



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS E
TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO

MANUELLA LIMA DAMASCENO

**ANÁLISE DA BIOMASSA FLORESTAL DO POLO GESSEIRO DA REGIÃO DO
ARARIPE – PERNAMBUCO A PARTIR DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO**

Recife
2020

MANUELLA LIMA DAMASCENO

**ANÁLISE DA BIOMASSA FLORESTAL DO POLO GESSEIRO DA REGIÃO DO
ARARIPE – PERNAMBUCO A PARTIR DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação.

Área de concentração: Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Borba Schuler.

Recife

2020

Catalogação na fonte
Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

D155a Damasceno, Manuella Lima.
Análise da biomassa florestal do polo gesseiro da Região do Araripe – Pernambuco a partir de índices de vegetação / Manuella Lima Damasceno. - 2020.
76 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Borba Schuler.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco.
CTG. Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2020.
Inclui Referências.

1. Engenharia Cartográfica. 2. Biomassa florestal. 3. Geoprocessamento. 4. Caatinga. I. Schuler, Carlos Alberto Borba (Orientador). II. Título

UFPE

526.1 CDD (22. ed.)

BCTG/2020-281

MANUELLA LIMA DAMASCENO

**ANÁLISE DA BIOMASSA FLORESTAL DO POLO GESSEIRO DA REGIÃO DO
ARARIPE – PERNAMBUCO A PARTIR DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação.

Aprovada em: 27/08/2020.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Carlos Alberto Borba Schuler (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Hernande Pereira da Silva (Examinador Externo)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. José Luiz Portugal (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Dedico esse trabalho ao meu Deus, sem Ele nada disso seria possível.
Dedico também à minha mãe por todo o suporte oferecido, cuidado e amor que
foram indispensáveis para a conclusão deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

À Deus pelo dom da vida, pelo seu amor infinito e por estar presente em todos os momentos, me guiando e amparando em todas as etapas da vida. Tudo que eu sou e o que eu almejo ser devo a Ele. É Ele quem concede sabedoria, e da sua boca procedem a inteligência e o discernimento. Porquanto, Dele e por Ele, e para Ele, são todas as coisas, glória pois a Ele eternamente. Não pertence ao homem o seu próprio caminho, nem lhe compete traçar seus passos, mas o Senhor é quem o dirige. E foi a Sua mão que me conduziu até aqui, me sustentou e me deu forças para que eu pudesse trilhar este caminho que Ele mesmo já havia traçado.

Agradeço à minha família, meus maiores exemplos, por todo carinho, compreensão, apoio e liberdade concedida para quaisquer decisões na minha vida. E em particular à minha mãe, minha melhor amiga, pelo incentivo incondicional aos estudos, pelas orações em meu favor, pela preocupação para que estivesse sempre trilhando o caminho correto.

Agradeço às minhas amigas, Camila Alves e Mirella Almeida, com quem pude dividir minhas ansiedades, planos, conquistas, tristezas e alegrias durante este período, que não faria sentido se não pudesse ser compartilhada. Agradeço por todo apoio e cumplicidade.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Carlos Alberto Borba Schuler que, com muita paciência e atenção, dedicou do seu valioso tempo para me orientar em cada etapa deste trabalho. Agradeço também por todo o apoio, confiança e compreensão, que foram indispensáveis para a sua realização. Por nos momentos difíceis que passei durante essa trajetória, não foi apenas professor, mas um verdadeiro amigo. Aos professores Hernande Pereira da Silva e José Luiz Portugal, pelas importantíssimas considerações e contribuições ao trabalho.

Ao Programa de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, onde pude usufruir de grande crescimento pessoal e profissional. À CAPES pela concessão da bolsa, fundamental ao desenvolvimento deste trabalho. À Elisabeth Galdino, pela solicitude e gentileza com que sempre trata a todos na secretaria da pós-graduação.

Aos meus colegas de turma, com quem sempre pude contar nos momentos de dúvidas e onde encontrei acima de tudo, bons amigos. Em especial à Deniezio Gomes, Pricila Alves, Antônio Pereira e Tiago Holanda.

Por fim, agradeço a todos que contribuíram de alguma forma para o desenvolvimento deste trabalho e a conclusão de mais esta etapa da minha vida.

RESUMO

Biomassa refere-se a todo recurso renovável oriundo de matéria orgânica que pode ser utilizado para produção de energia. O uso da madeira como fonte de energia é uma tendência mundial, e a motivação para tal é a necessidade de diminuir o uso de combustíveis fósseis, tornando-se menos dependente dos países exportadores e reduzindo as emissões de gases nocivos à atmosfera. O presente estudo se desenvolve nos municípios de Araripina, Bodocó, Ipubi, Ouricuri e Trindade, que formam o polo gesseiro da Região do Araripe e estão localizados no extremo oeste de Pernambuco, inserido no bioma Caatinga. Essa região sofre intensas modificações em sua paisagem pela remoção da cobertura vegetal para a utilização da lenha nas calcinadoras da região, bem como para práticas agrícolas tradicionais. Todavia, a Caatinga é um bioma bastante suscetível a modificações do clima e do uso e ocupação do solo, dessa forma, estudar as alterações na paisagem ocorridas nessa região torna-se necessário para compreender os impactos dessas modificações no comportamento da dinâmica da cobertura vegetal. Diante disso, o presente trabalho teve como objetivo analisar a biomassa florestal do polo gesseiro da Região do Araripe – Pernambuco a partir de índices de vegetação e albedo de superfície, no período de 1985 a 2018. A metodologia baseou-se na análise temporal de imagens orbitais da série Landsat 5, 7 e 8, correlacionando com os dados de precipitação pluviométrica mensais da série histórica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), referente aos meses de julho, agosto e setembro do período analisado. Os resultados indicaram que o quantitativo de cobertura vegetal está diretamente relacionado com os níveis de precipitação pluviométrica, podendo ser visualizado em todo o período estudado a partir da análise dos índices de vegetação e albedo de superfície. Ademais, foi possível observar a acentuada capacidade de regeneração do bioma frente às condições mais favoráveis ao seu desenvolvimento. Esses resultados reforçam a importância de análises sazonais dos parâmetros biofísicos gerados por sensoriamento remoto em ambientes de Caatinga, bem como de se ter um planejamento ambiental e maior atenção a esta área, apesar dos avanços já realizados nos últimos anos, pois o mesmo já é sensível às variações meteorológicas, podendo assim, favorecer processos de degradação em caso de gestão ineficiente do espaço.

Palavras-chave: Biomassa florestal. Geoprocessamento. Caatinga.

ABSTRACT

Biomass refers to any renewable resource from organic matter that can be used for energy production. The use of wood as an energy source is a worldwide trend and the motivation for this is the need to decrease the use of fossil fuels, becoming less dependent on exporting countries and reducing emissions of harmful gases to the atmosphere. The present study is carried out in the municipalities of Araripina, Bodocó, Ipubi, Ouricuri and Trindade, which form the plastering pole of the Araripe Region and are located in the extreme west of Pernambuco, inserted in the Caatinga biome. This region undergoes intense changes in its landscape due to the removal of vegetation cover for the use of firewood in the region's ashing machines, as well as for traditional agricultural practices. However, the Caatinga is a biome that is very susceptible to changes in climate and land use and occupation, thus, studying the changes in the landscape that have occurred in this region is necessary to understand the impacts of these changes on the behavior of the vegetation cover dynamics. Therefore, the present study aimed to analyze the forest biomass of the plaster pole of Araripe - Pernambuco from vegetation and surface albedo indexes, in the period from 1985 to 2018. The methodology was based on the temporal analysis of orbital images of the Landsat series 5, 7 and 8, correlating them with monthly rainfall data from the historical series of the National Institute of Meteorology (INMET), for the months of July, August and September of the analyzed period. The results indicated that the amount of vegetation cover is directly related to the levels of rainfall, and can be viewed throughout the period studied from the analysis of vegetation and surface albedo indexes. In addition, it was possible to observe the marked capacity for regeneration of the biome in the face of the most favorable conditions for its development. These results reinforce the importance of seasonal analyzes of the biophysical parameters generated by remote sensing in Caatingas environments, as well as having an environmental planning and greater attention to this area, despite the advances already made in recent years, as it is already sensitive meteorological variations, thus being able to favor degradation processes in case of inefficient space management.

Keywords: Forest biomass. Geoprocessing; Caatinga.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Processo de calcinação da gipsita.....	15
Figura 2 –	Resultado da devastação da vegetação nativa realizado no polo gesseiro da Região do Araripe no estado de Pernambuco.....	17
Figura 3 –	Resultado da devastação da vegetação nativa realizado no polo gesseiro da Região do Araripe no estado de Pernambuco.....	18
Figura 4 –	Valores da razão entre as bandas do Infravermelho e Vermelho (IVDN)	28
Figura 5 –	Fluxograma de procedimentos metodológicos.....	30
Figura 6 –	Mapa de localização da área de estudo.....	31
Figura 7 –	Temperaturas médias anuais na Região do Araripe.....	35
Figura 8 –	Duração do período seco na Região do Araripe.....	36
Figura 9 –	Fluxograma do processamento digital das imagens.....	37
Figura 10 –	Fluxograma das fases do processamento.....	41
Figura 11 –	Albedo de superfície do Polo Gesseiro do Araripe (1985-2018).	47
Figura 12 –	Albedo de superfície do Polo Gesseiro do Araripe (1985-1990).	48
Figura 13 –	Albedo de superfície do Polo Gesseiro do Araripe (1996-2000).	50
Figura 14 –	Albedo de superfície do Polo Gesseiro do Araripe (2005-2009).	51
Figura 15 –	Albedo de superfície do Polo Gesseiro do Araripe (2015-2018).	53
Figura 16 –	Índice de Vegetação Por Diferença Normalizada do Polo Gesseiro do Araripe (1985-2018).....	55
Figura 17 –	Índice de Vegetação Por Diferença Normalizada do Polo Gesseiro do Araripe (1985-1990).....	56
Figura 18 –	Açude Tamboril – Ouricuri.....	57
Figura 19 –	Açude Algodões – Araripina.....	57

Figura 20 –	Índice de Vegetação Por Diferença Normalizada do Polo Gesseiro do Araripe (1996-2000).....	59
Figura 21 –	Índice de Vegetação Por Diferença Normalizada do Polo Gesseiro do Araripe (2005-2009).....	61
Figura 22 –	Índice de Vegetação Por Diferença Normalizada do Polo Gesseiro do Araripe (2015-2018).....	62
Figura 23 –	Índice de Área Foliar do Polo Gesseiro do Araripe (1985-2018)...	63
Figura 24 –	Índice de Área Foliar do Polo Gesseiro do Araripe (1985-1990)...	64
Figura 25 –	Índice de Área Foliar do Polo Gesseiro do Araripe (1996-2000)...	65
Figura 26 –	Índice de Área Foliar do Polo Gesseiro do Araripe (2005-2009)...	66
Figura 27 –	Índice de Área Foliar do Polo Gesseiro do Araripe (2015-2018)...	67

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	FORMULAÇÃO DO PROBLEMA.....	14
1.2	OBJETIVOS DA PESQUISA.....	19
1.2.1	Objetivo Geral	19
1.2.2	Objetivos Específicos	19
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	20
2.1	COBERTURA VEGETAL DO SEMIÁRIDO.....	20
2.2	SENSORIAMENTO REMOTO NO ESTUDO DA COBERTURA VEGETAL	21
2.3	CARACTERÍSTICAS DOS SENSORES LANDSAT/TM	23
2.4	ANÁLISE ESPACIAL ATRAVÉS DO ALGORITMO SEBAL (SURFACE ENERGY BALANCE ALGORITHM FOR LAND)	25
2.5	PARÂMETROS BIOFÍSICOS	26
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	30
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	30
3.1.1	Solo	31
3.1.2	Clima	33
3.2	SELEÇÃO E AQUISIÇÃO DAS IMAGENS.....	37
3.3	PROCESSAMENTO DAS IMAGENS	37
3.3.1	Processamento das imagens OLI/TIRS.....	37
3.3.2	Processamento das imagens da série Landsat 5 e 7	41
3.4	DADOS CLIMATOLÓGICOS.....	44
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
4.1	ANÁLISE CLIMATOLÓGICA	45
4.2	ANÁLISE DA COBERTURA VEGETAL	46
4.2.1	Albedo de Superfície	47
4.2.2	Índice de Vegetação Por Diferença Normalizada – IVDN.....	54
4.2.3	Índice de Área Foliar – IAF	62
5	CONCLUSÃO	69
	REFERÊNCIAS.....	70

1 INTRODUÇÃO

A questão da sustentabilidade para o uso dos recursos florestais é hoje fundamental quando se trata de desenvolvimento responsável de uma região. Os seres humanos tinham a ideologia de uma natureza como fonte infinita de recursos, ocasionando a sua transformação, propiciando altos índices de degradação com redução da biodiversidade por meio de suas ações. Entretanto, a cobertura vegetal tem grande importância na proteção ambiental, por evitar o impacto direto das gotas de chuva no solo, reduzindo a desagregação das partículas e com isso impedindo o aumento dos índices de erosão, ao mesmo tempo em que evita compactação do solo, que diminui a capacidade de absorção de água, além de dar suporte a uma vida silvestre dependente, seja fauna ou flora, aumentando a porosidade e a permeabilidade do solo (COELHO *et al.*, 2015).

Diante disso, tem-se buscado um modelo de desenvolvimento florestal visando substituir o antigo modelo de exploração da biomassa, com grandes extrações volumétricas, às vezes a partir de corte raso e alteração de uso do solo, por um modelo moderno de manejo florestal de rendimento sustentável, no qual as interações das florestas com outros recursos, como água, solo, atmosfera, fauna e conservação da biodiversidade e capacidade de renovação, são levados em consideração (COELHO, 2015).

Uma das ferramentas muito utilizadas para levantamento desses recursos naturais em grandes extensões é o sensoriamento remoto orbital, proporcionando o monitoramento do meio ambiente para benefício do desenvolvimento econômico e social (PINTO, 2001). O emprego das tecnologias da geoinformação, mais especificamente o sensoriamento remoto aliado aos sistemas de informações geográficas, no estudo da cobertura vegetal, vêm obtendo surpreendentes resultados na informação e entendimento das interações ambientais com as populações existentes nelas. A partir das imagens de satélites é capaz de se obter dados relacionados ao comportamento espectral e a situação da cobertura vegetal, podendo entender se a área de estudo se encontra sadia ou não (OLIVEIRA, 2013). Estas técnicas são consideradas importantes instrumentos para entender a estrutura e a dinâmica da cobertura vegetal em várias escalas temporais, espetrais, radiométricas e espaciais. Quando utilizados na ecologia da paisagem traz

informações tanto para o estudo da relação do homem com o meio ambiente, quanto para entender os processos ecológicos.

Neste contexto, diversos índices de vegetação têm sido propostos na literatura com o objetivo de explorar as propriedades espectrais da vegetação, especialmente nas faixas espectrais do visível e do infravermelho próximo, como o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – IVDN (ROUSE et al., 1973) e o Índice de Área Foliar – IAF (ALLEN et al., 2002). Os dois índices são relacionados a variáveis biofísicas da cobertura vegetal, como biomassa e índice de área foliar, além de minimizarem os efeitos de iluminação da cena, declividade da superfície e geometria de aquisição, que influenciam os valores de refletância da vegetação e são citados por Ponzoni et al., (2012). Outros parâmetros biofísicos empregados no monitoramento ambiental são: albedo da superfície e o saldo de radiação. O albedo de superfície é a refletividade difusa ou poder de reflexão de uma *superfície*, expresso pela fração de radiação visível refletida pela superfície, ou seja, a capacidade das superfícies refletirem a radiação incidente sobre elas, já o saldo de radiação refere-se ao balanço entre as entradas e saídas de radiação de ondas curtas (Sol) e longas (atmosfera).

O grande destaque da região do Araripe, onde localiza-se o Arranjo Produtivo Local (APL) do Polo Gesseiro do Araripe, é a sua produção de gipsita para industrialização do gesso, detentora de 18% das reservas de gesso nacionais, cujas jazidas principais estão nos municípios de Araripina, Ipubi, Trindade, Bodocó e Ouricuri, de onde saem 95% de todo o gesso consumido no Brasil (ALBUQUERQUE, 2002), sendo gerados cerca de 12 mil empregos diretos e 60 mil empregos indiretos, decorrentes das atividades de 324 empresas (26 mineradoras, 64 calcinadoras e 234 fábricas de pré-moldados). Segundo estimativas do Sindugesso (2014), a quantidade do minério bruto explorado por ano na região gira em torno de um bilhão de toneladas, sendo 230 milhões de gipsita, minério de onde se extraí o gesso, em alto grau de pureza. Com isso, é possível produzir até 3,4 milhões de toneladas de gesso por ano, gerando riquezas de até R\$ 1,1 bilhão (SOTERO, 2010).

Entretanto, o processo de calcinação da gipsita, necessita de muita energia, na maioria das vezes proveniente de madeira de espécies nativas retiradas da vegetação da Caatinga. Devido à essa grande demanda de lenha exigida na calcinação da gipsita, o Polo Gesseiro do Araripe encontra-se sob severa ação

antrópica que, consequentemente, vem gerando alterações nas estruturas físicas e biológicas do ambiente. Em consequência disso, na medida em que a indústria do gesso cresce, utilizando a lenha como principal energético para a calcinação, aumenta a degradação da cobertura vegetal da região. Esse cenário coloca a região do polo gesseiro do Araripe, como área suscetível à desertificação e suas consequências desastrosas no aspecto ambiental e socioeconômico.

Conforme Araújo *et al.* (2004), as escassas informações sobre as formas de exploração, épocas de poda e manipulação da vegetação nativa, dificultam a exploração racional das espécies. Assim, são necessários mais estudos sobre a exploração desses recursos naturais, uma vez que o desenvolvimento de práticas de manejo adequadas às necessidades, além de aumentar a oferta de forragem, pode mudar o enfoque essencialmente extrativista, protegendo o ecossistema dos danos causados pela exploração de lenha pelas indústrias de gesso no Polo gesseiro do Araripe, que tem mostrado sinais de exaustão. Diante disso, existe a necessidade da criação de uma base de dados que forneça parâmetros para realização de projetos que objetivem a mitigação dos processos erosivos provocados pela utilização indiscriminada dos recursos naturais.

Diante do exposto e considerando a vegetação um parâmetro indicador da qualidade ambiental, o presente trabalho visa analisar a biomassa florestal do polo gesseiro da Região do Araripe no estado de Pernambuco, a partir do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN), Índice de Área Foliar (IAF) e Albedo da superfície, considerando-se os dados de precipitação pluviométrica e utilizando-se técnicas de sensoriamento remoto. O percurso metodológico propõe-se realizar uma análise temporal de imagens da série Landsat – 5, 7 e 8, no período de 1985 a 2018, e com isso mostrar a dinâmica da cobertura vegetal da região por meio da estimativa dos parâmetros biofísicos supracitados, correlacionando com os dados de precipitação pluviométrica da área. A escolha do período analisado se justifica pela qualidade e disponibilidade das imagens.

1.1 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

A problemática do consumo dos recursos naturais é reconhecida como de fundamental importância para a sobrevivência da espécie humana e demais espécies do planeta. Em função do maior conhecimento do funcionamento do

sistema ambiental e de seus processos, o avanço da ciência possibilitou essa consciência, ao mesmo tempo em que produziu tecnologia para acelerar a degradação dos recursos pela sociedade.

O polo gesseiro do Araripe é caracterizado pela diversidade da vegetação, encontrando-se áreas cobertas por cerrado, cerradão e mata úmida. As atividades econômicas exercidas nessa região, concorrem de maneira determinante para o agravamento dos problemas ambientais relacionados ao uso da caatinga como fonte de biomassa para geração de energia (EMBRAPA, 2006).

O processo de calcinação da gipsita, conforme representado na figura 1, fase de produção do gesso na qual o minério é submetido a altas temperaturas, necessita de muita energia que em grande parte provém de madeira de espécies nativas retiradas da vegetação da Caatinga.

Neste tipo de vegetação predominam as formações vegetais xerófilas, as quais não apresentam produtividade suficiente nos planos de manejo florestal sustentados, para atender o atual consumo só por parte da indústria do gesso (BRASIL, 2006).

Figura 1 - Processo de calcinação da gipsita



Fonte: ArquiTECtanto, 2018.

Segundo o Diagnóstico Energético da Mesorregião de Araripe, elaborado pela agência de Desenvolvimento do Nordeste - ADENE e pela Associação Técnica

Científica Ernesto Luiz de Oliveira Júnior - ATECEL em 2006, uma das principais dificuldades relacionadas à matriz energética do polo gesseiro está relacionada com a extração de madeira nativa na região do sertão do Araripe, a ser utilizada pelas indústrias desse setor. Outros estudos apontam que a vegetação local não possui capacidade energética para dar suporte à indústria do gesso, pois a quantidade de lenha produzida em áreas de manejo sustentável é de apenas 3% da demanda, levando à exploração predatória da mata nativa, a Caatinga, sem qualquer controle e fiscalização (CAMPOLLO, 2018).

A dificuldade em encontrar lenha foi colocada como a terceira maior limitação por 52% empresários entrevistados pela pesquisa. A oferta de biomassa florestal para geração de energia no polo gesseiro e a participação deste combustível na matriz energética regional, tem sido analisada por diferentes grupos de estudos. Entre as conclusões mais relevantes, destaca-se aquela apontada no documento “Diagnóstico e Perspectivas de Utilização de Energéticos Florestais na Região do Araripe”, elaborado pela Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente de Pernambuco – SECTMA, em 2005:

“se continuada a depredação da vegetação e ainda constante o consumo anual de 1.907.554 st na região do pólo gesseiro, o estoque de lenha estimado (para tipologias) com 87.202.228 st, seria suficiente para abastecer a região com segurança por um período de aproximadamente 45 anos. Porém, a maior quantidade desta lenha disponível estaria a uma distância média de 80 km do pólo gesseiro.” (SECTAMA, 2005).

Com grande diversidade, a matriz energética da indústria no polo gesseiro do Araripe usa aproximadamente 3% de energia elétrica, 5% de óleo diesel, 8% de óleo BPF (baixo poder de fusão), 10% de coque e 73% de lenha (ATECEL, 2006). Entretanto, as indústrias de pequeno porte usam, exclusivamente, a lenha como fonte energética. Devido à grande demanda de lenha exigida na calcinação da gipsita, diversos estudos comprovam que o Polo Gesseiro do Araripe encontra-se sob severa ação antrópica que, consequentemente, vem gerando alterações nas estruturas físicas e biológicas do ambiente. Em consequência, na medida em que a indústria do gesso cresce, utilizando a lenha como principal energético para a calcinação, aumenta a devastação do estoque lenheiro da região. Desta forma, as indústrias são obrigadas a adquirir lenha nos estados vizinhos, transferindo o problema da falta de combustível para outras áreas. Esse cenário coloca o Araripe, como área susceptível à desertificação e suas consequências graves nos aspectos ambientais e socioeconômicos.

