o método foi apropriado, pois através dele, foi possível classificar as áreas, com os diferentes níveis de degradação.

Espera-se que o presente trabalho possa corroborar, para um levantamento mais atualizado do estágio de degradação ambiental, nas áreas suscetíveis à desertificação dos municípios Ouro Branco-AL e Senador Rui Palmeiras-AL. Que esse estudo, ajude em um melhor planejamento e gestões públicas dos recursos naturais da região, auxiliando na mitigação dos danos causados pelo clima e ações antrópicas, de modo que traga benefícios socioambientais.

Sugere-se para trabalhos futuros, pois será de muita utilidade possibilitando ao estudo melhores resultados, o uso do produto de evapotranspiração potencial, dados de diferentes tipos de solos característicos da região e uma visita a campo para validar as informações obtidas no estudo.

7. REFERÊNCIAS

ACCIOLY, L.J.de O, COSTA T.C.C., OLIVEIRA M. A.J., SILVA, F.H.B.B., BURGOS, Anais - I **Simpósio regional de geoprocessamento e sensoriamento remoto o papel do sensoriamento remoto na avaliação e no monitoramento dos processos de desertificação do semiárido brasileiro**. Aracaju/SE, 17 e 18 de outubro de 2002.

ALMEIDA, S. A. S.; FRANÇA, R. S.; CUELLAR, M. Z. **Uso e ocupação do solo no bioma caatingado estado do rio grande do norte. Anais xiv simpósio brasileiro de sensoriamento remoto**, Natal – RN, Brasil pp. 555 - 561, 25 a 30 de abril de 2009.

AMIRI, R.; WENG Q.; ALIMOHAMMADI, A; ALAVIPANAH, S.K. **Spatial-temporal dynamics of land surface temperature in relation to fractional vegetation cover and land use/cover in the Tabriz urban area, Iran. Remote Sensing of Environment**. v. 113, p. 2606–2617. 2009.

AMS. **American Meteorological Society Glossary of Meteorology**, 2011. Disponível em: <http://amsglossary.allenpress.com/glossary> Acesso em: 01/01/2018.

ARAÚJO F. T. V., Nunes A. B. A., Souza Filho F. A. **Desertificação e pobreza: existe um equilíbrio de baixo nível? Desertification and poverty: is there a low level equilibrium?**. 2014.

ASA Alagoas, **Um grave problema avança no Semiárido alagoano**, 2017. Disponível em: <http://asaalagoas.blogspot.com/2017/04/um-grave-problema-avanca-no-semiarido.html>. Acesso em: 05 Jun. 2018.

ASTRONOO. **Satélites meteorológicos METEOSAT**. 2013. Disponível em: <http://www.astronoo.com/pt/artigos/satelites-meteosat.html> acessado em: 22 de Março de 2020

BALSAN, R., 2006. **Impactos Decorrentes da Modernização da Agricultura Brasileira**. CAMPOTERRITÓRIO: Revista de Geografia Agrária, Francisco Beltrão, v. 1, n. 2, p. 123-151.

BARBOSA H. A. ERTÜK A. G. **Índice diário de vegetação estimado com imagens multiespectrais do satélite METEOSAT Segunda Geração**, 2009, disponível em: <http://martesid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr%4080/2008/11.18.00.21.58/doc/5617-5624.pdf>.

BARBOSA, H. A. **Sistema Eumetcast. Uma abordagem aplicada dos satélites METEOSAT de segunda geração**. P. 166 – 167. Maceió, Alagoas. EDUFAL. 2013.

BARBOSA, H. A.; LAKSHMI KUMAR, T. V.; SILVA, L. R. M. **Recent trends in vegetation dynamics in the South America and their relationship to rainfall. Natural Hazards**. Vol. 77. Feb. 2015, p. 883-899.

BARBOSA, H. A. **Vegetation dynamics over the Northeast region of Brazil**. **Scholars' Press**. 2014, 84p.

BEZERRA, M. V. C.; Silva, B. B. da; Bezerra, B. B. **Avaliação dos efeitos atmosféricos no albedo e IVDN obtidos com imagens de satélite**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.15, p.709-717, 2011.

BRASIL.1989. **Decreto nº 97.632/89, de 10 de abril de 1989**. Dispõe sobre a regulamentação do Artigo 2º, inciso VIII, da Lei n. 6.938, de 31 de agosto de 1981, e de outras providências.