Além disso, outros problemas referentes ao uso de energia vêm sendo verificados nessa região. O incremento da produção de gipsita e gesso tem sido barrado pelas quedas na voltagem de energia elétrica fornecida pela CHESF, o que prejudica consideravelmente a indústria gesseira.

Conforme Gadelha (2014), a produção média das calcinadoras é em torno de 3.000t de gesso por mês e o consumo de energéticos florestais, principalmente a lenha, varia entre 0,15 m³ e 0,04 m³/t de gesso, sendo que 120 indústrias (72,7%) operam com eficiência de 0,15 m³/t e apenas uma empresa trabalha com eficiência de 0,04 m³/t. Essas indústrias consomem em média 54.390 m³ de lenha por mês. Diante dessas informações, estima-se que, anualmente, o Polo Gesseiro do Araripe consuma 652.680 m³ de lenha. Considerando que a produção média das áreas exploradas sob Plano de Manejo Florestal Sustentável da Caatinga seja de 46,5 m³/ha, após 15 anos de rotação, estima-se que para atender a demanda de energéticos florestais do parque industrial do Araripe, necessita-se de 14.036 ha/ano explorados com planos de manejo sustentado da vegetação. Isto implica em uma área total de 219.541,94 ha de vegetação nativa em regime de manejo (GADELHA, 2014).

Mesmo sendo ambientalmente menos poluente, o uso da lenha tem causado danos significativos ao meio ambiente nessa região, ocasionados pela crescente devastação da vegetação nativa, na maioria das vezes sem um planejamento adequado para uso sustentável e de forma ilegal, conforme pode ser observado nas figuras 2 e 3 divulgadas pelo SINDUGESSO (2018).

Figura 2 - Retirada da lenha da vegetação nativa do polo gesseiro da Região do Araripe



Fonte: Sindugesso, 2018.

Figura 3 - Resultado da devastação da vegetação nativa realizada no polo gesseiro da Região do Araripe no estado de Pernambuco.



Fonte: Sindugesso, 2018.

Nesses casos, sem critérios técnicos de uso da vegetação, extensas áreas podem vir a se tornar inaproveitáveis para uso agrícola ou florestal e são potenciais focos de pré-desertificação. Dados do Sindusgesso (2018) indicam que o crescimento da produção de gesso entre 2008 e 2011, foi em média 18% ao ano. Há também uma preocupação com o desmatamento da Caatinga por parte dos empresários da indústria do gesso, possivelmente, não apenas por conta de danos ambientais, mas pelo receio da escassez do combustível que pode provocar uma crise energética na região.

Diante desse cenário, a cobertura vegetal se apresenta como um fator extremamente importante na manutenção dos recursos naturais dessa região. A vegetação funciona como um manto protetor dos recursos naturais, e por essa razão, sua distribuição e densidade definem o estado de conservação do ambiente (MELO et al., 2011). As poucas informações sobre as formas de exploração, épocas de poda e manipulação da vegetação nativa, dificultam a exploração racional das espécies.

Contudo, são necessários mais estudos sobre a exploração desses recursos naturais, uma vez que o desenvolvimento de práticas de manejo adequadas às necessidades, além de aumentar a oferta de biomassa florestal, pode mudar o enfoque essencialmente extrativista. Dessa forma, propiciará maior proteção ao ecossistema dos danos causados pela exploração da lenha pelas indústrias no Polo

Gesseiro do Araripe, que tem mostrado sinais de exaustão (CAMPELLO, 2019).

1.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

O presente tópico apresenta o objetivo geral e específicos da pesquisa.

1.2.1 Objetivo Geral

Analisar a biomassa florestal do polo gesseiro da Região do Araripe – Pernambuco a partir de índices de vegetação e albedo de superfície, no período de 1985 a 2018.

1.2.2 Objetivos Específicos

- a) Diagnosticar a dinâmica da cobertura vegetal do polo gesseiro da Região do Araripe no período de 1985 a 2018, por meio da estimativa de parâmetros biofísicos: IVDN, IAF e Albedo de superfície;
- b) Avaliar variações de precipitação e temperatura na área de estudo;
- c) Correlacionar os dados climatológicos da região com a mudança da cobertura vegetal.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Considerando a exploração de gipsita e consequentemente a busca de matéria energética utilizando a lenha como principal fonte, sem o planejamento adequado, o presente tópico buscou discutir pontos caracterizando a área de estudo, e sobre como a aplicação de técnicas de sensoriamento remoto podem auxiliar na identificação das diferenças nos padrões espaciais e temporais da cobertura vegetal do Polo Gesseiro do Araripe – Pernambuco.

2.1 COBERTURA VEGETAL DO SEMIÁRIDO

O Bioma Caatinga é o único bioma exclusivamente brasileiro, abrangendo todos os estados da região Nordeste e parte de Minas Gerais na região Sudeste (SILVA, 2015). Constitui-se como um grande conjunto de arbustos espinhosos e florestas sazonalmente secas que cobre a maior parte dos estados da região Nordeste e parte do estado de Minas Gerais, no vale do Jequitinhonha. Ocupa uma área de aproximadamente 844.453 km² (IBGE, 2012), apresentando uma formação heterogênea, com a presença de espécies vegetais endêmicas (ocorrência em determinada área ou região geográfica), cerca de 7 a 18 gêneros e até 318 espécies florestais na região (SILVA et al., 2011) com recursos biológicos diversificados e adaptações às condições extremas de clima e solo.

O termo “caatinga” é originário do Tupi-Guarani com significado de “floresta branca” ou “mata branca”. O nome está relacionado à fisionomia da vegetação no período seco, quando grande parte das folhas das espécies caem, realçando os galhos brancos e brilhantes das árvores e arbustos na paisagem (PRADO, 2016). Este bioma sofre grande irregularidade climática, com limites meteorológicos extremos, com altas temperaturas (25° a 40° C), elevados valores de insolação, altas taxas de evapotranspiração e baixos índices de precipitação (500 a 700 mm anuais). Motivo este que grande parte da sua vegetação é “caducifólia”, ocorrendo à queda das mesmas na época seca em virtude da falta de água (HEINSCH et al., 2016).

Um dos fatores para retirada da cobertura vegetal no semiárido é a utilização como fonte de energia, impulsionado pelo aumento da produção de alguns setores da indústria, como por exemplo, produção de ferro gusa e indústrias de cerâmica

vermelha, isso ocasionado pela grande necessidade de demanda dos produtos, buscando atingir alto nível de qualidade, viabilizando a exportação (FERREIRA, 2012).

Na região do Araripe, o bioma Caatinga sofre frequentemente retiradas de madeira, que servem de lenha para produção de energia nas indústrias de gesso, e dessa forma fazem desaparecer grandes manchas de florestas secas. Diante disso, é indispensável monitorar e planejar a utilização sustentável desses recursos naturais, vinculado ao gerenciamento dos mesmos, através de atividades agrícolas, florestais ou crescimento urbano. Conforme Pereira (2008), entender a relevância da cobertura vegetal e do uso da terra é necessário, para identificar informações para entendimento dos aspectos físicos, econômicos e sociais observados em nível de escala local ao global.

2.2 SENSORIAMENTO REMOTO NO ESTUDO DA COBERTURA VEGETAL

As ações antrópicas vêm contribuindo na alteração de forma contínua dos recursos naturais e do meio ambiente. Para analisar esse fenômeno se faz necessário compreender uma série de dados da escala temporal, espectral, radiométrica e espacial, onde as técnicas de sensoriamento remoto surgem como ferramentas mais efetivas e econômicas de adquirir informações necessárias para monitorar e modelar essas ocorrências, principalmente em grandes extensões de terra (SILVA, 2011).

Segundo Florenzano (2002), o sensoriamento remoto é a tecnologia que nos permite obter imagens da superfície terrestre, através da captação e/ou registro da energia refletida ou emitida pelos objetos que constituem a paisagem. Em outras palavras, esta ferramenta utiliza informações coletadas através da radiação eletromagnética de objetos ou fenômenos da superfície terrestre obtidos pelos sensores, sem a necessidade de contato direto. Atualmente é muito utilizado para levantamento de dados da superfície terrestre, seja ela em escala global, regional ou local, e avaliação periódica, ajudando consideravelmente o monitoramento das características terrestres (MENESES; ALMEIDA, 2012).

As imagens obtidas nos sensores, de diversos satélites, possuem diferentes características, como a resolução espacial, espectral, radiométrica, temporal e a largura da faixa imageada (COELHO, 2015). Uma característica muito importante

para o sensoriamento remoto é a resolução espectral, definida pelo número de bandas espectrais de um sensor e pela largura do intervalo de comprimento de onda coberto por cada banda. Quanto maior o número de bandas e menor a largura do intervalo, maior é a resolução espectral de um sensor (LORENZZETTI, 2015).

Neste contexto, em estudo recente, Wang et al. (2020) demonstra a viabilidade do uso de imagens de séries temporais do Landsat para identificar e mapear a invasão desenfreada da *Spartina alterniflora* (erva doce de água salgada) nas zonas úmidas costeiras da China, no período de 1995 a 2018. Os autores demonstraram resultados satisfatórios, destacando os impactos adversos dessa invasão nos ecossistemas costeiros da China, ressaltando a eficiência da utilização de técnicas de sensoriamento remoto no diagnóstico da cobertura vegetal.

Ribeiro et al. (2016) também utilizando imagens do sensor TM do LANDSAT 5 a partir de interpretação visual e levantamentos de campo obtiveram o mapa de uso atual da terra dos municípios de Pocinhos e Puxinanã ambos localizados no agreste Paraibano.

Souza et al. (2018) utilizando imagens de satélite do LANDSAT 5 e técnicas de geoprocessamento realizou um estudo da evolução temporal da cobertura vegetal dos municípios de Boa Vista-PB chegando a conclusão que a cobertura vegetal deste município foi reduzida ao longo do período de 1987 a 2004.

Barbosa et al. (2019) também realizou um estudo da cobertura vegetal e uso agrícola do solo utilizando imagens do LANDSAT 8 para o município de Lagoa Seca-PB.

Sá et al. (2009) realizou o mapeamento e caracterização da cobertura vegetal da Bacia Hidrográfica do São Francisco utilizando imagens do sensor ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*) do LANDSAT 7 com base na interpretação visual das imagens e do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – NDVI.

Eduvirgem et al. (2017), na análise do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN) em Lisboa, Portugal, no verão de 2017, concluíram que as informações originadas pelas imagens termais do satélite Landsat 8 para averiguação do índice de vegetação, foram fundamentais para comprovação da influência da vegetação com elevado potencial para mitigação das temperaturas de superfícies na Cidade de Lisboa.

Silva et al. (2018), através da variabilidade espaço-temporal do albedo da superfície e índices de vegetação, analisaram a dinâmica da cobertura vegetal por

sensoriamento remoto em região de Caatinga do semiárido brasileiro, correspondente ao município de Arcoverde – Pernambuco. Conforme os autores, as áreas possivelmente degradadas foram identificadas pelos altos valores de albedo e índices de vegetação significativamente menores. Os índices apresentaram comportamento similares, principalmente no período seco, com baixos valores sendo próximos de zero, áreas afetadas pelo período de seca no semiárido. Os autores afirmam que o sensoriamento remoto promoveu monitoramento espaço-temporal adequado, destacando principalmente o período classificado como climaticamente seco através do albedo e índices de vegetação.

2.3 CARACTERÍSTICAS DOS SENSORES LANDSAT/TM

A série de satélites Landsat teve início na segunda metade da década de 1960, a partir de um projeto desenvolvido pela Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço (NASA), sendo dedicado exclusivamente à observação dos recursos naturais terrestres. Esse programa foi inicialmente denominado *ERTS* (*Earth Resources Technology Satellite*) e em 1975 passou a se denominar Landsat, gerando a sequência dos satélites 2, 3, 4, 5 e 7.

Os dados da série Landsat no Brasil ficaram disponíveis a partir de 1973, na responsabilidade do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), ficando encarregado a partir de 1974 pela recepção, processamento e distribuição dos dados no Brasil, gerando um acervo de dados históricos (INPE, 2018).

Os três satélites da série Landsat utilizados na pesquisa foram: Landsat 5, 7 e 8, conforme resumo que consta no quadro 1. O satélite Landsat 5 teve seu lançamento em 1982, com a finalidade de ocupação de uma órbita a 695 km de altitude, operando em sete bandas espectrais, onde cada banda demonstra uma determinada faixa no espectro (CONCEIÇÃO, 2004), possui dois sensores: TM (*Thematic Mapper*) e MSS (*Multispectral Scanner*) e uma resolução espacial de 30 metros, conforme o Quadro 1.

O satélite Landsat 7, lançado em 15 de abril de 1999 a partir da Faixa de Testes Ocidental da Base da Força Aérea de Vandenberg, Califórnia, possui o sensor *Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM +) que replica as capacidades dos instrumentos Thematic Mapper do Landsats 4 e 5. O ETM + também inclui recursos adicionais que o tornam um instrumento mais versátil e eficiente para estudos de

mudanças globais, monitoramento e avaliação da cobertura do solo e mapeamento de grandes áreas do que seus antecessores projetados. Esses recursos são: uma banda panromática com resolução espacial de 15m; de bordo, abertura total, calibração radiométrica absoluta de 5%; um canal infravermelho térmico com resolução espacial de 60m; um gravador de dados a bordo.

O Landsat 8, construído pela *Orbital Sciences Corporation* teve seu lançamento em 2013, tendo seus instrumentos construídos pela Ball Aerospace e pelo NASA Goddard Space Flight Center e seu lançamento contratado para a *United Launch Alliance* (INPE, 2018), possui o sensor OLI (*Operational Terra Imager*) e o *Thermal Infrared Sensor* (TIRS), com resolução espacial de 100 metros (reamostradas para 30 metros). Todos eles têm o mesmo período de imageamento, retornando à mesma área a cada 16 dias, recobrindo uma área de 185 km x 185 km.

Quadro 1 - Resumo das características dos Satélites Landsat 5, 7 e 8

Satélite	LANDSAT 5	LANDSAT 7	LANDSAT 8
Instrumento/Sensor	MSS (até Ago/1995) e TM	ETM +	OLI e TIRS
Operadora/Instituição Responsável	NASA (National Aeronautics and Space Administration)	NASA (National Aeronautics and Space Administration)	NASA (National Aeronautics and Space Administration)
País	Estados Unidos	Estados Unidos	Estados Unidos
Situação Atual	Inativo (22/11/2011)	Ativo com Restrição	Ativo
Lançamento	01/03/1984	15/04/1999	02/11/2013
Altitude	705 km	705 km	705 Km
Inclinação	98,20°	98,2°	98,2°
Órbita	Quase-Polar, Heliossíncrona	Quase-Polar, Heliossíncrona	Circular, Polar, Heliossíncrona
Faixa Imageada	185 Km	185 Km	185 Km
Tempo de Duração da Órbita	98,20 min	98,9 min	99 min.

Horário da Passagem (UTC)	09h / 11h	10h / 12h	10h / 12h
Período de Revisão	16 dias	16 dias	16 dias
Resolução Espacial	MSS: 80 m TM: 30 m	Banda PAN: 15 m Banda Infra vermelho: 30 m Banda Termal: 60 m	Pancromático: 15 m Multiespectral: 30 m Termal: 100 m reamostrada para 30 m

Fonte: A Autora, 2020.

*Dados extraídos do INPE, 2020.

As imagens das séries 5, 7 e 8 do Landsat têm alto potencial na observação do uso e ocupação do solo, monitorando áreas florestais e de pastagens, gerando informações que podem identificar, quantificar, avaliar e acompanhar as alterações realizadas em determinado espaço de tempo, podendo ser usadas as imagens monocromáticas ou as composições coloridas (CONCEIÇÃO, 2004).

2.4 ANÁLISE ESPACIAL ATRAVÉS DO ALGORITMO SEBAL (SURFACE ENERGY BALANCE ALGORITHM FOR LAND)

O modelo *Surface Energy Balance Algorithms for Land* (SEBAL) (BASTIAANSSEN, 1995) é um algoritmo voltado para o estudo de fluxo de calor e estimativa da evapotranspiração, que se destaca pelo fato de utilizar suposições empíricas básicas e por necessitar de dados de sensores orbitais complementados por poucas informações de superfície; ademais, tem sido amplamente utilizado e aceito na comunidade científica nacional e internacional (PAIVA *et al.* 2011; BHATTARAI *et al.* 2012). O algoritmo SEBAL faz uso das radiâncias espectrais registradas nos sensores dos satélites e de um conjunto de dados meteorológicos que incluem a velocidade do vento e a temperatura do ar, possibilitando, com isso calcular o balanço de energia na superfície da Terra e, assim, obter a estimativa da evapotranspiração nas escalas horária e diária (COURAULT *et al.*, 2003).

O uso do SEBAL tem a grande vantagem de proporcionar o balanço de energia à superfície de maneira efetiva e econômica. Possibilita grande cobertura espacial e, dependendo do sensor orbital que o alimenta com dados dos canais

reflectivos e termais, pode também ter grande resolução espacial (SILVA, 2020).

Com dados adequados para a pesquisa, as estimativas do modelo podem ser feitas em escalas espaciais e temporais permitindo a comparações de padrões espaciais, sazonais para variações interanuais da atividade da vegetação a ser avaliada (HEINSCH *et al.*, 2016).

2.5 PARÂMETROS BIOFÍSICOS

O sensoriamento remoto é uma ferramenta que utiliza informações coletadas através da radiação eletromagnética de objetos ou fenômenos da superfície terrestre obtidos pelos sensores, sem a necessidade de contato direto. Atualmente é muito utilizado para levantamento de dados da superfície terrestre, seja ela em escala global, regional ou local, e avaliação periódica, ajudando consideravelmente o monitoramento das características terrestres (MENESES; ALMEIDA, 2012).

A determinação de parâmetros biofísicos da superfície por técnicas e ferramentas avançadas de sensoriamento remoto com dados mínimos da superfície terrestre, vem sendo aplicada em diferentes ecossistemas e manejo de grandes áreas destacando-se como uma alternativa para obtenção em escala regional (Teixeira *et al.*, 2009; Lopes *et al.*, 2018). Nas últimas décadas têm sido propostos algoritmos para estimativa de parâmetros biofísicos levando-se em consideração a variabilidade espacial dos componentes espectrais e energéticos à superfície, que ocorrem na interface solo-vegetação-atmosfera.

Neste contexto, em estudos mais recentes (Giongo *et al.*, 2016; Lopes *et al.*, 2018; Bezerra *et al.*, 2020; Oliveira *et al.*, 2013) estimaram, de forma simples e eficaz, alguns parâmetros biofísicos da superfície, dentre os quais o albedo da superfície, o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN) e Índice de Área Foliar (IAF).

Os índices de vegetação utilizam a razão entre as bandas espectrais para reduzir grande parte dos efeitos multiplicativos como as sombras das nuvens, modificações do relevo, diferenças de iluminação através da radiação solar e condições atmosféricas. Tais índices possibilitam estudos espaciais e temporais da condição da vegetação, possibilitando o acompanhamento sazonal, entre anos e variação de extenso prazo (COELHO, 2015).

Sá et al. (2020), apresentou a evolução temporal da vegetação e suas relações com a degradação ambiental numa área localizada no nordeste da comunidade de Madrid (Espanha). O método de estudo foi baseado na análise de duas imagens de satélite Landsat-5 sensor TM, integrando sensoriamento remoto, Sistema de Informação Geográfica e dados de campo na aplicação do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN). A metodologia e os resultados alcançados, segundo os autores, mostraram a utilidade da análise temporal das mudanças do IVDN na interpretação e avaliação das áreas em processo de degradação ambiental.

Zheng et al. (2018), para investigar os impactos de diferentes condições climáticas em Qinghai-Tibet, cidade localizada no interior da China, empregou o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN) como um indicador para refletir a resposta da dinâmica da vegetação. Os resultados demonstrados pelos autores das simulações obtidas para treinamento e testes, mostraram concordâncias relevantes com as observações mensais do IVDN, ressaltando a importância e eficiência deste indicador.

Galvíncio et al. (2020), analisou a dinâmica da vegetação durante o período de 1985 a 2016, em uma área de Caatinga do Núcleo de Desertificação Cabrobó com o IAF para avaliar os impactos do uso e ocupação do solo e precipitação na cobertura vegetal de áreas degradadas. Os resultados com IAF e o perfil estratigráfico confirmaram que para este Núcleo de Desertificação há forte correlação (73%) entre vegetação e precipitação, onde 27% da área estiveram relacionados ao uso e ocupação do solo.

Nóbrega et al. (2017), investigou a variação dos índices de vegetação no alto curso da Bacia Hidrográfica do Rio Taperoá no intuito de fornecer informações aplicáveis ao planejamento do uso da terra no ambiente das Caatingas. Para esse propósito, os autores calcularam os índices de vegetação da diferença normalizada (NDVI), vegetação ajustada ao solo (SAVI) e área foliar (IAF) a fim de detectar mudanças nesses índices resultantes de variação na disponibilidade hídrica.

Conforme os autores, os resultados demonstraram variações temporais expressivas dos índices biofísicos, com a mudança da disponibilidade hídrica do ambiente, e variações espaciais resultantes da cobertura e uso da terra. Segundo os autores, tais resultados reforçam a importância de análises sazonais dos índices biofísicos gerados por sensoriamento remoto em ambientes de Caatingas, bem como enfatizam a consideração da dinâmica hidroclimática e a necessidade dos

estudos de campo nas análises ambientais.

Nestes estudos, o Índice de Área Foliar (IAF) e estatísticas de correlação constituem metodologias principais na obtenção de dados para a caracterização dos ecossistemas (Rocha, 2018). Recentemente, um grupo de pesquisadores tem avançando no desenvolvimento de modelos de IAF que melhor estimem a cobertura vegetal da Caatinga, assim, Galvíncio et al. (2013) calibraram o IAF com equipamento de alta geração e imagens de sensoriamento remoto para a Caatinga.

a) Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – IVDN

O índice de vegetação por diferença normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index – NDVI*) é um produto de sensoriamento remoto que pode ser utilizado para avaliar tanto a variação espacial como temporal das condições da vegetação e a dinâmica dos ecossistemas (COHEN, 2003). Este é o índice de vegetação mais utilizado nos estudos sobre a cobertura vegetal. Segundo Karniely et al. (1996), este índice além de possibilitar o estudo da dinâmica do ecossistema, também pode ser utilizado nos estudos de mudanças do uso da terra, desertificação e processos de mudanças climáticas em escala regional e global.

O cálculo do IVDN (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) utiliza uma razão entre as reflectâncias das bandas do vermelho e do infravermelho próximo (Equação 1). Essas bandas são escolhidas pelo fato de haver diferentes comportamentos da vegetação quanto à absorção e reflexão de energia em cada uma delas. O resultado do índice varia de -1 a 1, de forma que quanto mais próximo do 1, indicativo de presença de vegetação, e quanto mais próximo do -1, maior indicação de presença de solos descobertos e rochas (Figura 4).

Figura 4 - Valores da razão entre as bandas do Infravermelho e Vermelho (IVDN).



Fonte: Poelking, 2007.

Na faixa do vermelho a clorofila retém radiação eletromagnética do sol, causando uma baixa refletância, entretanto na faixa do infravermelho próximo, tanto a morfologia interna das folhas quanto a estrutura da vegetação ocasionam uma alta

refletância da radiação eletromagnética solar incidente (LOURENÇO e LADIM, 2004). Consequentemente, quanto maior o contraste, maior o vigor da vegetação na área imageada.

$$\text{NDVI} = (\rho_{\text{IV}} - \rho_V) / (\rho_{\text{IV}} + \rho_V) \quad (1)$$

Onde ρ_{IV} corresponde a banda do infravermelho próximo, e ρ_V a banda do vermelho.

b) Índice De Área Foliar - IAF

O Índice de Área Foliar (IAF) é definido pela razão entre a área foliar de toda a vegetação por unidade de área utilizada por essa vegetação. Trata-se de um indicador da biomassa de cada pixel da imagem e o mesmo será computado pela seguinte equação empírica proposta por Allen *et al.* (2002):

$$IAF = \frac{\ln\left(\frac{0,69 - SAVI}{0,59}\right)}{0,91} \quad (2)$$

c) Albedo de superfície

O albedo da superfície (α) ou albedo corrigido dos efeitos atmosféricos foi obtido pela equação conforme Bastiaanssen *et al.* (1998):

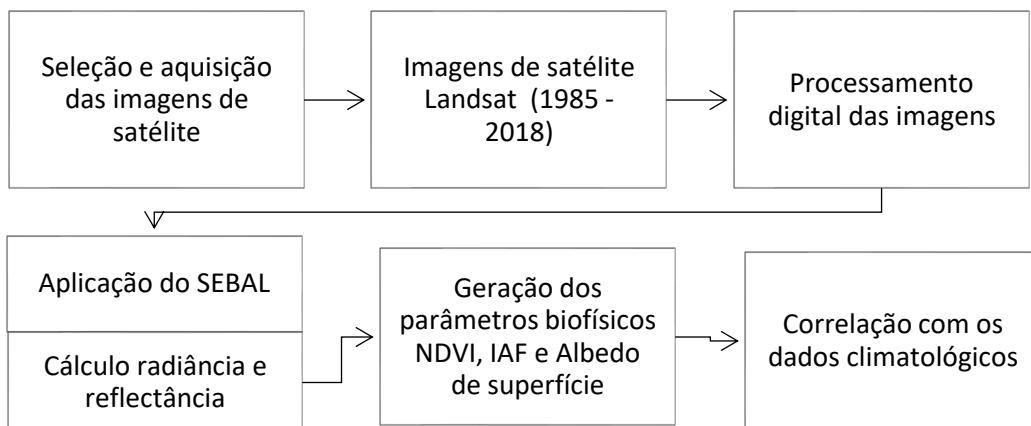
$$\alpha = \frac{\alpha_{\text{toa}} \alpha_p}{\tau_{\text{sw}}^2} \quad (3)$$

sendo: α_{toa} = albedo planetário; α_p = porção da radiação solar refletida pela atmosfera, considerando 0,03 conforme Bastiaanssen (2000) e τ_{sw} = transmissividade atmosférica para os dias de céu claro.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Propõe-se diante dessas discussões, que para analisar a biomassa florestal do polo gesseiro da Região do Araripe – Pernambuco a partir de índices de vegetação e albedo de superfície, deve-se cumprir o seguinte percurso metodológico:

Figura 5 - Fluxograma de procedimentos metodológicos

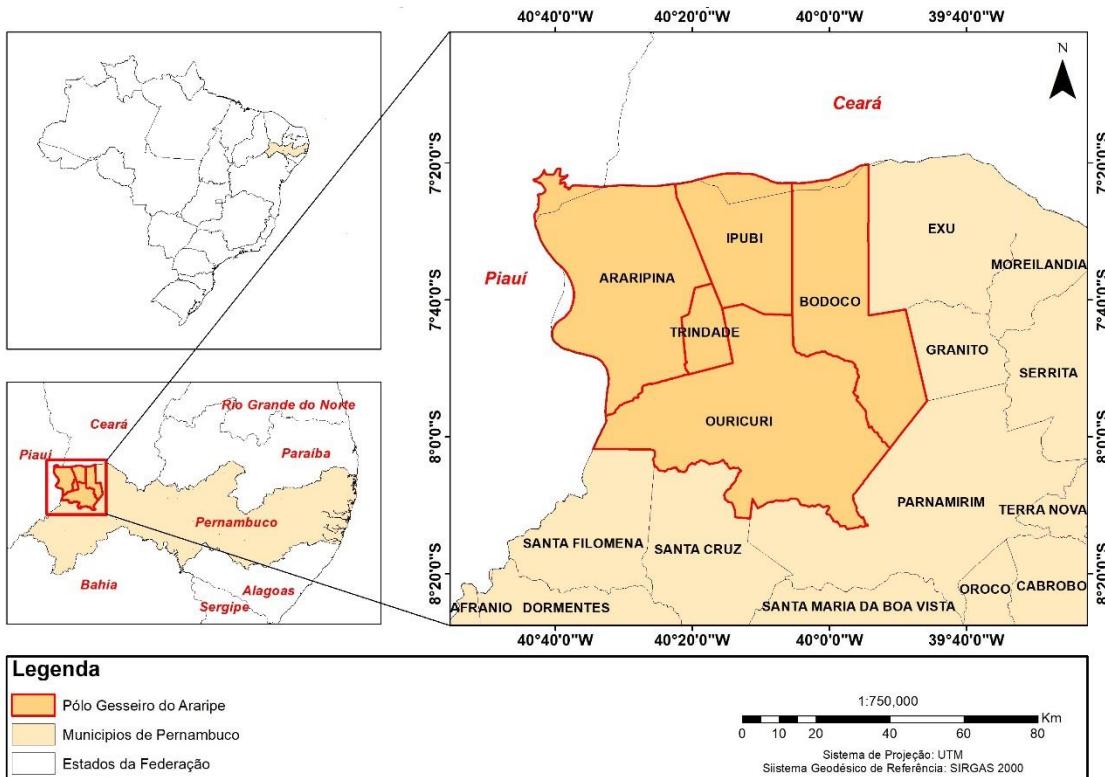


Fonte: A Autora, 2020.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreende os municípios de Araripina, Bodocó, Ipubi, Ouricuri e Trindade que constituem o Polo Gesseiro do Araripe, localizado entre as coordenadas 7°10' a 7°48' S e 39°47' a 40°38' W no extremo Oeste de Pernambuco (Figura 6), totalizando 7.082,86 km², o que representa 7,20% da área total do estado.

Figura 6 - Mapa de localização da área de estudo



Fonte: A Autora, 2020.

* Dados obtidos em IBGE, 2020.

O Polo Gesseiro do Araripe encontra-se contido no Bioma Caatinga, e conforme Giulietti *et al* (2004) é uma área de extrema importância biológica com necessidade de conservação da sua flora, por se tratar de uma região de mosaicos vegetacionais. Segundo o IBGE, a Caatinga é classificada como Savana Estépica. Este termo foi empregado no Brasil para designar a área do “sertão árido nordestino” com dupla estacionalidade, possuindo dois períodos secos anuais, um com longo déficit hídrico seguido de chuvas intermitentes e outro com seca curta, seguido de chuvas torrenciais que podem faltar durante anos (IBGE, 1992).

3.1.1 Solo

De acordo com o Zoneamento Agroecológico do Estado de Pernambuco, realizado na escala de 1:100.000 (EMBRAPA, 2006), na região do Araripe existem oito classes de solos: Latossolos Amarelos (LA) e Vermelho (LVA), Argissolos Vermelho- Amarelos (PVA) e Argissolos Vermelhos (PV) Neossolos Flúvicos (RU), Litólicos (RL) e Quartzarênicos (RQ) e Vertissolos (VX).

Os Neossolos Litólicos ocupam a maior extensão (38,46%), distribuídos nos pediplanos e nas serras e serrotes residuais. Em segundo lugar ocorrem Argissolos Vermelho-Amarelos e Vermelhos. Em terceiro são os Latossolos Amarelos de relevo plano e suave ondulado e os Latossolos Vermelho Amarelos (geralmente de encostas ou ocupando parte dos tabuleiros baixos associados aos Argissolos e Neossolos Quartzarênicos). Em menores proporções tem-se os Neossolos Flúvicos (com cultivo de cana-de-açúcar), seguidos pelos Neossolos Quartzarênicos e os Vertissolos (SILVA, 2008).

O Quadro 2 apresenta um resumo das principais características das classes de solo encontradas na região estudada.

Quadro 2 - Descrição das classes de solo encontradas nos municípios que constituem o polo gesseiro da Região do Araripe.

Classe de solo	Características
Latossolos	Solos constituídos por material mineral, apresentando horizonte B latossólico imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte A, dentro de 200 cm da superfície do solo ou dentro de 300 cm se o horizonte A apresenta mais que 150 cm de espessura. Solos adequados ao cultivo de florestas
Neossolos	Solos constituídos por material mineral, não hidromórficos, ou por material orgânico pouco espesso, que não apresentam alterações expressivas em relação ao material originário devido à baixa intensidade de atuação dos processos pedogenéticos.
Neossolos Flúvicos	São solos minerais não hidromórficos, oriundos de sedimentos recentes referidos ao período Quaternário. Geralmente apresentam espessura e granulometria bastante diversificadas, ao longo do perfil do solo, devido a diversidade e a formas de deposição do material originário.
Neossolos Litólicos	Compreendem solos rasos, onde geralmente a soma dos horizontes sobre a rocha não ultrapassa 50 cm, estando associados normalmente a relevos mais declivosos.
Neossolos Quartzarênicos	São solos minerais, derivados de sedimentos arenocárticos do Grupo Barreiras do período do Terciário e sedimentos marinhos do período do Holoceno. São essencialmente arenocárticos, não hidromórficos ou hidromórficos sem contato lítico dentro de 50 cm de profundidade da

	superfície. Normalmente, são profundos a muito profundos, com textura areia ou areia franca ao longo de pelo menos 150 cm de profundidade ou até o contato lítico.
Vertissolo	Solos constituídos por material mineral com horizonte vértico entre 25 e 100 cm de profundidade e relação textural insuficiente para caracterizar um B textural. Solos inadequados ao cultivo de florestas.

Fonte: A Autora, 2020.

*Dados extraídos da EMBRAPA, 2020.

3.1.2 Clima

Enquanto na zona temperada o Sol não alcança o zênite, nas zonas intertropicais, onde está inserida a Região do Araripe, o Sol atinge o zênite duas vezes ao ano (Albuquerque, 2002). Portanto, observa-se que a Região do Araripe é submetida a forte radiação solar, uma vez que a intensidade deste fenômeno depende essencialmente da altura do Sol sobre o horizonte (IBGE, 1977).

Em decorrência disso, a média das temperaturas anuais da Região Nordeste são as mais elevadas, classificado por Köppen como Bswh' (Clima semiárido quente), caracterizado como sendo quente e semiárido. Quase todas as regiões com este clima possuem médias térmicas anuais acima de 26 °C, onde apenas as áreas situadas acima de 200 m de altitude possuem temperatura média anual inferior a 26 °C, como é o caso da Região do Araripe, localizada entre 400 e 900 m acima do nível do mar (IBGE, 2018). A ação dos ventos alísios, conjugada à altitude do Araripe, faz com que esta seja uma das áreas com temperatura mais amena de toda a região Nordeste. Porém, as temperaturas médias anuais desta área ainda são elevadas, situadas entre 22 e 26 °C, como pode ser observado no quadro 3.

Entretanto, não apenas as médias do ano são elevadas, mas as de qualquer mês do ano, o que significa que, levando-se em conta as temperaturas médias, a variação anual não possui grande amplitude. A semiaridez é acentuada na parte mais baixa, onde os totais anuais precipitados variam entre 400 e 500 mm. Na região norte, o que corresponde a Chapada do Araripe, as precipitações aumentam, atingindo médias entre 700 e 800 mm.

Quadro 3 - Resumo dos aspectos climáticos dos municípios que constituem o polo gesseiro do Araripe

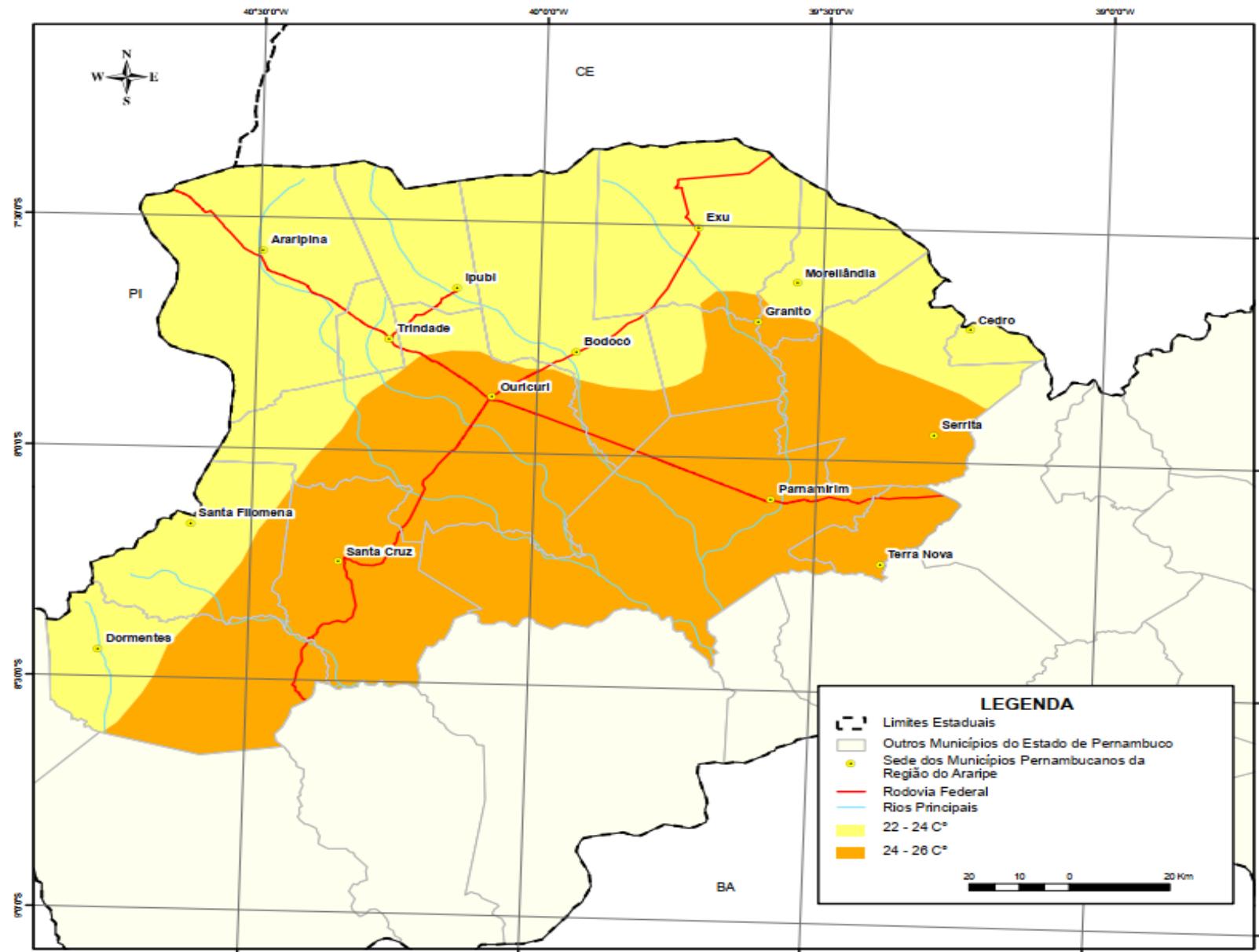
<i>Município</i>	<i>Pluviosidade</i>	<i>Temperatura</i>	<i>Temperatura</i>	<i>Temperatura</i>	<i>Estação</i>	<i>Estação</i>
	<i>Média Anual (mm)</i>	<i>Mínima Média Anual (°C)</i>	<i>Média anual (°C)</i>	<i>Máxima Média Anual (°C)</i>	<i>Seca</i>	<i>Seca (Meses)</i>
Araripina	674	20,6	22,4	30,3	Mai-Nov	7
Bodocó	644	19,9	25,6	33,1	Mai-Nov	7
Ipubi	985	19,8	24,8	32,6	Jun-Out	5
Ouricuri	602	20,4	25,5	33,1	Mai-Nov	7
Trindade	729	20,1	24,9	32,7	Mai-Nov	7

Fonte: A Autora, 2020.

*Dados extraídos do ITEP, 2018.

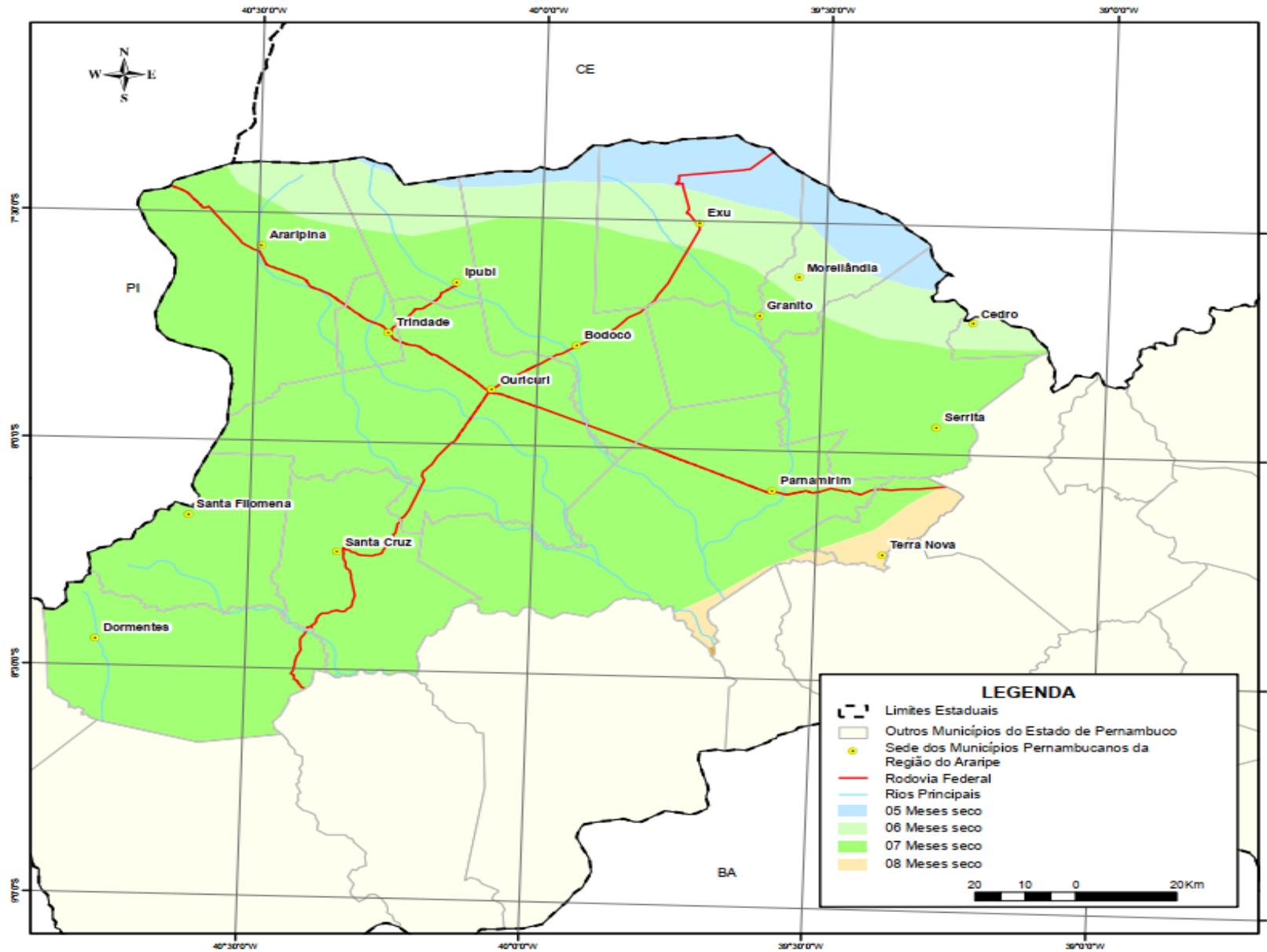
A Região do Araripe se constitui em um “ponto final” de 4 sistemas de correntes atmosféricas, cuja passagem é acompanhada de instabilidade e chuvas (ITEP, 2018). Desta posição advêm todas as características de seus regimes de chuvas. Através da figura 7 nota-se que a temperatura média anual é inferior na parte norte da Região do Araripe em Pernambuco, em virtude de uma maior altitude encontrada nesta região. A duração do período seco é inferior na parte norte da Região do Araripe em Pernambuco, em razão da altitude desta área ser maior, como pode ser observado na figura 8.

Figura 7 – Temperaturas médias anuais na Região do Araripe



Fonte: FUPEF, 2018.

Figura 8 – Duração do período seco na Região do Araripe



CHAPADA DO ARARIPE - PERNAMBUCO
FIGURA 8 - DURAÇÃO DO PERÍODO SECO NA REGIÃO DO ARARIPE

DATA:	FEV/2007	DADOS TÉCNICOS:
ESCALA:	1:900.000	Projeção: Cilíndrica Conforme Normal Datum: SAD 69
PRODUZIDO POR:		RESP. TÉCNICO
		Eng. Florestal Joélio Deodálio P. Siqueira CREA PR. 4057/D

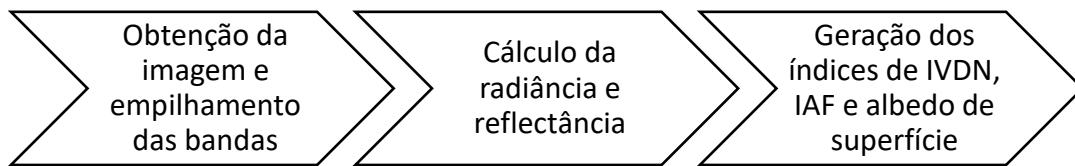
Fonte: FUPEF, 2018.

3.2 SELEÇÃO E AQUISIÇÃO DAS IMAGENS

O processo de escolha das imagens foi realizado buscando-se adquirir as que apresentassem menor presença de nuvens, levando em consideração que o limite aceitável corresponde a 15%, conforme afirma Galvíncio (2011). Além disso, foi considerado um espaçamento de tempo de 5 anos entre uma imagem e outra. Todas as imagens coletadas foram do mês de outubro, que corresponde à estação seca na região estudada.

Entretanto, vale ressaltar que não foi possível a coleta das imagens do mês de outubro referente aos anos de 1995 e 2010, devido ao grande percentual de nuvens (superior a 15%) presente nas imagens, diante disso, foram selecionadas as imagens referentes às datas de 24/10/1985, 06/10/1990, 22/10/1996, 25/10/2000, 15/10/2005, 24/10/2009, 27/10/2015, 03/10/ 2018, de órbita 217 e ponto 65, todas coletadas de forma gratuita através da plataforma Earth Explorer sob responsabilidade da USGS (*United States Geological Survey*).