BRASIL, MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. Secretaria de Políticas de Desenvolvimento Regional. **Nova Delimitação do Semiárido Brasileiro**. Brasília: MI-SDR, 2005.

BRASIL, MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. Secretaria de Políticas de Desenvolvimento Regional. Brasília: MI-SDR, 2007.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Informativo sobre estiagem no Nordeste – no 108**. Brasília: Mapa. Secretaria de Política Agrícola. Departamento de Crédito e Estudos Econômicos. Coordenação-Geral de Estudos e Análises. 31 maio 2017. Disponível em: Acesso em: 21 jan. 2020.

BURITI C. O., BARBOSA H. A., **Um Século de Secas: por que as políticas hídricas não transformaram o semiárido Brasileiro?** 1ª edição março de 2018.

CEARÁ. Secretaria dos Recursos Hídricos. **Relatório anual do PRODHAM 2009**. Fortaleza, 2010.

CGEE. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. **Desertificação, degradação da terra e secas no Brasil**. Brasília – DF 2016

COSTA L. E.S., SILVA L. R. M., BARBOSA H. A., SANTOS T. V., SANTOS E. M. SANTO A. M., **Mapeamento E Análise De Áreas Degradadas No Semiárido Alagoano Por Meio De Sensoriamento Remoto**. Redução do risco de Desastres e a resiliência no meio rural e urbano. São Paulo. Centro Paula Souza. 2020

COSTA, T. C. C.; OLIVEIRA, M. A. J; ACCIOLY, L. J. O.; SILVA, F. H. B. B. **Análise da degradação da Caatinga no núcleo de desertificação do Seridó (RN/PB)**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 13, p. 961-974, 2009.

CUNHA, J. E. de B. L.; Rufino, I. A. A.; Silva, B. B. da; Chaves, I. de B. **Dinâmica da cobertura vegetal para a Bacia de São João do Rio do Peixe, PB**, utilizando-se sensoriamento remoto. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.16, p.539-548, 2012.

DIAS, Regina Lúcia Feitosa. 1998. **Intervenções públicas e degradação ambiental no semiárido cearense (O caso de Irauçuba)**. Dissertação de Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente, PRODEMA. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 139 f.:Il.

DOU - **Diário Oficial Da União. Republica Federativa do Brasil – Imprensa Nacional.** Lei nº 13.153, de 30 de julho de 2015. Institui a Política Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca e seus instrumentos; prevê a criação da Comissão Nacional de Combate à Desertificação e dá outras providências. Disponível em: <http://www.in.gov.br/autenticidade.html> ,pelo código 00012015073100001 Acesso em: 19 setembro de 2020.

DREGNE, H. E. **Desertification of arid lands In: El-Baz, F.; Hassan, M. H. A. (Ed.) Physics of desertification. Dordrecht, The Netherlands : Martinus Nijhoff, 1986.** Disponível em: <<http://www.ciesin.columbia.edu/docs/002-193/002-193.html>>. Acesso em: 16 out. 2020.

DUARTE, S. M. A.; BARBOSA, M. P. **Estudo dos recursos naturais e as potencialidades no semiárido, Estado da Paraíba. Engenharia Ambiental, v.6, n.3, p.168-189. 2009.**

EPIPHANIO J. C. N, **Brasil é um dos pioneiros na área de sensoriamento remoto, 2013.** Disponível em: <http://webradioagua.org/index.php/mundo-agua/item/1155-%E2%80%9Cbrasil-%C3%A9-um-dos-pioneiros-na-%C3%A1rea-de-sensoriamento-remoto%E2%80%9D-destaca-epiphanio> acesso em: 02/02/2018.

ESA Meteosat satellites are spin-stabilised with instruments designed to provide permanent visible and infrared imaging of the Earth. 2020. Disponível em: http://www.esa.int/Space_in_Member_States/Portugal/Boas_previsoes_para_o_lancamento_do_mais_recente_satelite_meteorologico_MSG_europeu. Acesso em 12 de março de 2020

FELÍCIO, M. R. S. & COSTA, J. E. **Agricultura irrigada, desertificação e sustentabilidade: um olhar para o cenário do território do sertão do São Francisco-BA.** Seminário Internacional Desenvolvimento Sustentável e Territórios Rurais2009.

FERREIRA, L. A., **As Queimadas como Agente Precursor da Desertificação**. XV Seminário Nordestino de Pecuária - PECNORDESTE 2011 e XV Feira de Produtos e de Serviços Agropecuários 13 a 16 de junho de 2011.

FIGUEIREDO. D. **Conceitos Básicos de Sensoriamento Remoto**, Setembro de 2005, disponível em: http://www.conab.gov.br/conabweb/download/SIGABRASIL/manuais/conceitos_sm.pdf, acessado em: 28 jan. 2020.

FUNK, C.C. et al. **A quasi-global precipitation time series for drought monitoring**. U.S. Geological Survey Data Series, Technical report, vol. 832, 4p., 2014.

FUNK C.Pete P.Martin L.D. Pedreros D.Verdin J.Shraddhanand S, Gregory H.James R.Laura H.Andrew H.Joel M. **The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes**, 2015, disponível em: <https://www.nature.com/articles/sdata201566> CHIRP. Acesso em: 05 maio 2018.

Gómez, C.; White, J. C.; Wulder, M. A. **Characterizing the state and processes of change in a dynamic forest environment using hierarchical spatio-temporal segmentation**. *Remote Sensing of Environment*, v.115, p.1665-1679, 2011.

GONÇALVES, J. L. de G. **Utilização de modelos digitais de elevação na análise de degradação ambiental do município de Soledade-PB**. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, 2012.

GUERRA, Antônio José Teixeira. CUNHA, Sandra Batista da. **Geomorfologia e meio ambiente**. 3ª. ed. – Rio de Janeiro: Bertand Brasil, 2000. p.337-375.

GUNTER'S SPACE PAGE. **MSG (Meteosat Second Generation), MSG 1, 2, 3, 4 (Meteosat 8, 9, 10, 11)**. 2002. Disponível em: http://space.skyrocket.de/doc_sdat/meteosat-1.htm. Acesso em: 10 de março de 2020.

IBGE; (Instituto Brasileiro de Geografia E Estatística). (10 de outubro de 2002). «**Área territorial oficial**». **Resolução da Presidência do IBGE de nº 5 (R.PR-5/02)**. Consultado em 5 de dezembro de 2010

IBGE – (Instituto Brasileiro de Geografia E Estatística).. 2012. **Manual técnico da vegetação brasileira**. IBGE, Rio de Janeiro. 275 pp. **UOL Economia: Agronegócio**. “**Seca fez Nordeste perder 4 milhões de animais em 2012**, diz IBGE”. 15/10/13. <http://economia.uol.com.br/agronegocio/oticias/redacao/2013/10/15/seca-feznordeste-perder-4-milhoes-de-animais-em2012-diz-ibge.htm>

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia E Estatística). **Dados de abastecimento urbano estados do Nordeste 2015**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/>. Acesso em: 12 jun. 2016, 16:02:53.

IICA – **Desertificação Instituto Interamericano de Cooperação Agricultura**.2007 Disponível em: <<http://www.iicadesertification.org.br/>>. 10 janeiro de 2020

JENSEN, J.R. **Remote sensing of vegetation. Remote sensing of the environment, an earth**, 2000., M. dos S; Sampaio, Y. S. B. 2005. **Impactos ambientais da agricultura no processo de desertificação no nordeste do Brasil**. Revista de geografia, Vol.22, nº 1.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: **Rima Artes e Textos**, 2006. 531p.

LISSIA; Monike; Norton; Raquel; Thályta), **A evolução do Sensoriamento Remoto**, Geoprocessamento e Saneamento Ambiental do Instituto Federal de Goiânia, 2010. Disponível em: <http://sanamentoifg.blogspot.com/2010/06/evolucao-do-sensoriam-ento-remoto.html> Acesso em: Fevereiro de 2018.

LIU, W. T. **Aplicações de sensoriamento remoto**. 2ª edição ampliada, Campo Grande, RJ, Ed UNIDERP,908p., 2007.

LORENSI, R. Paula. Katia Zardo.Danielle Machado Pacheco Mattar.Toshio Nishijima. **A utilização dos recursos hídricos no sistema de irrigação por superfície**

(inundação) na cultura do arroz mediante as normatizações. Recebido para publicação em 29/08/2008 e aceito em 25/05/2010. *Ambiência Guarapuava (PR)* v.6 n.2 p.355 - 364 ISSN 1808 - 0251. Maio./Ago. 2010

MATALLO JÚNIOR, H. **Indicadores de desertificação: histórico e perspectivas.** Brasília: UNESCO, 2001. Disponível em: <<http://unesdoc.unesco.org>>. Acesso em: 15 de jan de 2015.