Figura 9 - Fluxograma do processamento digital das imagens



Fonte: A Autora, 2020.

3.3 PROCESSAMENTO DAS IMAGENS

Os tópicos seguintes apresentam as etapas do processamento das imagens da série Landsat e os respectivos cálculos para a geração dos parâmetros biofísicos estudados.

3.3.1 Processamento das imagens OLI/TIRS

No caso das imagens referentes ao Landsat 8, as mesmas são disponibilizadas georeferenciadas, isto é, corrigidas de deslocamentos da projeção de referência, processo que anteriormente era realizado pelo usuário. O satélite Landsat 8

transporta uma carga de dois sensores, o *Operacional Land Imager* (OLI) e o Sensor de Infravermelhos Térmicos (TIRS).

As bandas espectrais OLI e TIRS permanecem globalmente comparáveis ao *Thematic Mapper Landsat 7* (ETM +). Quando comparado com a ETM +, a OLI tem duas faixas adicionais de comprimento de onda reflexiva: um novo comprimento menor de onda na faixa do azul ($0,43\text{ }\mu\text{m}$ - $0,45\mu\text{m}$), e tem como objetivo melhorar a sensibilidade à clorofila e outros materiais em suspensão nas águas costeiras e para recuperar propriedades de aerossóis atmosféricos, e uma nova faixa de ondas curtas no infravermelho ($1,36\mu\text{m}$ - $1,39\mu\text{m}$) para a detecção de cirros (Roy, 2014).

Para geração dos índices propostos no algoritmo SEBAL utilizando-se imagens do sensor OLI, referente às imagens a partir de 2013, os seguintes passos foram seguidos:

a) Cálculo da Radiância

Os Números Digitais (ND) da imagem foram transformados para valores de radiância por meio da Equação 4:

$$L_\lambda = M_L Q_{cal} + A_L \quad (4)$$

onde L_λ é a radiância espectral no topo da atmosfera (Wm^2); M_L é o fator multiplicativo de redimensionamento específico para cada banda; A_L corresponde ao fator de redimensionamento aditivo específico para cada banda e Q_{cal} aos valores dos números digitais de cada pixel.

b) Cálculo da Reflectância

A reflectância ($\rho\lambda$) correspondente a proporção entre o fluxo de radiação eletromagnética incidente e o fluxo que é refletido por cada banda, foi obtida conforme Silva et al. (2005b) e Bezerra et al. (2011), pela equação:

$$\rho\lambda' = M_\rho Q_{cal} + A_\rho \quad (5)$$

onde $\rho\lambda'$ é a refletância planetária no topo da atmosfera sem correção para o ângulo solar; M_p é o fator multiplicativo de redimensionamento específico para cada banda; A_p é o fator de redimensionamento aditivo específico para cada banda e Q_{cal} corresponde aos valores dos Números Digitais de cada pixel.

c) Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – IVDN

Este índice é usado para identificar a presença de vegetação verde na superfície, o que permite caracterizar sua distribuição espacial, bem como a evolução do seu estado ao longo do tempo, a qual é determinada pelas variações das condições climáticas dominantes, bem como pelos ciclos fenológicos anuais (FOLHES, 2007).

O IVDN é o método que calcula a diferença entre os valores refletidos da banda do infravermelho próximo e da banda do vermelho, normalizada pela soma dos mesmos valores. Este índice está associado a parâmetros biofísicos da cobertura vegetal, como biomassa e índice de área foliar (PONZONI, 2002).

A cobertura verde saudável absorve a maior parte da luz vermelha e reflete a maior parte da luz do infravermelho próximo, pois a clorofila absorve principalmente a luz azul e vermelha e o mesófilo reflete a luz do infravermelho. Essa reflexão nesse comprimento de onda é influenciada pelas propriedades dos tecidos foliares das plantas como estrutura celular e cloroplastos, responsáveis pela fotossíntese, e estas características anatômicas são afetadas por fatores ambientais como umidade e salinidade do solo, e estado nutricional da folha (MA et al, 2001).

No equacionamento utilizou-se o algoritmo padrão onde são consideradas as bandas 3 e 4 do Landsat 5 e 7, aplicado diretamente sobre cada par de pixels das bandas, nas faixas do espectro eletromagnético correspondentes ao vermelho visível (V) e do infravermelho próximo (IVP). O IVDN permite a detecção de mudanças sazonais e interanuais no desenvolvimento e atividades da vegetação, possibilitando o perfil temporal de crescimento e pico de verde. Apresenta uma variação entre -1 e +1, sendo que, em superfícies com vegetação verde, os valores variam de 0 a 1 e, na água ou nuvens, os valores predominam menores que zero (ROUSE et al., 1973).

d) Índice de Área Foliar - IAF

O Índice de Área Foliar (IAF) é obtido pela razão entre a área foliar de toda a vegetação por unidade de área utilizada por essa vegetação. A unidade utilizada (m^2) tanto para área quanto para vegetação, dá-se em razão da influência de sua estatura que deixa as folhas “empilhadas”, desta forma, quando se tem densidades maiores de folhas, os valores do IAF consequentemente são maiores. Constitui um indicador da biomassa de cada pixel da imagem e o mesmo foi computado pela seguinte equação empírica obtida por Allen et al. (2002), (Equação 6):

$$IAF = \frac{\ln\left(\frac{0,69 - SAVI}{0,59}\right)}{0,91} \quad (6)$$

O Índice de Vegetação Ajustado para os Efeitos do Solo (*Soil Adjusted Vegetation Index - SAVI*) utilizado na equação para se obter o IAF, é um índice que busca amenizar os efeitos do “background” do solo. Para calculá-lo pode-se utilizar a expressão (HUETE, 1988):

$$SAVI = \frac{(1+L)(\rho_{iv} - \rho_v)}{L + (\rho_{iv} + \rho_v)} \quad (7)$$

onde ρ_{iv} corresponde a banda do infravermelho próximo; ρ_v a banda do vermelho e L corresponde a constante de correção do solo. Em estudos recentes, tem-se utilizado $L = 0,1$, embora o seu valor mais frequente seja $L = 0,5$ (HUETE e WARRICK, 1990; ACCIOLY et al., 2002; BOEGH et al., 2002).

Com imagens da série Landsat 5 e 7 são utilizadas as bandas 3 e 4, vermelho e infravermelho próximo, respectivamente.

e) Albedo de superfície

O albedo da superfície (α) ou albedo corrigido dos efeitos atmosféricos foi obtido pela equação conforme Bastiaansen et al. (1998):

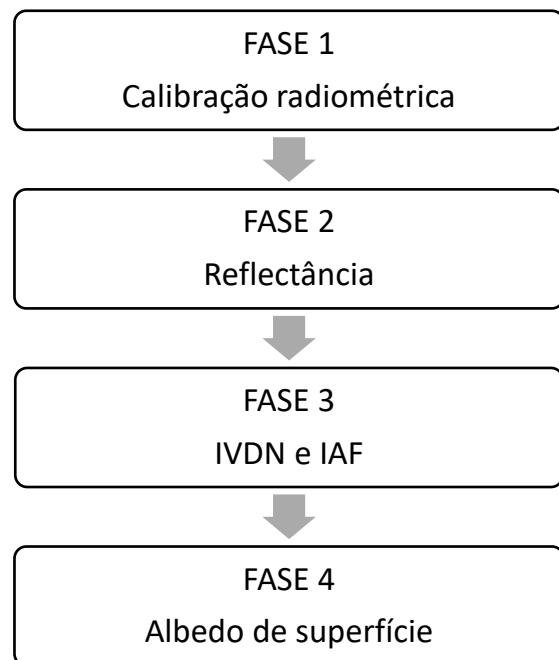
$$\alpha = (\alpha_{toa} - \alpha_p) / \tau_{sw.2} \quad (8)$$

em que: α_{toa} é o albedo planetário; α_p é a reflectância atmosférica, considerada nesta pesquisa igual a 0,03, conforme Bastiaansen (2000); e τ_{sw} é a transmitância atmosférica.

3.3.2 Processamento das imagens da série Landsat 5 e 7

As etapas computacionais para a obtenção do IVDN, IAF e albedo de superfície por meio do algoritmo SEBAL utilizando-se imagens da série Landsat 5 e 7, estão ilustradas no fluxograma representado na figura 10 e descritas na sequência.

Figura 10 - Fluxograma das fases do processamento



Fonte: A Autora, 2020.

a) Calibração radiométrica

A calibração radiométrica corresponde à primeira fase do processamento, a qual é calculada utilizando-se a fórmula proposta por Markham e Baker (1987):

$$L\lambda i = ai + \frac{bi - ai}{255} * ND \quad (10)$$

onde a_i e b_i são as radiâncias espectrais mínima e máxima ($Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$) de cada banda, respectivamente, representada na tabela 1 e ND refere-se a intensidade do pixel (número inteiro de 0 a 255).

Tabela 1 - Coeficientes de calibração do TM/Landsat 5 e 7.

Descrição dos canais	Comprimento de onda - μm	Coeficientes de calibração		$K_{\lambda}(\lambda_i) -$ W/m^2 μm
		a	b	
Banda 1 (azul)	0,45-0,52	-1,52	152,1	1957
Banda 2 (verde)	0,53-0,61	-2,84	296,8	1829
Banda 3 (vermelho)	0,62-0,69	-1,17	204,3	1557
Banda 4 (infra-vermelho próximo)	0,78-0,90	-1,51	206,3	1047
Banda 5 (infra-vermelho médio)	1,57-1,78	-0,37	27,19	219,3
Banda 6 (infra-vermelho termal)	10,4-12,5	1,238	15,30	-
Banda 7 (infra-vermelho médio)	2,10-2,35	-0,15	14,38	74,52

Fonte: Chander; Markham, 2003.

a) Cálculo da Reflectância

A reflectância espectral planetária em cada banda foi estimada utilizando-se a equação proposta por Bastiaanssen (1995):

$$r_{pi} = \frac{L_{\lambda i} * \pi}{K_{\lambda i} * \cos Z * d_r} \quad (11)$$

Em que $L_{\lambda i}$ é a radiância espectral de cada $K_{\lambda i}$ é a irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera em $Wm^{-2}\mu m^{-1}$ (Tabela x). Z se refere ao ângulo zenital solar e d_r é o quadrado da razão entre a distância média Terra-Sol (r_o) e a distância Terra-Sol (r) em dado dia do ano (DOA), obtido com a seguinte equação:

$$d_r = 1 + 0,033 \cos(DOA \frac{2\pi}{365}) \quad (12)$$

A reflectância monocromática de cada banda r_{pi} é definida como a razão entre fluxo emergente da atmosfera e o fluxo incidente no seu topo, na região e banda

espectral analisada, sendo computada a partir dos mapas de radiância espectral de cada banda.

b) Albedo de superfície

O albedo de superfície é o albedo corrigido pelos valores do efeito atmosférico, dado por:

$$\alpha = \frac{\alpha_{toa} - \alpha_p}{\tau_{sw^2}} \quad (13)$$

em que α_p refere-se a radiação solar refletida pela atmosfera, variando entre 0,025 e 0,04, em que conforme Bastiaanssen (2000), o valor recomendado para o SEBAL é 0.03. τ_{sw^2} é a transmissividade atmosférica, obtida para condições de céu claro em função da altitude de cada pixel (z) e proposta por Allen et al. (2002).

c) IVDN e IAF

Para se calcular os valores de IVDN (Índice de Vegetação Por Diferença Normalizada) e IAF (Índice de Área Foliar) foram utilizadas as equações 14 e 15, respectivamente:

$$IVDN = \frac{\rho_{iv} - \rho_v}{\rho_{iv} + \rho_v} \quad (14)$$

onde ρ_{iv} se refere a refletividade do infravermelho próximo e ρ_v corresponde a refletividade do vermelho, as quais compreendem, respectivamente as bandas 4 e 3 do Landsat 5 e 7, em que os valores do IVDN variam de -1 a +1.

Huete (1988) introduziu um fator no IVDN para incorporar o efeito da presença do solo, mantendo-se o valor do IVDN dentro do intervalo -1 a +1. Esse novo índice é chamado de IVAS, obtido com a seguinte expressão:

$$IVAS = \frac{(1+l)(\rho_{iv} - \rho_v)}{(L + \rho_{iv} + \rho_v)} \quad (15)$$

Em que, L é um fator de ajuste ao solo, podendo variar de 0,1 a 1. No presente trabalho foi utilizado o valor intermediário de 0,5, mais frequentemente utilizado

pelos pesquisadores Huete e Warrick (1990); Accioly et al. (2002); Boegh et al. (2002); apud. Silva (2005).

Para o cálculo do IAF, foi utilizada a equação proposta por Allen et al. (2002):

$$IAF = \frac{-\ln(0,69 - \frac{IVAS}{0,59})}{0,91} \quad (16)$$

A qual representa a razão entre a área foliar de toda a vegetação e área utilizada por essa vegetação, ou seja, o IAF é um indicador da abundância de folhas da vegetação e pode estar relacionado com a quantidade de biomassa de cada pixel.

3.4 DADOS CLIMATOLÓGICOS

Foram obtidos dados de precipitação pluviométrica mensais da série histórica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), complementados com dados da Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC), referente aos meses de julho, agosto e setembro dos anos de 1985, 1990, 1996, 2000, 2005, 2009, 2015 e 2018, para avaliar como a precipitação correspondente aos 3 meses anterior à data das imagens influencia na paisagem, isto porque considera-se um período suficiente para avaliar as interferências da precipitação na cobertura vegetal, conforme afirma Galvínio (2010).

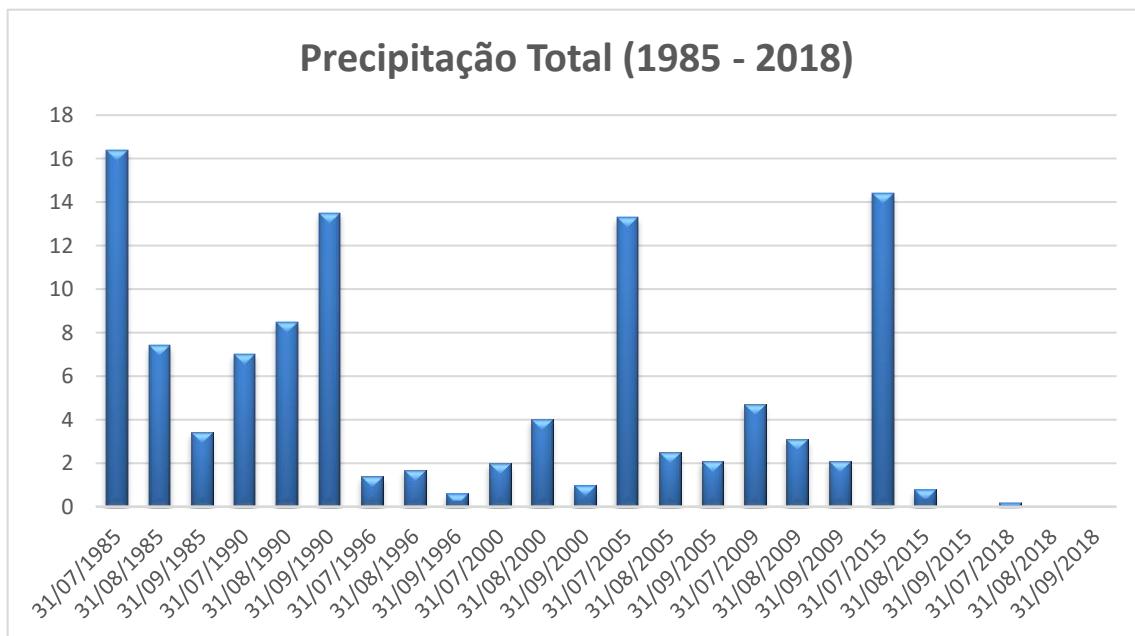
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O presente tópico apresenta os resultados obtidos por cada índice biofísico, correlacionando-os com os dados de precipitação pluviométrica dos 3 meses anteriores à data de cada imagem, e com isso, discutindo e analisando os padrões espaciais e a dinâmica da cobertura vegetal da área de estudo para o período de 1985 a 2018.

4.1 ANÁLISE CLIMATOLÓGICA

O gráfico 1 mostra a precipitação total do Polo Gesseiro do Araripe referente aos meses de julho, agosto e setembro dos anos de 1985, 1990, 1996, 2000, 2005, 2009, 2015 e 2018, que correspondem aos 3 meses anteriores à data das imagens utilizadas na pesquisa. Destaca-se que para o ano de 2018, apenas os dados referentes ao mês de julho encontravam-se disponíveis. Já no gráfico 2, tem-se os dados de temperatura média máxima e mínima mensal da região estudada.

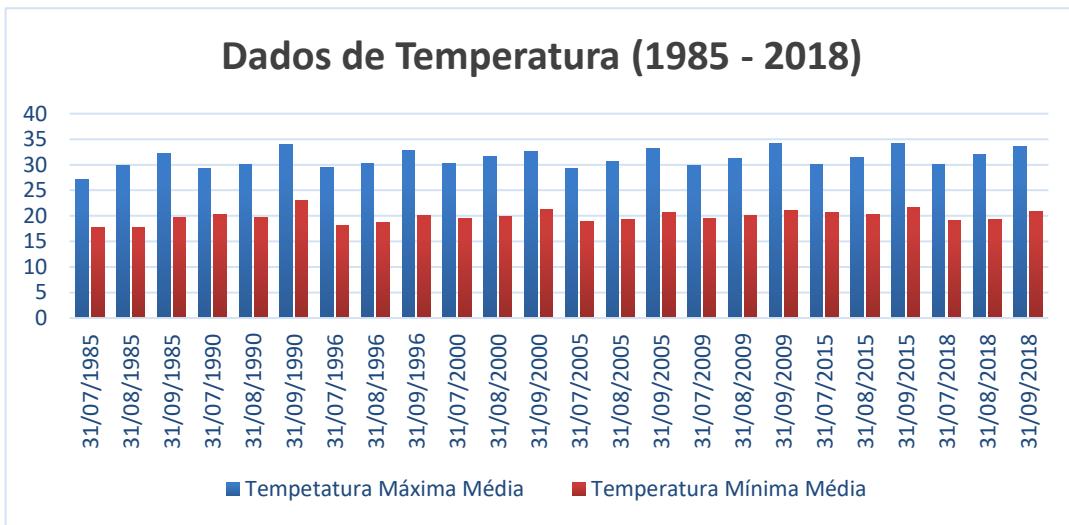
Gráfico 1 - Dados de precipitação



Fonte: A Autora, 2019.

*Dados obtidos do Inmet.

Gráfico 2 - Dados de temperatura.



Fonte: A Autora, 2019.

*Dados obtidos do Inmet.

Pode-se observar através do gráfico 1 que nos três meses analisados anteriores à data das imagens, as precipitações mensais ficam abaixo de 16,4 mm. As precipitações do mês de julho são as mais significativas principalmente para os anos de 1985, 2005 e 2015, variando entre 13,3 a 16,4 mm. Ainda pode-se observar analisando o gráfico 1, que os anos mais chuvosos considerando os meses analisados, está compreendido entre os anos de 1985 e 1990.

Já em relação à temperatura, pode-se observar no gráfico 2 que no período analisado a temperatura média mais elevada é de 34°C no mês de setembro do ano de 2009, já a mínima é de 17°C que se encontra disposta no mês de julho de 1985. Entretanto, de maneira geral percebe-se que não há variações significativas de temperatura durante todo o período analisado. Vale salientar que a estação seca e consequentemente de temperaturas mais elevadas, corresponde aos meses de maio a dezembro.

4.2 ANÁLISE DA COBERTURA VEGETAL

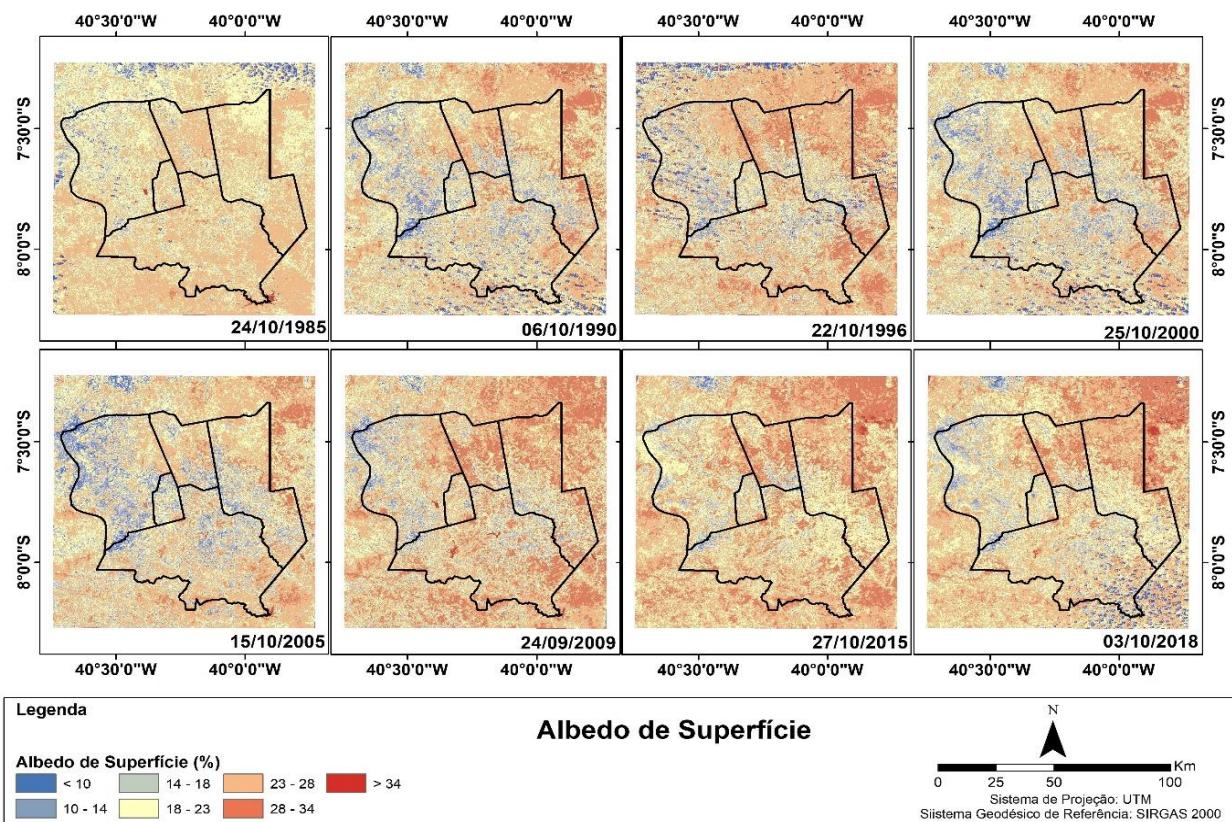
Considerando a vegetação um parâmetro indicador da qualidade ambiental, o presente tópico demonstra a dinâmica da cobertura vegetal da região estudada por meio da apresentação dos dados obtidos com a estimativa dos parâmetros biofísicos, correlacionando-os com os dados de precipitação pluviométrica da área.

4.2.1 Albedo de Superfície

As imagens referentes ao albedo de superfície (Figura 11) permitem observar pequenas variações nesse parâmetro entre os oito anos analisados, sendo os municípios de Araripina e Ouricuri os que apresentam mais variações comparado com os demais municípios pertencentes ao Polo Gesseiro do Araripe. Valores altos de albedo podem identificar superfícies mais lisas, secas e de coloração clara, e os valores mais baixos são associados a superfícies rugosas, úmidas e de coloração escura (LOPES et al., 2018). Vale ressaltar que os índices de albedo abaixo de 10%, correspondente à cor azul nas imagens analisadas a seguir, correspondem à presença de nuvens.

Querino et al. (2006) encontraram valores médios anuais de albedo de 13% para regiões de floresta e 18% para pastagens. Esse comportamento está diretamente relacionado com a ocorrência de menores volumes pluviométricos nos meses antecedentes à data da imagem, conforme é demonstrado nos gráficos 3, 4, 5 e 6.

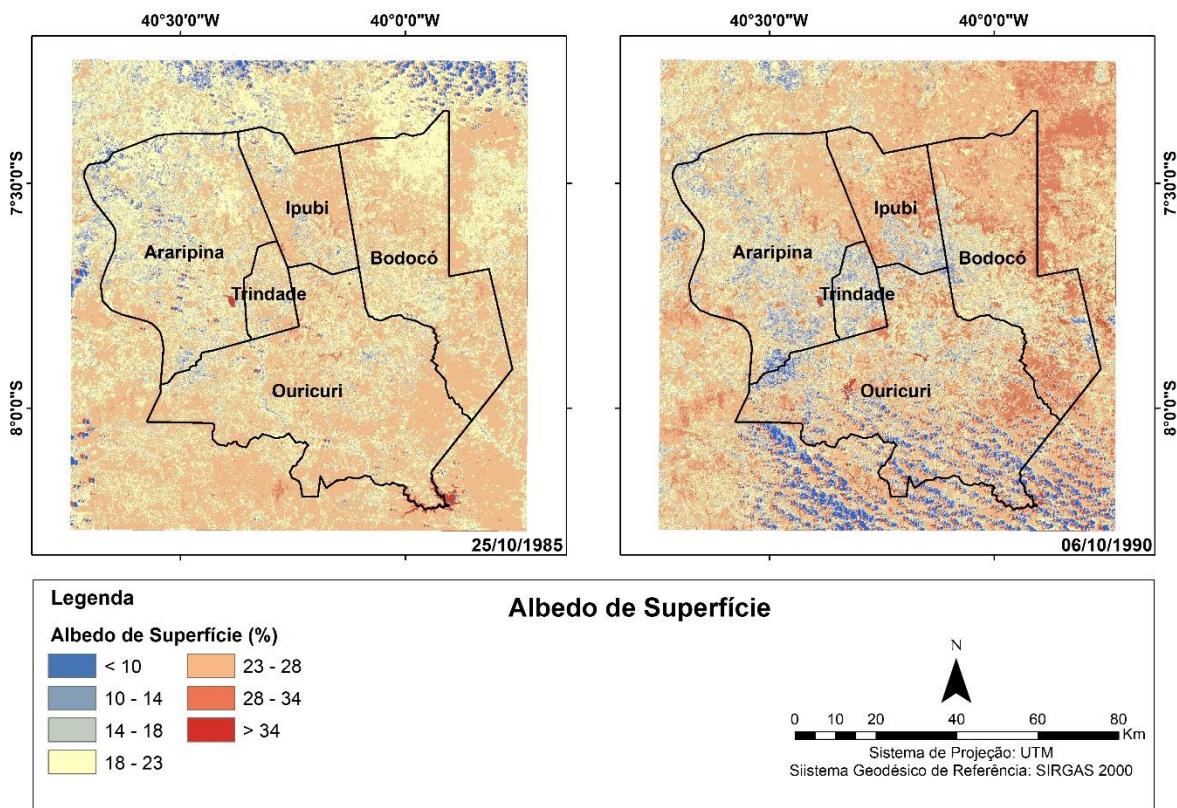
Figura 11 - Albedo de superfície do Polo Gesseiro do Araripe (1985 – 2018)



Fonte: A autora, 2020

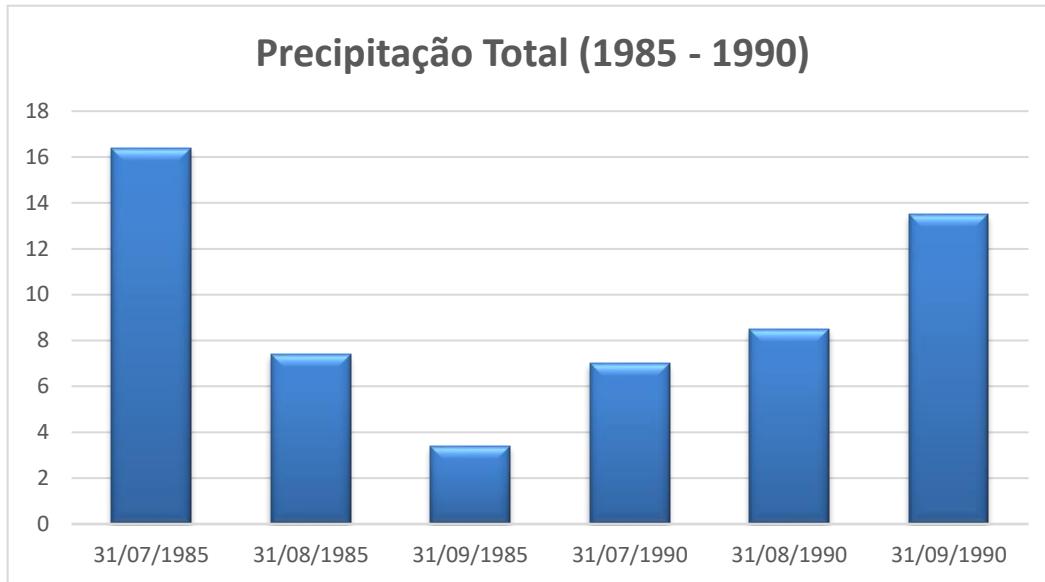
A vegetação de caatinga é extremamente sensível às condições climáticas, e por esse motivo, mesmo em intervalos curtos de tempo pode apresentar grandes variações em seus aspectos biofísicos, como observou Lins et al., 2017. De forma geral, os valores do albedo de superfície apresentaram pequenas variações em seus valores entre os anos de 1985 e 1990 (Figura 12), expressando desde valores próximos a 10% para uma pequena porção do município de Ouricuri no ano de 2000, chegando a cerca de 34% para pequenas áreas do município de Bodocó e Trindade. Essa discrepância é decorrente da heterogeneidade da paisagem, onde a influência do relevo e dos usos pode acentuar as variações meteorológicas. O acúmulo de chuvas no trimestre antecedente à data da imagem, também não apresentou grande variação entre os dois anos analisados, correspondendo a aproximadamente 27,2mm no ano de 1985 e 29mm no ano de 1990.

Figura 12 - Albedo de superfície do Polo Gesseiro do Araripe (1985 – 1990)



Fonte: A Autora, 2020.

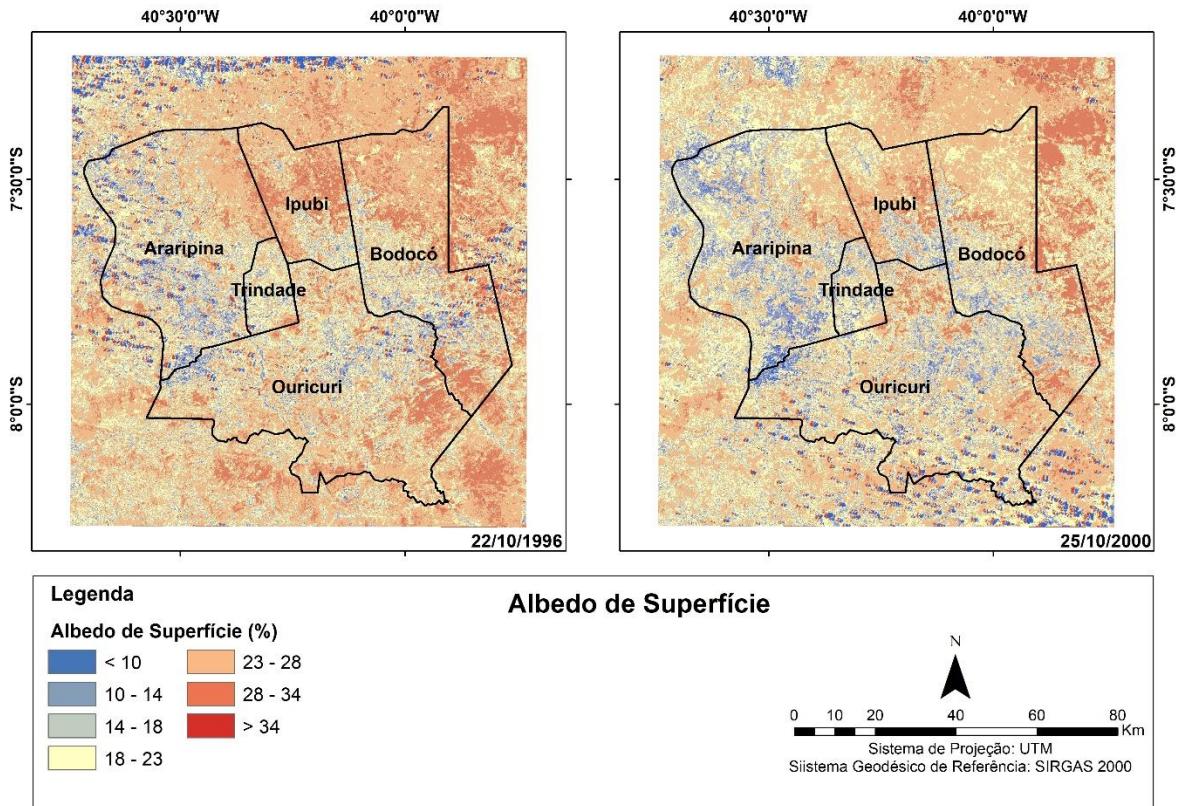
Gráfico 3 - Dados de precipitação (1985 – 1990)



Fonte: A Autora, 2020.

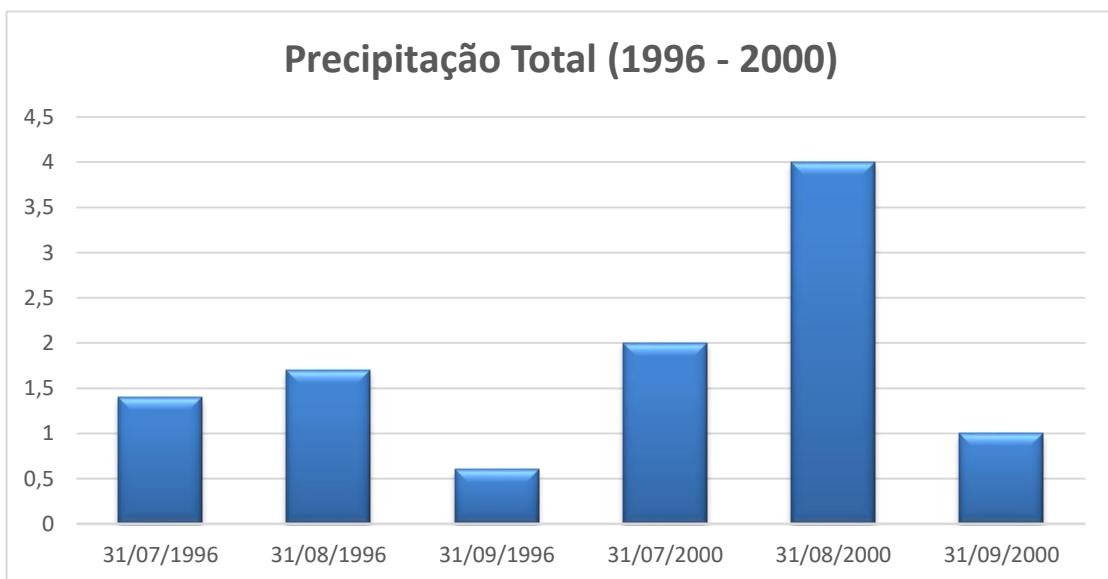
Na figura 13 referente aos anos de 1996 a 2000, é possível observar que na imagem referente ao ano de 2000, o albedo mostrou-se em geral inferior comparado com o ano de 1996. O acúmulo de chuvas no trimestre antecedente à data da imagem correspondeu a aproximadamente apenas 3,7mm para o ano de 1996 e 7mm no ano de 2000, fazendo com que praticamente a área urbana e seu entorno se destacasse com valores mais elevados de albedo. Ainda assim, os valores nessa área dificilmente ultrapassaram 28%. A maior parte da imagem apresentou valores abaixo de 34%, sendo o intervalo compreendido entre 28 a 34% bastante representativo no ano de 1996, com algumas pequenas áreas com valores abaixo de 14%, principalmente no município de Araripe, e 10% a 23% predominante no ano de 2000. Este comportamento foi observado também por Galvíncio, 2008.

Figura 13 - Albedo de superfície do Polo Gesseiro do Araripe (1996 – 2000)



Fonte: A Autora, 2020.

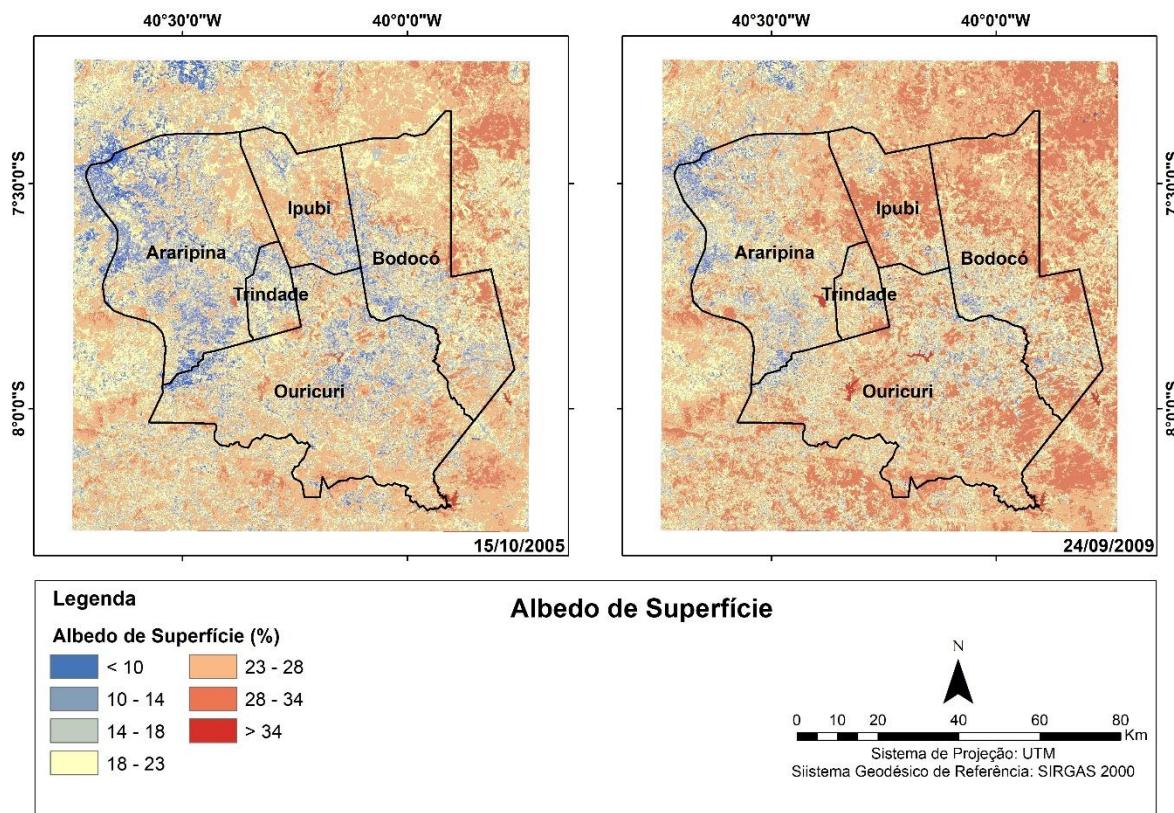
Gráfico 4 - Dados de precipitação (1996 – 2000)



Fonte: A Autora, 2020.

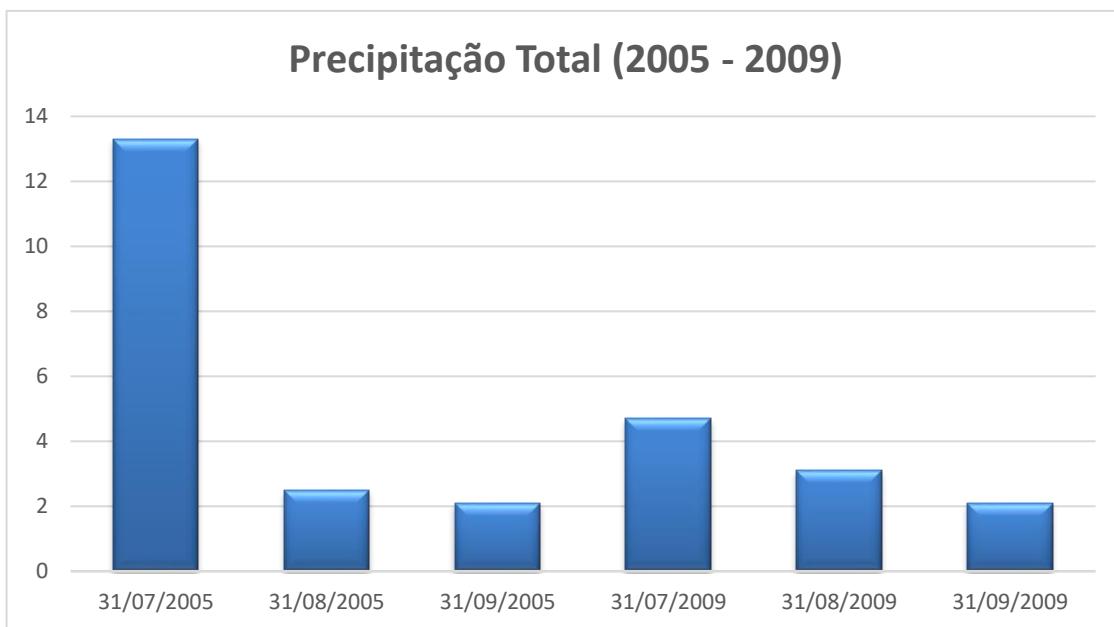
Na figura 14 referente ao período de 2005 - 2009, foram observadas diversas áreas com albedo no intervalo de 10 à 14% no ano de 2005, principalmente no município de Ouricuri, não chegando a superar 34%. Tal fator está intrinsecamente relacionado com os dados de precipitação total no trimestre antecedente à data da imagem, que correspondeu a 17,9mm, conforme observado no gráfico 3. Em contraponto, o ano de 2009 apresenta valor mais altos de albedo, predominando o intervalo 23%-28%, com valores superiores a 28% presentes de forma mais predominante no município de Ipubi, tendo em vista que a precipitação total para o trimestre anterior não ultrapassou 10mm.

Figura 14 - Albedo de superfície do Polo Gesseiro do Araripe (2005 – 2009)



Fonte: A Autora, 2020.

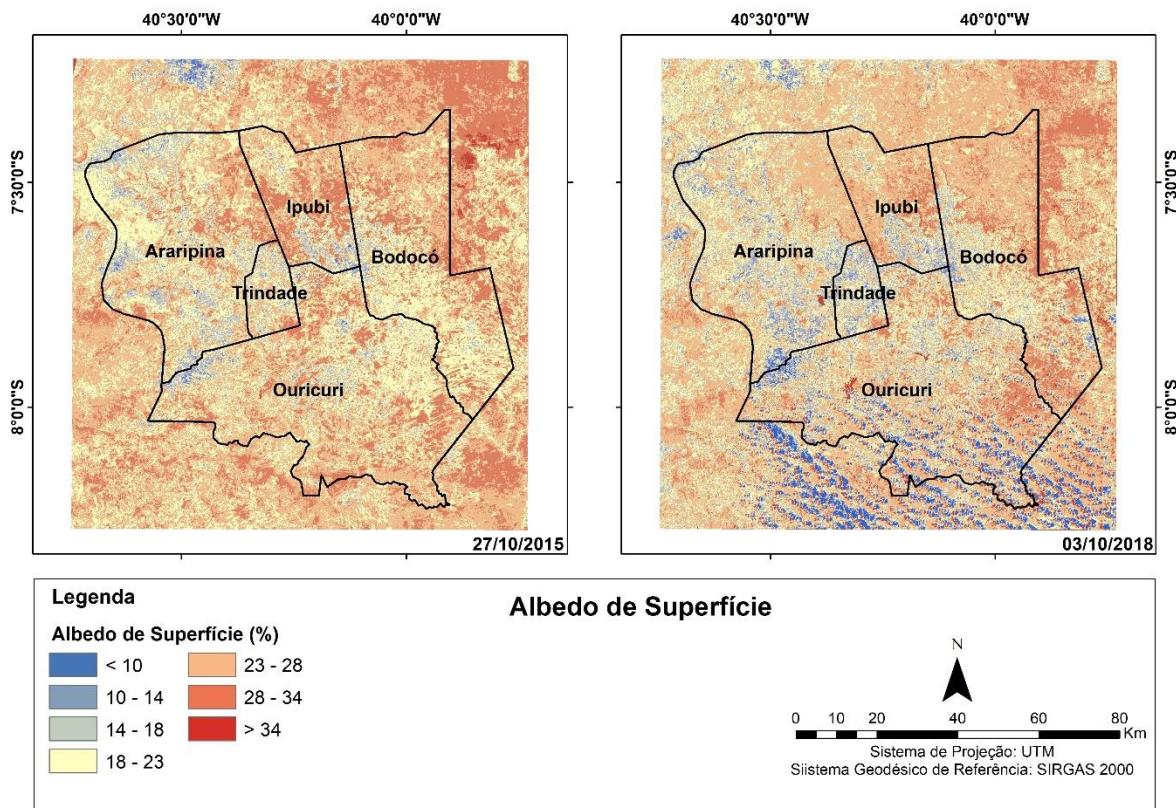
Gráfico 4 - Dados de precipitação (2005 – 2009)



Fonte: A Autora, 2020.