MEA (Millennium Ecosystem Assessment). **Ecosystems and Human Well-being: Desertification Synthesis.** World Resources Institute, Washington, DC. 1995.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T.; SANTA ROSA, A. N. C.; SANO, E. E.; SOUZA, E. B.; BAPTISTA, G. M. M.; BRITES, R. S. **Introdução ao processamento de imagens digitais de satélites e sensoriamento remoto.** Brasília, DF: Universidade de Brasília, 266 p., 2012.

MMA. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Mapa das áreas susceptíveis a desertificação no Brasil.** Secretaria de Recursos Hídricos. Universidade Federal da Paraíba. Brasília, 2017.

MOLION, L. C. B.; OLIVEIRA, S. **Uma revisão da dinâmica das chuvas no nordeste brasileiro.** *Revista Brasileira de Meteorologia*, vol. 17, nº 1, p.1-10. 2002

NOVO, E. M. L. M, - **Sensoriamento Remoto, Princípios e Aplicações - Edgard Blucher**, 1998.

O. Arino, F. Ramoino, **Product user guide land cover cciversion 2.0**, document ref: CCI-LC-PUGV2, 2017. Disponível em: http://maps.elie.ucl.ac.be/CCI/viewer/download/ESACCI-LC-Ph2-PUGv2_2.0.pdf.

PAIXÃO, F. E.; VALE, R. de M. C. do; LOBÃO, J. S. B. **Mapeamento de áreas susceptíveis à desertificação no nordeste da Bahia.** In: simpósio brasileiro de sensoriamento remoto, 15, 2009, Natal. Anais... Natal: INPE, 2009. p.4195-4200.

PELINSON, D., PAIVA R.C.D. Validação de estimativa de umidade do solo do satélite SMOS na bacia do Potiribu. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. 2016.

PENA, Rodolfo F. Alves. **"O que é desertificação?"**; Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/geografia/o-que-desertificacao.htm>. Acesso em 25 de abril de 2020.

PEREIRA A. de J., LOBÃO J S B., JUNIOR I. O., **A Agroecologia No Semiárido: Caminho Para A Sustentabilidade Das Áreas Susceptíveis À Desertificação**. 2012

POLETO, C. 2009. **Introdução ao gerenciamento ambiental**. Rio de Janeiro: Editora Interciência.

RESUMO ESCOLAR, **Sensoriamento Remoto**, 2014. Disponível em: <https://www.resumoescolar.com.br/geografia/sensoriamento-remoto/>. Acesso em: 28 jan. 2020

REVISTA DA MADEIRA, **Método requer autorização e controle - EDIÇÃO N°92 -**, 2005. Disponível em: http://www.remade.com.br/br/revistada_madeira_materia.php?num=811&subject=E%20mais&title=M%E9todo%20requer%20autoriza%E7%E3o%20e%20controle, acessado em: 10/07/2018.

ROSA, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**, 7ed Uberlândia, EDUFU, 2009.

ROSA, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**, Uberlândia, EDUFU, 2013.

ROUSE, J.W.; Haas, R. H.; Schell, J.A.; Deering, D. W. **Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS**. In: **Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium**, 3, 1973. Proceedings. Washington, v.1, Sec.A, p.309-317, 1973.

ROXO, M.J. **Panorama Mundial da Desertificação. Agricultura familiar e desertificação.** In: **SEMINÁRIO LUSO-BRASILEIRO. Actas** . João Pessoa: Editora Universitária da UFPB, p. 11-32, 2006.

SÁ, I. B., Angelotti, F. **Degradação Ambiental e Desertificação no Semi-Árido Brasileiro**, 1. ed. Petrolina: Embrapa Semiárido, v. 1. 295 p. 2009.

SÁ, I. B., SÁ, I. I. S. **A cobertura vegetal do bioma Caatinga: Subsídios ao monitoramento de processos de desertificação**, VIII Seminário de atualização de sensoriamento remoto e sistema de informações geográficas aplicados a engenharia florestal, 2008.

SÁ, I. B. SÁ I. I. S. **Desertificação De Áreas Agrícolas No Semi-Árido Brasileiro**, 1 simposio sobre manejo de plantas daninhas no semi arido, Mossoró, RN, 2007.

SAMPAIO, E. V. S.B; Araújo, M. dos S; Sampaio, Y. S. B. 2005. **Impactos ambientais da agricultura no processo de desertificação no nordeste do Brasil.** Revista de geografia, Vol.22, nº 1.