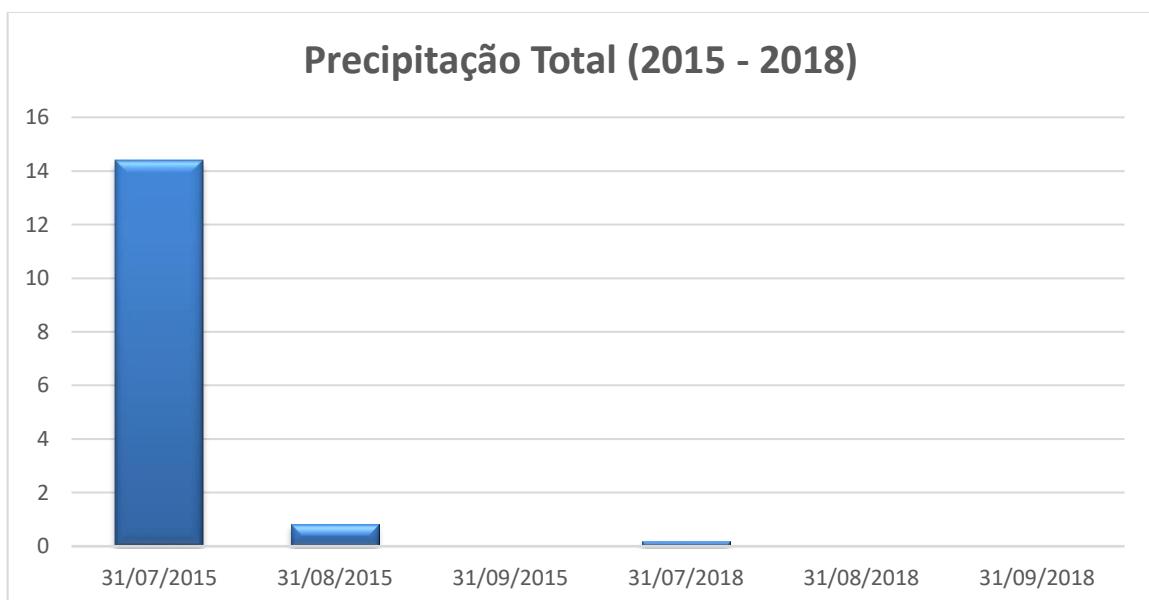
Na Figura 15 referente ao período 2015 – 2018 predomina valores superiores a 23% e inferiores a 34% para os dois anos analisados, sem grandes variações observadas. Valores dessa magnitude geralmente são encontrados em áreas de solo exposto e/ou áreas urbanizadas, como observado por Godoy et al., 2019. A precipitação total no trimestre antecedente à imagem do ano de 2015 correspondeu a aproximadamente 15mm. De maneira semelhante, em 2018 os valores de albedo não ultrapassam 34%, predominando valores entre 10 a 28%. Como citado anteriormente, os dados climatológicos referentes ao ano de 2018 se encontrava disponível apenas para o mês de julho, que correspondeu a 0,2mm, não sendo possível dessa forma correlacionar as variações ocorridas com os dados precipitação total do trimestre.

Figura 15 - Albedo de superfície do Polo Gesseiro do Araripe (2015 – 2018)



Fonte: A Autora, 2020.

Gráfico 4 - Dados de precipitação (2015 – 2018)



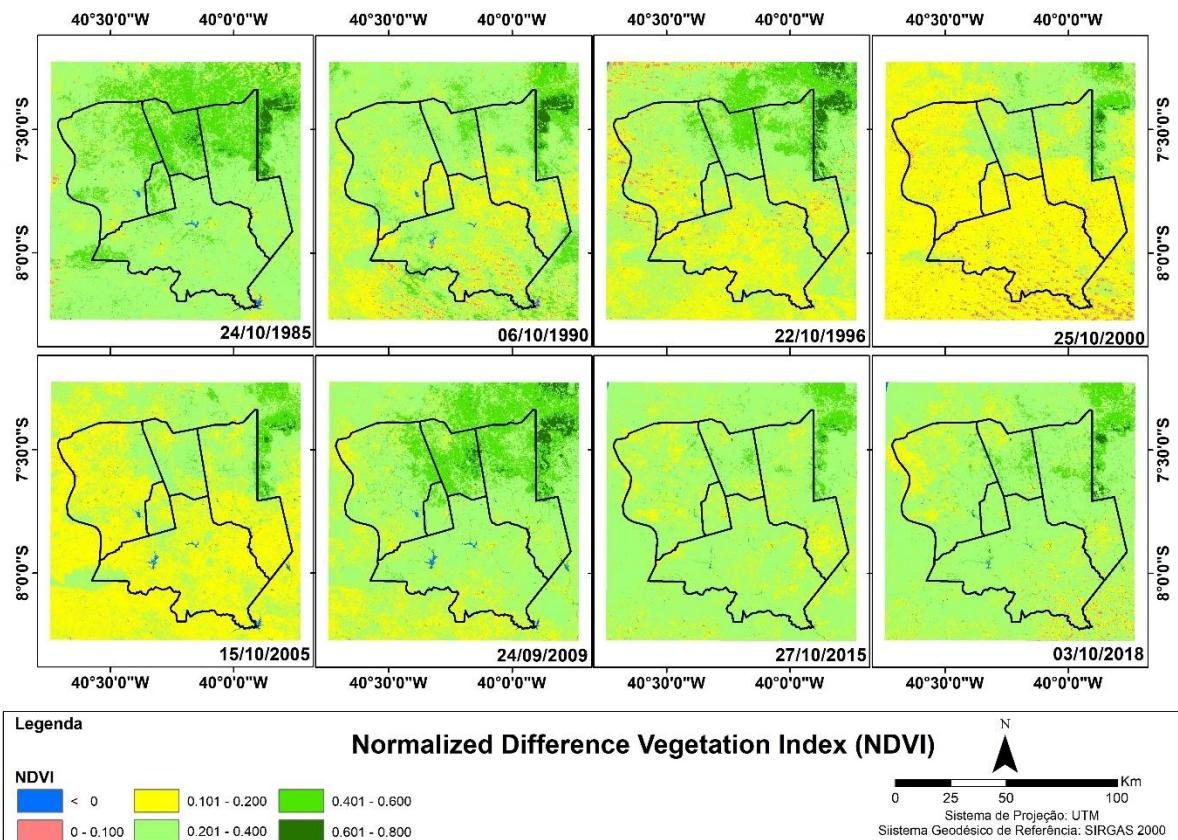
Fonte: A Autora, 2020.

Os resultados de albedo da superfície foram satisfatórios, corroborando com vários autores (KUUSINEN, 2016; LIAN, 2018) e conseguindo demonstrar a degradação sofrida na região do Polo Gesseiro do Araripe, como a diminuição da área vegetada e o aumento do solo exposto.

4.2.2 Índice de Vegetação Por Diferença Normalizada – IVDN

A Figura 16 permite observar uma acentuada variação no Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN) para o ano de 2000 quando comparado com os demais anos analisados, principalmente nos municípios de Araripe e Ouricuri, onde se concentram boa parte das indústrias do polo gesseiro do Araripe. Todavia, é perceptível, observando-se os demais anos, a grande capacidade de regeneração do bioma da Caatinga na região estudada, frente às condições mais favoráveis ao seu desenvolvimento, como o volume de precipitação total do trimestre anterior à data imagens, além de iniciativas de programas de sustentabilidade voltados à preservação do bioma. Destaca-se que as manchas na cor amarelo-alaranjado nas imagens analisadas a seguir, correspondem à presença de nuvens.

Figura 16 - Índice de Vegetação Por Diferença Normalizada do Polo Gesseiro do Araripe (1985 – 2018)



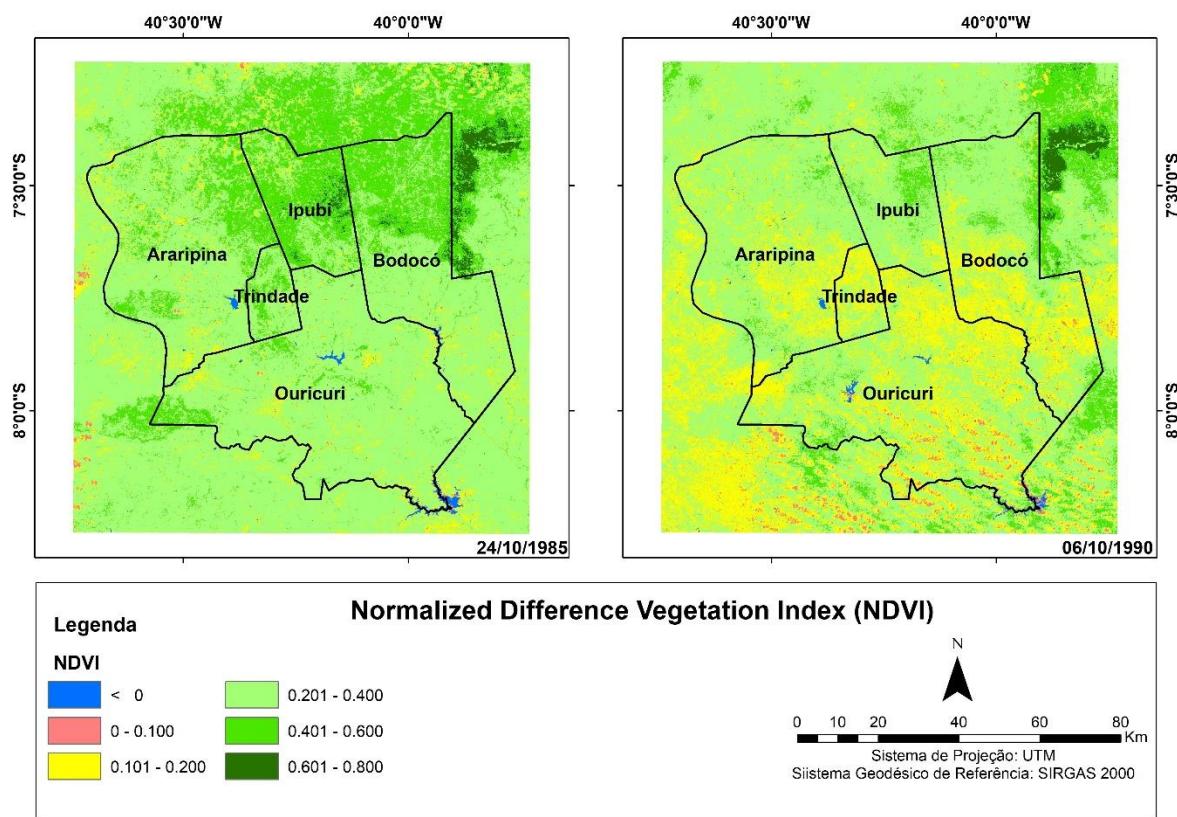
Fonte: A Autora, 2020.

Os valores do IVDN apresentaram variações significativas em seus valores entre os anos de 1985 e 1990 (Figura 17), com índices mais elevados no ano de 1990 especificamente em grande parte do município de Araripe, abrangendo parte dos municípios de Trindade, Bodocó e Ouricuri, correspondendo a área mais central do Polo Gesseiro. O intervalo de valores predominante na imagem de 1985 foi o compreendido entre 0.201 e 0.400. Tais valores estão associados à uma vegetação sob estresse hídrico, onde a mesma perde parte de sua folhagem, e por consequência disso, ocorre uma diminuição de sua biomassa. Arraes et al. (2012) encontrou valores semelhantes para áreas de caatinga. Valores entre 0.401 e 0.800, praticamente ficaram restritos a áreas de maiores altitudes. A mancha urbana e áreas de possível solo exposto apresentou valores entre 0 e 0.200, valores coerentes para este tipo de uso do solo, como foi observado por (LINS, 2017). Apesar disso, o acúmulo de chuvas no trimestre antecedente à data da imagem não

apresentou grande variação entre os dois anos analisados, correspondendo a aproximadamente 27,2mm no ano de 1985 e 29mm no ano de 1990.

A imagem de 1990 no entanto, apresentou considerável diminuição em seus valores, sobretudo no intervalo compreendido entre 0.101 e 0.200, predominante no município de Araripina e abrangendo partes menores dos demais municípios. Esse comportamento denota uma perda do porte da vegetação arbóreo-arbustiva. A área urbana e seu entorno apresentaram comportamento semelhante ao ano anterior analisado. O IVDN abaixo de 0, para esta região, representam os reservatórios de água da região, conforme identificado por Sá et al. (2011). Os corpos hídricos mais representativos da área são: O açude Tamboril e Algodões (Figura 18 e 19) no município de Ouricuri e Araripina.

Figura 17 - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada do Polo Gesseiro do Araripe (1985 – 1990)



Fonte: A Autora, 2020.

Figura 18 - Açude Tamboril, Ouricuri



Fonte: Sá, 2011.

Figura 19 - Açude Algodões, Araripina

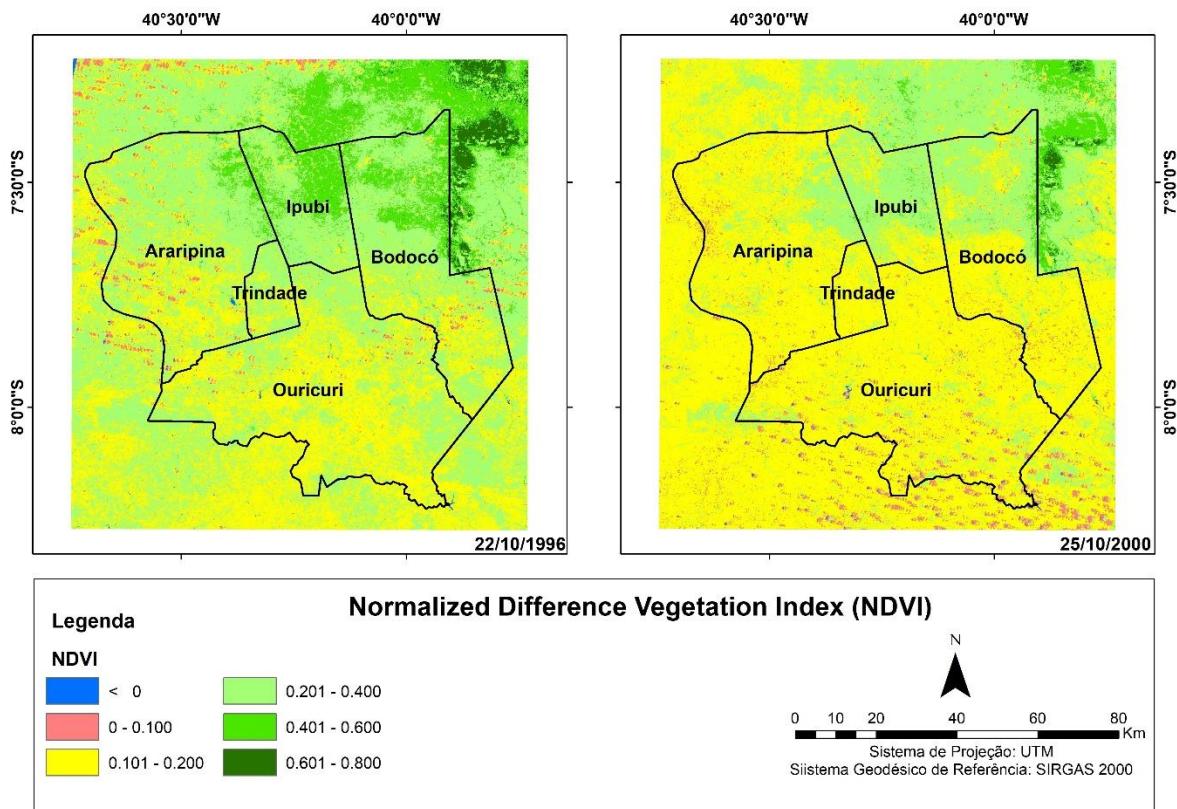


Fonte: Sá, 2011.

O IVDN correspondente aos anos de 1996 e 2000 aponta para uma acentuada variação, conforme observa-se na Figura 20. Os valores presentes no ano de 1996 encontram-se mais acentuados nos municípios de Araripina e parte de Ouricuri, assim como os valores encontrados no ano de 1990, anteriormente analisado. O intervalo de valores predominante nessa área é entre 0.101 e 0.200, já para os demais municípios predomina o intervalo entre 0.201 e 0.600. Tais valores são associados à uma vegetação sob estresse hídrico, onde esta perde parte de sua folhagem, e por consequência disso, ocorre uma diminuição de sua biomassa. Esses valores intensificaram-se no ano de 2000, compreendendo o intervalo de 0.101 e 0.200.

Entretanto, enquanto a precipitação total correspondente ao trimestre anterior à data da imagem correspondeu a 3,6mm no ano 1996, esse valor subiu para 7mm no ano de 2000. Todavia, esse período coincide com a intensificação das atividades de extração da vegetação nativa da região para utilização nas calcinadoras do Polo Gesseiro, alcançando seu pico de crescimento segundo os dados publicados pelo Sindugesso (2014), onde estimou-se um crescimento médio de 56,5% entre os anos de 1997 a 2000.

Figura 20 - Índice de Vegetação Por Diferença Normalizada do Polo Gesseiro do Araripe (1996 – 2000)



Fonte: A Autora, 2020.

Até o momento a lenha utilizada nos fornos do polo gesseiro do Araripe era retirada da mata nativa da caatinga, sem técnicas corretas de poda e provocando da degradação na região. Devido a programas voltados para a sustentabilidade na região, em 2000 ela foi substituída por grande parte das indústrias de gesso da região pela queima de óleo BPS (derivado de petróleo), apesar da emissão de gases de efeito estufa. As demais indústrias que continuaram com a retirada da lenha, realizavam por meio da talhadia simples ou manejo de cepa, que significa processo de poda, sem utilização de fogo, deixando tocos e raízes. Conforme Campello (2018), a vegetação se regenera num período entre dez a quinze anos e esta técnica preserva a flora e fauna da caatinga que, renovada, absorve todo o carbono emitido pela queima da lenha.

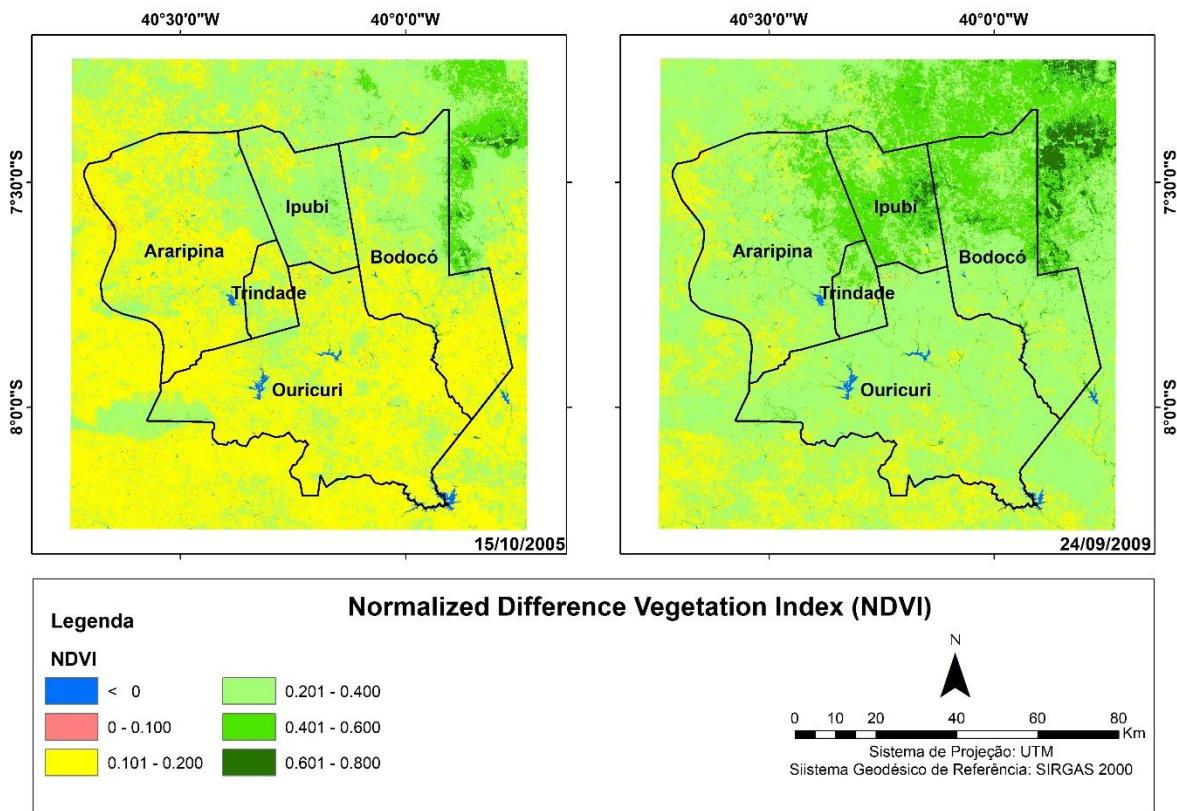
Além disso, no ano de 2008 foi implementado o programa Mata Nativa pelo Ibama/PE, Ministério do Meio Ambiente e Programa de Desenvolvimento

Sustentável das Nações Unidas (Pnud), o que reduziu ainda mais o consumo de lenha ilegal na região.

O resultado de tais ações são perceptíveis comparando-se os valores de IVDN no período 2005 e 2009 (Figura 21) e também os valores do ano de 2000, analisado anteriormente (Figura 20) e de 2005. O intervalo de valores predominante na imagem de 2005 foi o compreendido entre 0.101 e 0.200, porém com algumas pequenas partes apresentando valores entre 0.201 e 0.400. Vale ressaltar que outro fator relevante que pode ter influenciado à mudança na cobertura vegetal da região, é o valor da precipitação total do trimestre anterior à data das imagens, que correspondeu a 17,9mm.

A imagem de 2009 apresenta um considerável aumento em seus valores, sobretudo no intervalo compreendido entre 0.201 e 0.600, chegando até 0.800 em pequenas áreas no município Ipubi e Bodocó. Esse comportamento denota um aumento do porte da vegetação arbóreo-arbustiva, assim como uma recuperação da caatinga. Desta forma, é possível observar a acentuada capacidade de regeneração do bioma frente às condições mais favoráveis ao seu desenvolvimento, conforme afirma Maldonado (2004). Para esse período, a precipitação total correspondeu a 9,9mm.

Figura 21 - Índice de Vegetação Por Diferença Normalizada do Polo Gesseiro do Araripe (2005 – 2009)



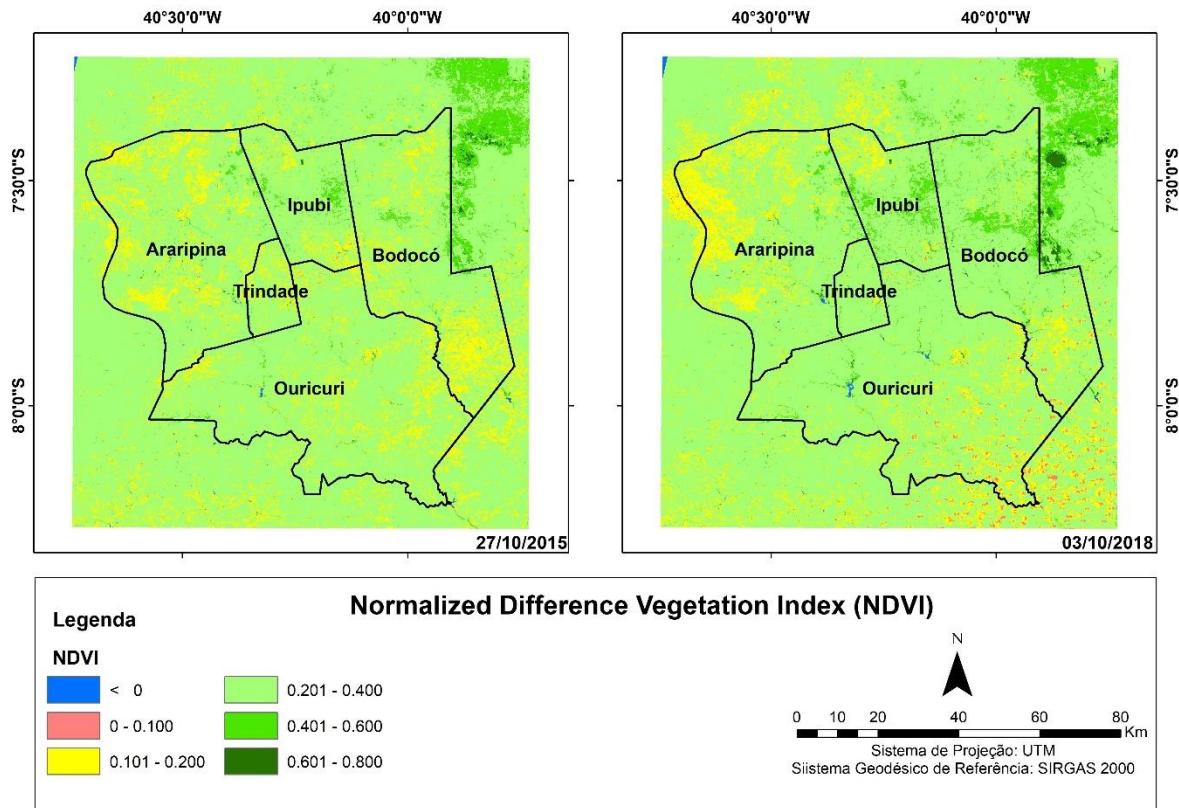
Fonte: A Autora, 2020.

Referente ao período 2015 – 2018 (Figura 22), o intervalo de valores predominante nos dois anos analisados, foi o compreendido entre 0.201 e 0.400. Conforme estudo publicado por Galvíncio (2011) tendo como área de estudo a Região do Araripe, após realizado levantamento de campo, identificou-se que o IVDN variando entre 0,2670 a 0,3210 correspondia as áreas de Savana Estépica Arborizada em estágio de regeneração. A fisionomia deste estrato possui baixa diversidade florística e indivíduos com porte médio em torno de 2,5 metros de altura (GALVÍNCIO, 2011). Para o ano em análise, a precipitação total do trimestre correspondeu à 15mm.

Já no ano de 2018, conforme explicitado no item 4.1, apenas os dados de precipitação total referentes ao mês de julho encontravam-se disponíveis, que correspondeu a 0,2mm. Na imagem correspondente ao ano de 2018, é possível perceber pequenas áreas nos municípios de Trindade e Ipubi que apresentam valores entre 0.401 e 0.600. Nesse caso, ainda conforme Galvíncio (2011), na região onde o IVDN varia entre 0,3885 a 0,8070 está localizada a cobertura vegetal mais

densa da região em estudo. Neste estrato a vegetação de cerrado, floresta estacional e caatinga se apresentam com estruturas fisionômicas semelhantes.

Figura 22 - Índice de Vegetação Por Diferença Normalizada do Polo Gesseiro do Araripe (2015 – 2018)

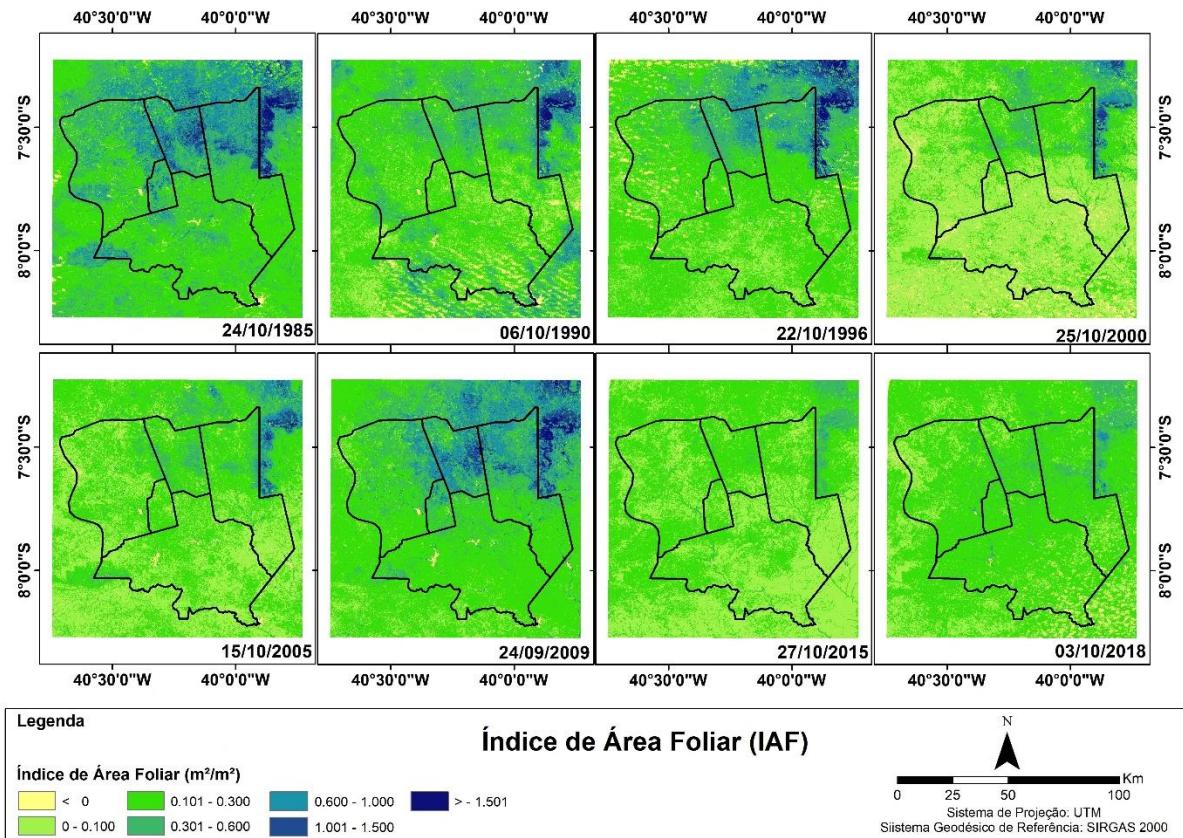


Fonte: A Autora, 2020.

4.2.3 Índice de Área Foliar – IAF

O Índice de Área Foliar (IAF) é um índice biofísico definido pela razão entre a área foliar de uma vegetação por unidade de área utilizada por esta vegetação, sendo um indicador da biomassa de cada pixel da imagem. Os dados do IAF apresentados a seguir, de maneira geral (Figura 23), reforçam o impacto que a precipitação tem na vegetação. Destaca-se que as manchas amarelas nas imagens analisadas a seguir, correspondem à presença de nuvens.

Figura 23 - Índice de Área Foliar do Polo Gesseiro do Araripe (1985 – 2018)



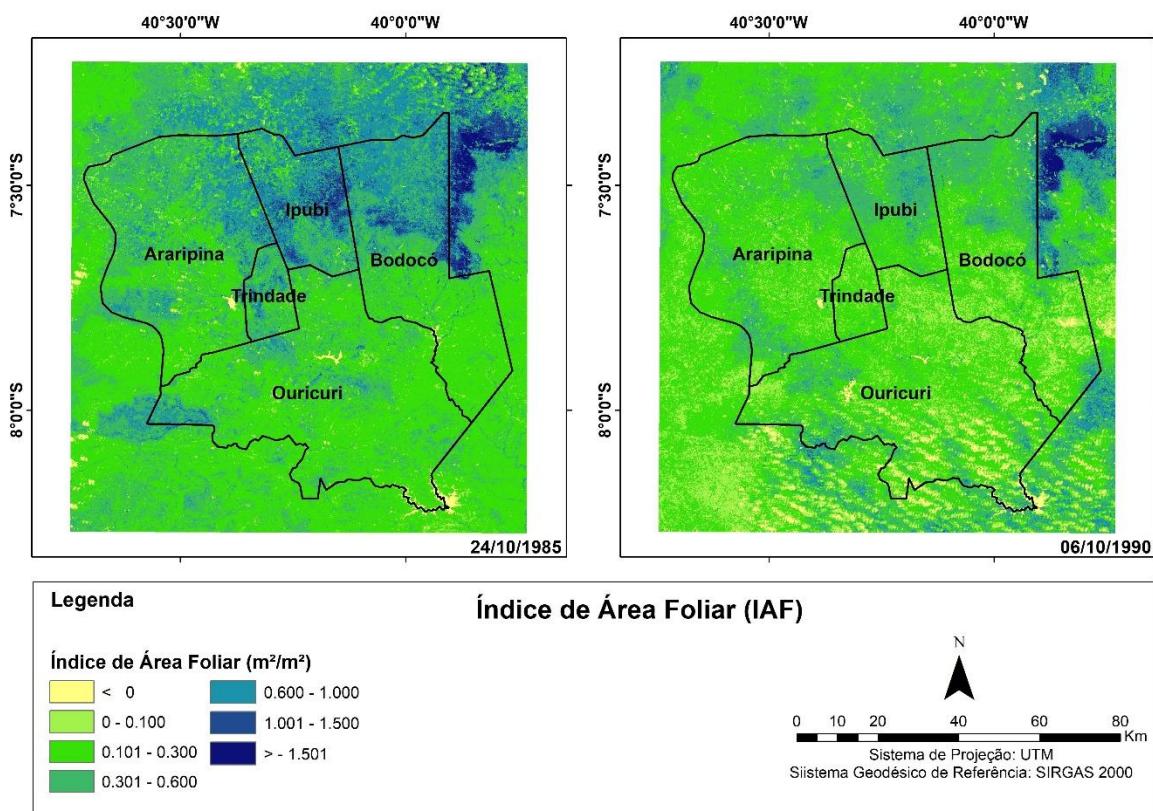
Fonte: A Autora, 2020.

Na imagem do ano de 1985 (Figura 24), o índice em sua predominância apresentou valores entre 0.101 e 0.300 m^2/m^2 de proporção de área vegetada. Valores esses considerados baixos e referentes à uma área com reduzida cobertura vegetal, baixo conteúdo hídrico e biomassa. Ribeiro et al. (2016) encontrou valores semelhantes ao estudar o comportamento da vegetação de caatinga na bacia do rio Pajeú. As áreas com valores entre 0.301 à 0.600 e 0.601 à 1000 m^2/m^2 e até mesmo acima disso, se reduzem basicamente às áreas de encostas mais elevadas, e mata ciliar ao entorno do curso hídrico que corta a área urbana do município, comportamento semelhante também encontrado por Ribeiro et al (2016). Nos municípios de Bodocó e Ipubi, observa-se valores mais elevados, predominando o intervalor entre 0.600 e 1.501 m^2/m^2 . A precipitação total do trimestre anterior à data das imagens no ano em análise, correspondeu a 27,2mm.

A imagem correspondente ao de 1990 (Figura 24) já apresenta redução dos valores nos municípios de Bodocó e Trindade. Os demais municípios permanecem com valores semelhante aos do ano de 1985, estando o intervalo entre 0.101 e

0.300 m²/m², embora a precipitação total do trimestre analisado tenha sido de 29 mm, cerca de 2mm a mais que o ano de 1985. Todavia, fatores abordados nos tópicos anteriores como a crescente extração de lenha para utilização nas calcinadoras da região no período analisado, podem fundamentar tais resultados, além das demais atividades antrópicas exercidas na região.

Figura 24 - Índice de Área Foliar do Polo Gesseiro do Araripe (1985 – 1990)

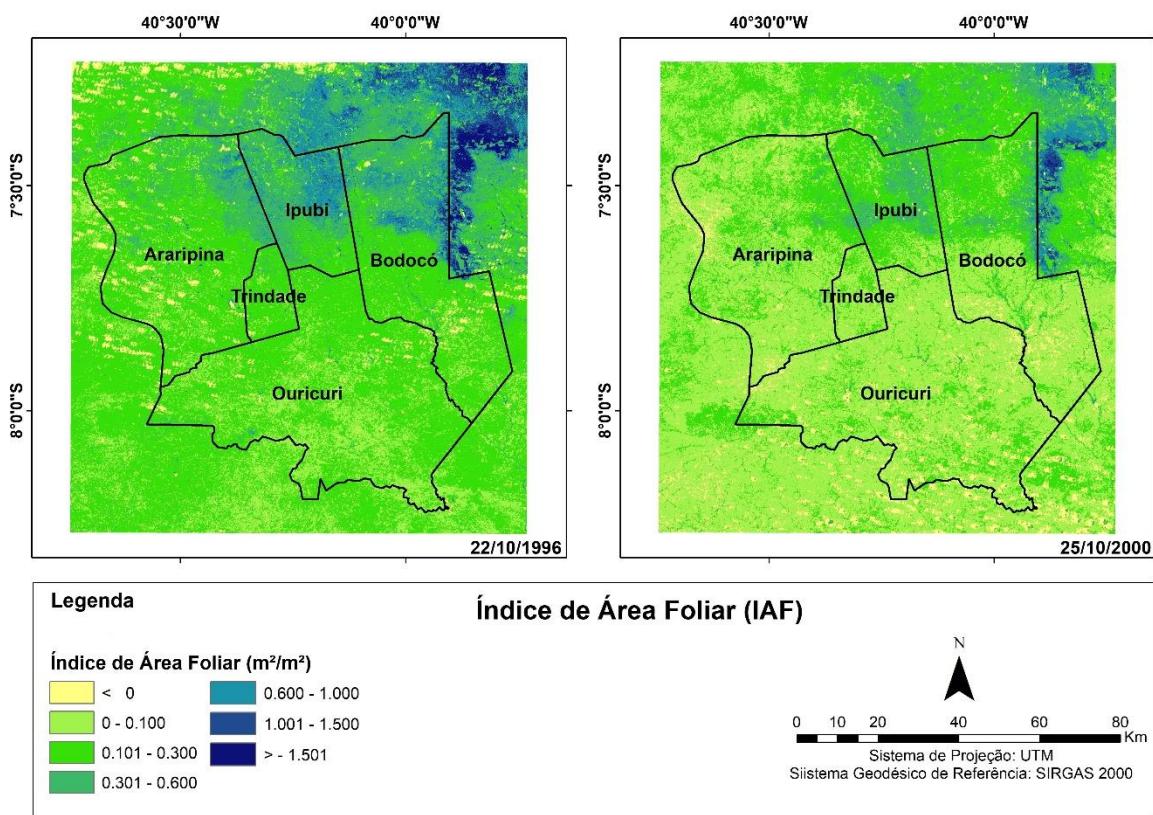


Fonte: A Autora, 2020.

Referente ao período 1996 – 2000 (Figura 25), em consonância com os demais parâmetros biofísicos já analisados, os valores do IAF apresentam alterações significativas nos dois anos analisados. O mapa correspondente ao ano de 1996, o índice em sua predominância apresentou valores entre 0.101 e 0.300 m²/m² de proporção de área vegetada, com algumas áreas pertencentes aos municípios de Ipubi e Bodocó apresentando valores entre 0.600 e 1.500 m²/m². A região obteve precipitação total nos meses de julho, agosto e setembro, correspondente a 17,9mm.

Na imagem referente ao ano de 2000, observa-se uma considerável diminuição nos valores do IAF. As áreas com valores abaixo de 0 m²/m² obtiveram considerável expansão na região. Áreas com valores variáveis entre o intervalo de 0.600 e 1.500 m²/m² reduziram sobre as localidades de Ipubi e Bodocó, passando agora a predominar os mesmos valores presentes nas demais áreas. No ano de 2009, a precipitação total referente aos meses de julho, agosto e setembro, foi de apenas 9,9mm.

Figura 25 - Índice de Área Foliar do Polo Gesseiro do Araripe (1996 – 2000)

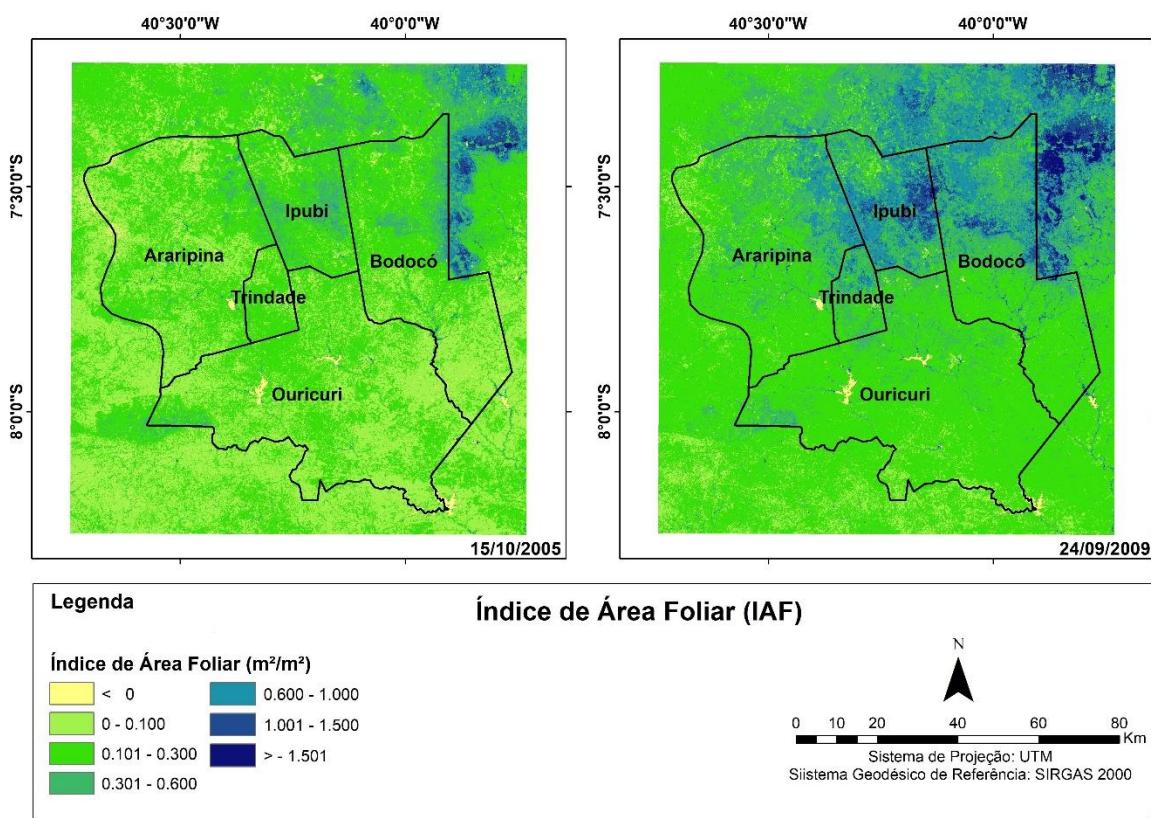


Fonte: A Autora, 2020.

Os valores do IAF apresentaram variações significativas em seus valores entre os anos de 2005 e 2009 (Figura 26), com índices mais elevados no ano de 2005 especificamente em grande parte do município de Araripina e Ouricuri, com valores entre 0 e 0.300 m²/m². Cumpre destacar que a maior parte das indústrias de gesso da região concentra-se nesses municípios. A precipitação total do trimestre anterior à data das imagens foi de 17,9mm.

O intervalo de valores predominante na imagem de 2009 foi o compreendido entre 0.101 e 0.300 m²/m². Estes valores estão associados à um aumento da biomassa na região. Arraes et al. (2012) encontrou valores semelhantes para áreas de caatinga. Entretanto, os dados de precipitação total do trimestre antecedente à data das imagens não apresentou grande variação entre os dois anos analisados, correspondendo a aproximadamente 27,2mm no ano de 1985 e 29mm no ano de 1990.

Figura 26 - Índice de Área Foliar do Polo Gesseiro do Araripe (2005– 2009)

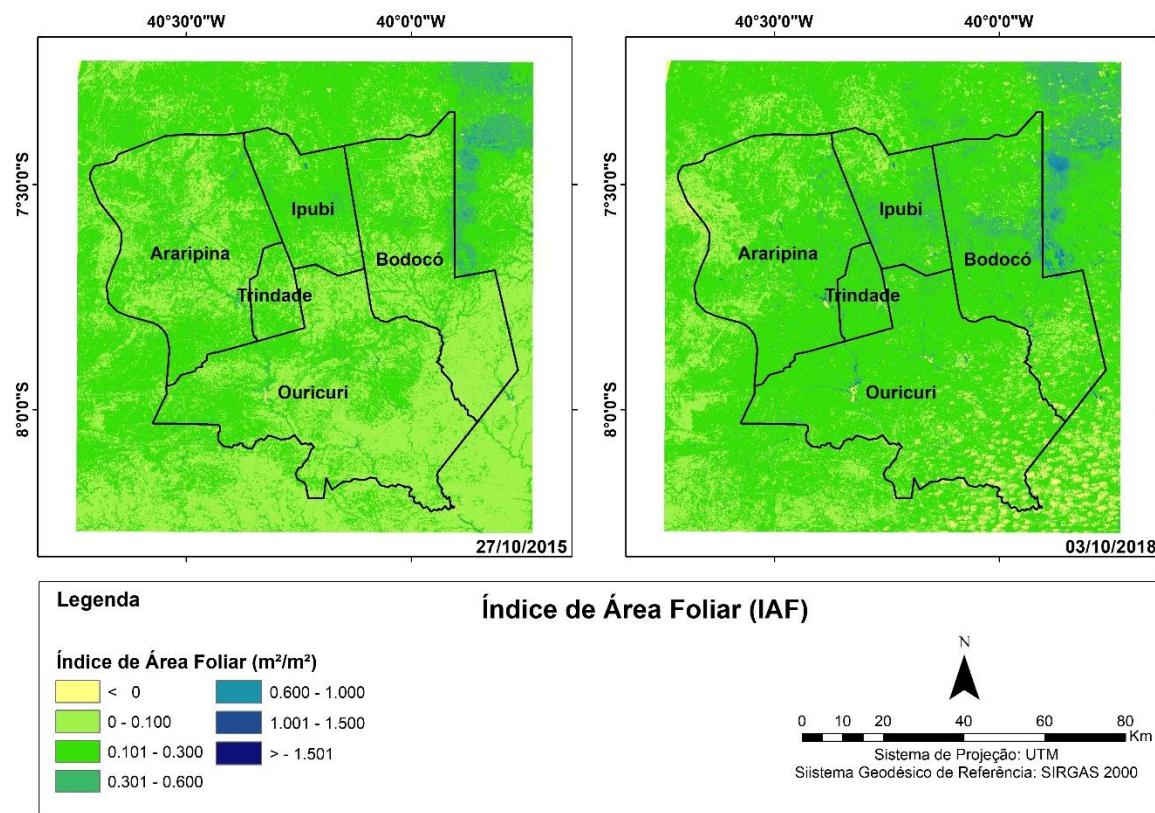


Fonte: A Autora, 2020.