SANTANA, A. C. A. 2004. **Caatinga: esquecimento e riqueza.** Disponível em: www.planetaverde.org. Acesso em: 05/11/2015

SANTANA, M. O. (org.). **Atlas das áreas susceptíveis à desertificação do Brasil.** Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos – MMA/SRH. Universidade Federal da Paraíba. Brasília: MMA, 2007.

SANTANA, A. S.; SANTOS, G. R. **Impactos da seca de 2012-2017 na região semiárida do Nordeste: notas sobre a abordagem de dados quantitativos e conclusões qualitativas.** boletim regional, urbano e ambiental de 2020.

SOARES, J. V.; BATISTA, G. T.; SHIMABUKURO, Y. E. Histórico e descrição. IN: **O Sensor Modis e suas Aplicações Ambientais no Brasil.** São José dos Campos: 2007.

SANTOS A. R. **Apostila de sensoriamento remoto**, Universidade federal do espírito santo-ufes centro de ciências agrárias-cca departamento de engenharia rural, Alegre Espírito Santo – Brasil, 2013.

SEPLAG/IBGE. **Dados da Agropecuária: Agricultura - Perfil Municipal. Secretaria de Estado do Planejamento, Gestão e Patrimônio / Superintendência de Produção da Informação e do Conhecimento / Gerência de Estatística. Disponível no site** <https://dados.gov.br/dataset/dados-da-agropecuaria-agricultura-perfil-municipal> . Dados de Agricultura referente aos municípios de Alagoas. Fonte: Produção Agrícola Municipal - PAM/IBGE em 23 de junho de 2021. Acesso: em 29 de julho de 2021.

SILVA F. B., **Geotecnologias no mapeamento de áreas degradadas no núcleo de desertificação** em Gilbués, PI, 2008.

SILVA, J. L. C. VIDAL C. A. S. BARROS L. M. FREITA F. R. V. **Aspectos da degradação ambiental no nordeste do Brasil** DOI:10.19177/rgsa.v7e22018180-191, R. gest. sust. ambient., Florianópolis, v. 7, n. 2, p.180-191, abr./jun. 2018.

SILVA. J. L. B, OLIVEIRA J. D. A, BEZERRA A. C, MOURA G. B. A. SILVA H. P, **Predição da degradação ambiental por sensoriamento remoto através de índice de vegetação no semiárido brasileiro, semiárido brasileiro, realidade e perspectivas,V winotec, sobral – ceara 23 a 25 maio 2018.**

SILVA L. R. M. **Variabilidade e tendência espaço-temporal da caatinga utilizando o ivdn e precipitação pluvial relacionadas com a degradação ambiental no semiárido brasileiro.** Universidade Federal De Alagoas, Maceió, Alagoas. 2015.

SILVA, R. G. RIBEIRO, C. Gs. 2004. **Análise da Degradação Ambiental na Amazônia Ocidental: um Estudo de Caso dos Municípios do Acre.** RER, Rio de Janeiro, vol. 42, nº 01, p. 91-110. 2004

SILVA H. P. **Mapeamento Das Áreas Sob Risco De Desertificação No Semi-Árido De Pernambuco A Partir De Imagens De Satélites**, Recife, 2009.

SILVA C. M., **De um Dust Bowl paulista à busca de fertilidade no Cerrado: a trajetória do IRI Research Institute e as pesquisas em ciências do solo no Brasil (1951-1963)**. Universidade Federal da Fronteira Sul Revista Brasileira de História da Ciência, Rio de Janeiro, v. 5, n. 1, p. 146-155, 2012.

SOUSA, R. **"Caatinga"; Brasil Escola**. 2019, Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/brasil/caatinga.htm>. Acesso em 29 de abril de 2020.

TEMBE C. F. **Uma abordagem sobre os fatores do desflorestamentodunar em Chizavane - Distritode de Mandlakazi**, 2012.

TRIGO, **A FVC e a MTFVC foram fornecidas pelo Centro de Aplicação de Satélites EUMETSAT na Análise de Superfícies Terrestres (LSA SAF; Trigo et al., 2011)**
Disponível em: <http://lsa-saf.eumetsat.int>. Acesso em: 17 de fevereiro de 2020.

UNCCD. **Decision 5/COP.12. Participation and involvement of civil society organizations in meetings and processes of the United Nations Convention to Combat Desertification**, 2015.

VASCONCELOS SOBRINHO, J. **Metodologia para identificação de processos de desertificação**: manual de indicadores. Recife: SUDENE, 1978. 18 p.