Referente aos anos de 2015 e 2018 (Figura 27), em consonância com os valores do Índice de Vegetação Por Diferença Normalizada e Albedo de Superfície, os valores do IAF também apresentam alterações nos dois anos analisados. A imagem do ano de 2015, o índice em sua predominância apresentou valores entre 0 e 0.300 m²/m² de proporção de área vegetada, demonstrando algumas perdas da cobertura vegetal principalmente no município de Araripina, quando comparado com o ano de 2018. A região obteve precipitação total nos meses de julho, agosto e setembro, correspondente a 15mm.

No ano de 2018, observa-se um considerável aumento em seus valores, identificando um aumento da cobertura vegetal, mesmo tendo recebido apenas 9.9mm de precipitação total referente aos três meses anteriores à data da imagem, com predominância do intervalo entre 0.101 e 0.300 m²/m². O destaque é o município de Ouricuri, apresentando aumento significativo de biomassa com relação ao ano de 2015.

Figura 27 - Índice de Área Foliar do Polo Gesseiro do Araripe (2015– 2018)



Fonte: A Autora, 2020.

Corroborando com os resultados encontrados por Galvínio et al. (2020) para o município de Cabrobó também inserido no bioma Caatinga, onde os resultados com a estimativa de índices de vegetação somado ao perfil estratigráfico, confirmaram que para esta área há forte correlação (73%) entre vegetação e precipitação, onde 27% da área estiveram relacionados ao uso e ocupação do solo. Bezerra et al. (2014) através da realização de um estudo de estatística descritiva para avaliar a resistência da caatinga, também afirma que a incidência das chuvas proporciona o aumento da biomassa, influenciando no porte e desenvolvimento da vegetação.

Erasmi et al. (2019) realizando teste estatístico de Mann-Kendall, também confirmam a existência de uma forte relação das anomalias climáticas com a vegetação da caatinga, provocando alterações no dossel das plantas. Corroborando os resultados de Bezerra et al. (2014) e Erasmi et al. (2019), o estudo de Cunha et al. (2015) mostra a influência que a precipitação tem na vegetação, correlacionando dados climáticos e os resultados obtidos pelos índices de vegetação.

Já o albedo de superfície teve comportamento similar aos índices de vegetação e os resultados foram semelhantes no estudo realizado por Lins (2017) e Galvínio (2011) na estimativa dos parâmetros biofísicos de Arcoverde-PE no período de 2015-2016 e na Análise da cobertura vegetal da Região do Araripe, respectivamente, ambos também inseridos no bioma da Caatinga.

5 CONCLUSÃO

A aplicação de técnicas de sensoriamento remoto permitiu a identificação das diferenças nos padrões espaciais e temporais da cobertura vegetal do Polo Gesseiro do Araripe – Pernambuco, com valores semelhantes aos presentes na literatura para estudos realizados em regiões próximas e/ou em condições similares, predizendo diante das análises a necessidade de se ter um planejamento ambiental e maior atenção a esta área que está inserida no bioma caatinga, apesar dos avanços já realizados nos últimos anos com a implementação de algumas ações visando a proteção da área, pois o mesmo já é sensível às variações meteorológicas. Podendo assim, favorecer processos de degradação em caso de gestão ineficiente do espaço. As técnicas aplicadas mostraram-se eficientes na estimativa do padrão de distribuição espaço-temporal de todos os parâmetros para a região.

A análise do comportamento do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN) e do Índice de Área Foliar (IAF) observada no municípios pertencentes ao Polo Gesseiro da Região do Araripe em Pernambuco, permitiu concluir que a precipitação pluviométrica foi identificada como fator de controle decisivo da tendência destes parâmetros, uma vez que condiciona a cobertura da superfície do solo.

Contudo, a vegetação é considerada um alvo muito complexo, sendo fundamentais análises com mais precisão, levando em consideração as várias mudanças ao longo do ano, seja na fenologia da vegetação ou em virtude de período sazonal. Entretanto, a aplicação do algoritmo SEBAL mostrou-se eficiente na estimativa dos parâmetros biofísicos. Nessas circunstâncias, as técnicas de geoprocessamento utilizadas demonstraram uma importante ferramenta para o monitoramento e estudo da vegetação em nível regional, contribuindo positivamente para os estudos ambientais.

Os mapas temáticos gerados referentes aos parâmetros biofísicos analisados, oferecem dados com potencial de utilização pelas pessoas físicas, poder público, ou até mesmo ONG's que cuidem do planejamento urbano e da formulação de políticas públicas de infraestrutura e de saúde ambiental, de modo a trazer qualidade de vida à população local bem como auxiliar no planejamento ambiental da região.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, J. L. **Diagnóstico ambiental e questões estratégicas**: uma análise considerando o Pólo Gesseiro do sertão do Araripe – Estado de Pernambuco. 2002, 185f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.
- ALLEN, R.G.; TASUMI, M.; TREZZA, R. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (Metric) – model. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.133, p.380-394, 2002.
- AMORIM, M. C. C. T. Spatial variability and intensity frequency of surface heat island in a Brazilian city with continental tropical climate through remote sensing. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 9, p. 10-16, 2018.
- ARAÚJO, S. M. S. de, **O Pólo gesseiro do Araripe**: unidades geo-ambientais e impactos da mineração. 2004. Tese (Doutorado em Geociências) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004. 276f.
- ASSOCIAÇÃO TÉCNICA CIENTÍFICA ERNESTO LUIZ DE OLIVEIRA. **Diagnóstico energético do setor industrial do polo gesseiro da mesoregião de Arripina-PE**. Campina Grande: ATECEL, 2006. 126p.
- BARBOSA, H. A; KUMAR T.V.L; PAREDES F.; ELLIOTT S.; AYUGA J.G. 2019. Assessment of Caatinga response to drought using Meteosat-SEVIRI Normalized Difference Vegetation Index (2008–2016). **Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, 148:235–252. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2018.12.014>
- BASTIAANSSEN, W. G. M. **Regionalization of surface flux densities and moisture indicators in composite terrain**. 1995. Ph.D. (Thesis) - Wageningen Agricultural University, Wageningen, Netherlands, 1995. 273p
- BEZERRA J.M; MOURA G.B.A; SILVA B.B, LOPES P.M.O; SILVA É.F.F. Parâmetros biofísicos obtidos por sensoriamento remoto em região semiárida do estado do Rio Grande do Norte, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 18(1): 73–84, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662014000100010>
- BHATTARAI, N.; DOUGHERTY, M.; MARZEN, L.J.; KALIN, L. Validation of evaporation estimates from a modified surface energy balance algorithm for land (SEBAL) model in the south-eastern United States. **Remote Sensing Letters**, 3 (6): 511-519. 2019.
- BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Os satélites Landsat 5 e 7 (Divisão de Geração de Imagens)**. São José dos Campos, SP: INPE, 2018. Disponível em: http://www.dgi.inpe.br/Suporte/files/Cameras-LANDSAT57_PT.php. Acesso em: 2 out. 2018.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balanço Energético Nacional 2011:** ano base 2010: resultados preliminares. Rio de Janeiro: EPE, 2011. Disponível em: https://ben.epe.gov.br/Resultados_Pre_BEN_2011.pdf. Acesso em: 15 set. 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente. Região do Araripe-Pernambuco. **Diagnóstico e perspectivas de utilização de energéticos florestais na região do Araripe florestal.** Brasília: SECTMA/MMA, 2005.

BRITO, J. O.; CINTRA, T. C. Madeira para energia no Brasil: Realidade, visão estratégica e demandas de ações. **Biomassa e energia.** Viçosa, v.1, n.2, p.157-163, 2004.

CAMPELLO, F. C. B. **Análise do consumo específico de lenha nas indústrias gesseiras:** a questão florestal e sua contribuição para o desenvolvimento sustentável da Região do Araripe – PE. 2011. 61 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife. 2019.

CAMPELLO, F. C. B. O consumo específico de lenha como índice técnico para o ordenamento florestal no Araripe em Pernambuco. **Revista dos mestrados profissionais**, vol. 2, n. 1, pp. 23–43. 2018.

COELHO, I. A. M.; SERPA, P. R. K.; SILVA, J. P. F.; JUNIOR, J. M. C.; NOGUEIRA, M. Caracterização da produção florestal em áreas de assentamento rurais localizados no sertão pernambucano. **Revista Cientec**, Recife, v. 5, n.1, p. 78-84, 2015.

COHEN, J. A. Coeficient of Agreement for Nominal Scales. **Educational and Measurement.** v. 20, n. 1, p. 37-46, 1960.

COHEN, W. B.; MAIERSPERGER, T. K.; GOWER S. T.; TURNER, D. P. An improved strategy for regression of biophysical variables and Landsat ETM+ data. **Remote Sensing of Environment**, v. 84, p. 561-571, 2003.

CONCEIÇÃO, L. A. B. S. **Diagnóstico ambiental através do uso de técnicas de sensoriamento remoto como apoio para o planejamento de unidades administrativas:** o caso de Osório, RS. 2004. 72 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

CONGALTON, R. G., GREEN, K. **Assessing the accuracy of remotely sensed data:** principles and practices. New York: Lewis Publishers. 1999, 137p.

COURAULT, D.; SEGUIN, B.; OLISO, A. **Review to estimate evapotranspiration from remote sensing data:** some examples from the simplified relationship to the use of mesoscale atmospheric models. In: ICID workshop on remote sensing of ET for large regions, Montpellier, France, Sept. 2003; pp. 1-17. Disponível em: http://water.kimberly.uidaho.edu/water/montpellier/p6/Courault_P.pdf

DENG, Y.; WANG, S.; BAI, X.; CHEN, F.; Relationship among land surface temperature and LUCC, NDVI in typical karst area. **Scientific Reports**, v. 8, n. 641, p. 1-12, 2018.

EDUVIRGEM, R. V. PERITAÇO, A. J. SANCHES, C. C. Análise da temperatura aparente de superfície e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) em Lisboa, Portugal, no verão de 2017. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 10, p. 587-597, 2018.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Aumento da oferta de matéria-prima de base florestal sustentável para o desenvolvimento sócio-econômico da região do Araripe**. Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido. Drumond, M.A. Recursos Florestais/Agroenergia. Petrolina: EMBRAPA, 2006.

ERASMI S, SCHUCKNECHT A, BARBOSA MP, MATSCHULLAT J. Vegetation Greenness in Northeastern Brazil and Its Relation to ENSO Warm Events. **Remote Sensing**, 6: 3041-3058, 2019. <https://doi.org/10.3390/rs6043041>

FARIAS, S. G. G; RODAL, M. J. N; MELO, A. L; SILVA, M. A. M; LIMA, A. L. A; Fisionomia e estrutura de vegetação de caatinga em diferentes ambientes em Serra Talhada – Pernambuco. **Ciência Florestal**, 26 (2): 435-448, 2016. <https://doi.org/10.5902/1980509822745>

FERRAZ, J. S. F. **Análise da vegetação de caatinga arbustivo-arbórea em Floresta, PE, como subsídio ao manejo florestal**. 2011. 131 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2011.

FERREIRA, R. L. S. **Identificação e disposição final dos resíduos sólidos gerados na fabricação de cerâmica vermelha no vale do Assú/RN**. 2012. 66 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Departamento de Ciências Exatas, Tecnológicas e Humanas, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Angicos, 2012.

FIGUEIREDO J.M; ARAÚJO J.M; LÚCIO A.M.F.N; BAKKE, I.A; BAKKE O.A. 2017. Herb recovery in degraded caatinga sites enriched with native trees. **Ciência Florestal**, Santa Maria, 27(4): 1143-1156. <https://doi.org/10.5902/1980509830292>

FLORENZANO, T. G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. 1. ed. São Paulo: Oficina dos textos, 2002. 104 p.

FLORES R., J. L.; PEREIRA FILHO, A. J.; KARAM, H. A. Estimation of long term low resolution surface urban heat island intensities for tropical cities using modis remote sensing data. **Urban Climate**, v. 17, p. 32-66, 2016.

FU, B.; BURGHER, I. Riparian vegetation NDVI dynamics and its relationship with climate, surface water and groundwater. **Journal of Arid Environments**, v. 113, p. 59-68, 2015.

GADELHA, F. H. L. **Desempenho silvicultural e avaliação econômica de clones híbridos de eucaliptos plantados em diferentes regimes de manejo para fins energéticos**. 2014. 149 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2014.

GALVÍNCIO, J. D.; FRANÇA, L. M. DE A. Impact of the hydric reposition in soil on the agriculture in Semi Arid Region. **J. Hyperspectral Remote Sens.**, 4, 134-152. 2020.

GIONGO, P. R.; MOURA, G. B. DE A.; SILVA, B. B. DA. Albedo à superfície a partir de imagens Landsat 5 em áreas de cana-de-açúcar e cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.279-287, 2010.

GIULIETTI, A.M., et al. Diagnóstico da vegetação nativa do bioma Caatinga. In: BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação**. J.M.C. SILVA, M. TABARELLI, M.T. FONSECA ; L.V. LINS (Orgs.). Brasília: MMA, 2004. pp. 48-90.

HEINSCH, F. A.; ZHAO, M.; RUNNING, S. W.; KIMBALL, J. S.; NEMANI, R. R.; DAVIS, K. J. Evaluation of remote sensing based terrestrial productivity from MODIS using regional tower eddy flux network observations. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 44, p.1908–1925, 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Araripe**: cidades. Rio de Janeiro: IBGE, 2016. Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/v3/cidades/municipio/2611002>. Acesso em: 3 out. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico da vegetação brasileira**. (Série Manuais Técnicos em Geociências, n. 1). Rio de Janeiro, IBGE, 2020.

KARNIELI, A., SHACHAK, M., TSOAR, H., ZAADY, E., KAUFMAN, Y., DANIN, A., PORTER, W. The effect of microphytes on the spectral reflectance of vegetation in semiarid regions. **Remote Sensing of Environment**, v. 57, p. 88–96, 1996.

KUUSINEN, N; TOMPOPO, E.; BERNINGER, F. Linear unmixing of MODIS albedo com posites to infer subpixel land cover type albedos. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 23, p. 324 - 333, 2019.

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurement os observer agrément for categorical data. **Biometrics**, v. 33, n. 1, p. 159-174, 1977.

LIAN, S.; WANG, D.; CAO, Y.; GAO, F.; YU, Y.; FEND, M. Evaluating land surface albedo estimation from Landsat MSS, TM, ETM +, and OLI data based on the unified direct estimation approach. **Remote Sensing of Environment**, v. 204, p. 181-196, jan. 2018.

LINS, F. A. C.; ARAÚJO, D. C. dos S.; SILVA, J. L. B. da; LOPES, P. M. O.; OLIVEIRA, J. D. A.; SILVA, A. T. C. S. G. Estimativa de parâmetros biofísicos e evapotranspiração real no semiárido pernambucano utilizando sensoriamento remoto. **Revista Irriga & Inovagri**. Botucatu-SP, Edesp, p.64-75, 2017.

LOPES, H. L.; CANDEIAS, A. L. B.; ACCIOLY, L. J. O.; SOBRAL, M. C. M.; Parâmetros biofísicos na detecção de mudanças na cobertura e uso do solo em bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, p.1210-1219, 2018.

LORENZZETTI, J. A. Princípios físicos de sensoriamento remoto. 1. ed. São Paulo: Bucher, 2015. 292p.

LOURENÇO, R. W.; LANDIM, P. M. B. Estudo da variabilidade do “Índice de vegetação por diferença normalizada/IVDN” utilizando krigagem indicativa. **Holos environment**, v. 4, n. 1, p. 38-55, 2004.

LUCENA, A. P. Uso do IVDN no estudo da degradação ambiental de bacias hidrográficas do litoral sul do Estado da Paraíba. 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2018.

MARKHAM, BRIAN L.; BARKER, J. L. Landsat MSS and TM post-calibration dynamic ranges, exoatmospheric reflectances and at-satellite temperatures. **EOSAT Landsat technical notes**, v. 1, p. 3-8, 1986.

MASSAVANHANE, A. M. C. Avaliação do estado atual de desenvolvimento e da situação fitossanitária dos arvoredos, bosquetes e maciços classificados de interesse público do Concelho de Lisboa. 2019. Dissertação (Mestrado) - Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2019.

MELO, E. T.; SALES, M. C. L.; OLIVEIRA, J. G.. Aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN) para análise da degradação ambiental da microbacia hidrográfica do Riacho dos Cavalos, Crateús-CE. **Raega - O Espaço Geográfico em Análise**, v. 23, p. 520–533, 2011.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. (Org.) **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto.** Brasília: CNPq, 2012.

OLIVEIRA, J. S. S. Índices de vegetação (IVDN, IVAS, IAF, NDWI) como subsídio à gestão do uso e ocupação do solo na zona de amortecimento da Reserva Biológica de Saltinho, Pernambuco. 2013. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013.

PAIVA, C. M.; França, G. B.; LIU, W. T. H.; ROTUNNO FILHO, O. C. A comparison of experimental energy balance components data and SEBAL model results in Dourados, Brazil. **International Journal of Remote Sensing**, v. 32, n. 6, p. 1731-1745, 2011.

PEREIRA, L. V. Analise espacial da evolução da cobertura e uso da terra no distrito de Santa Flora, Santa Maria, RS. 2008. 100 f. Dissertação (Mestrado em Geomática) - Universidade federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

PERNAMBUCO. Governo do Estado. Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente do Estado de Pernambuco. **Proteção ambiental da região do Araripe.** Recife: SECTMA, 2018. Disponível em: www.sectma.pe.gov.br/acoes_todos.menu_sub=3&acao=152-29k. Acesso em: 22 set. 2018.

PINTO, D. F. A Utilização do sensoriamento remoto e do geoprocessamento como ferramentas aplicadas às ciências da terra e do mar. 2001. Trabalho de

conclusão de curso (Graduação) – Departamento de Informática e Estatística, Tecnológicas e Humanas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

POELKING, E. L.; LAUERMANN, A.; DALMOLIN, R. S. D. Imagens CBERS na geração de IVDN no estudo da dinâmica da vegetação em período de estresse hídrico. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais** [...]. Florianópolis: SBSR, 2007. p. 4145-4150.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E; KUPLICH, T. M. **Sensoriamento remoto da vegetação**. 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. 160 p.

PRADO, D. E. As caatingas da América do Sul. In: LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. (eds.). **Ecologia e conservação da caatinga**. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2016. p. 3-73.

RIBEIRO, M. M. R; GUEDES, M. J. P. Application of methodologies of environmental conflict analysis in Puxinanã (PB). **Eng. Sanit. Ambient.**, v. 22, n. 1, Rio de Janeiro, Epub Nov 21, 2016.

ROCHA P.A; ESPARZA J.R; FERRARI S.F. 2018. Differences in the structure of the bat community between a cloud forester fuge and a surrounding semi-arid Caatinga scrubland in the northeastern Brazil. **Journal of Arid Environments**. 151: 41–48. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2017.11.005>

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A; DEERING, D. W. 1973. **Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS**, Proceedings, Thrid Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, Greenbelt: NASA SP-351, pp. 3010-3017.

ROUSE, J.W.; HAAS JR., R..H.; DEERING, D.W.; SCHELL, J. A.; HARLAN, J. C. **Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation**. NASA/GSFC type III final report: Greenbelt, Maryland, NASA, 1974, 371 p.

SÁ, I. B.; ANTONIO GARCIA, R. de; ALMOROX, J. A. Use of the normalized difference vegetation index (NDVI) with an indicator of environmental degradation. In: CONGRESSO E EXPOSICAO INTERNACIONAL SOBRE FLORESTAS, 6., 2000, Porto Seguro, BA.

SÁ, I. I. S; GALVÍNCIO, J. D.; MOURA, M. S. B.; SÁ, I. B.; Cobertura vegetal e uso da terra na região Araripe pernambucana. **Mercator**, v. 9, n. 19, 2011.

SILVA C.R; MACHADO S.L.D; ARAÚJO A.A; ABREU JUNIOR C.A.M. 2018. Analysis of the phenology dynamics of brazilian caatinga species with NDVI time series. **CERNE**, 24(1): 48-58. <https://doi.org/10.1590/01047760201824012487>

SILVA, B. B.; LOPES, G. M.; AZEVEDO, P. V.; Balanço de radiação em áreas irrigadas utilizando imagens landsat 5 – tm. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.20, n.2, 243-252, 2020.

SILVA, E. A. **Mapeamento do uso e cobertura vegetal do município de Floresta/PE.** 2011. 56 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2011.

SILVA, J. M. C.; TABARELLI, M., FONSECA, M. D.; LINS, L. V. **Biodiversidade da Caatinga:** áreas e ações prioritárias para a conservação. 1. ed. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2015. 382p

SINDICATO DAS INDÚSTRIAS DO GESSO DO ESTADO DE PERNAMBUCO. Araripina: SINDUSGESSO , 2018. Disponível em: http://www.sindusgesso.org.br/polo_gesseiro.asp. Acesso em: 15 de set. de 2018

SOTERO, R. **Sertão do Araripe:** onde o gesso vale mais que ouro. Fernando Clímaco, 2010. Disponível em: <<https://pedesenvolvimento.com/2010/01/30/sertao-do-araripe-onde-o-gesso-vale-mais-que-ouro/>> Acesso em: 08 de março de 2020.

USGS: **Landsat 8 History.** 2016. Acesso em 03/10/2018. Disponível em: <https://landsat.usgs.gov/landsat-8-history>.

USGS: **Using the USGS Landsat 8 product.** 2016. Acesso em 15/08/2018. Disponível em: <https://landsat.usgs.gov/using-usgs-landsat-8-product>.

WANG, X.; ZHANG, X.; XIAO, X.; BANGQIAN, C. Quantification of expansion and removal of *Spartina alterniflora* on Chongming Island, China, using Landsat time series images during 1995–2018. **Remote Sensing Of Environment**, v. 247, 2020.

Whetton, R.; Zhao, Y.; Shaddad, S.; Mouazen, A. M. Nonlinear parametric modelling to study how soil properties affect crop yields and NDVI. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 138, p. 127-136, 2017.

ZHENG, Y.; HAN, J.; HUANG, Y.; FASSNACHT, S. R.; XIE, S.; LV, E.; CHEN, M. Vegetation response to climate conditions based on NDVI simulations using stepwise cluster analysis for the Three-River Headwaters region of China. **Ecological Indicators**, v. 92, p. 18-29, 2018.