



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

MARIA HORTÊNCIA SILVA DO NASCIMENTO

**VARIABILIDADE DA COBERTURA VEGETAL DO SOLO UTILIZANDO ÍNDICE
DE VEGETAÇÃO NO SERTÃO DE PERNAMBUCO COM DADOS ORBITAIS**

Recife

2019

MARIA HORTÊNCIA SILVA DO NASCIMENTO

**VARIABILIDADE DA COBERTURA VEGETAL DO SOLO UTILIZANDO ÍNDICE
DE VEGETAÇÃO NO SERTÃO DE PERNAMBUCO COM DADOS ORBITAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Pernambuco, como
parte dos requisitos para obtenção do título de
Engenheira Civil.

Área de Concentração: Recursos Hídricos.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Leidjane Maria Maciel de Oliveira

Recife

2019

Catálogo na fonte
Bibliotecária Maria Luiza de Moura Ferreira, CRB-4 / 1469

N244v Nascimento, Maria Hortência Silva do.
Variabilidade da cobertura vegetal do solo utilizando índice de vegetação no sertão de Pernambuco com dados orbitais /Maria Hortência Silva do Nascimento. - 2019.
48 folhas, il.

Orientadora: Profa. Dra. Leidjane Maria Maciel de Oliveira.

TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Departamento de Engenharia Civil, 2019.

Inclui Referências.

1. Engenharia Civil. 2. Sensoriamento remoto. 3. Petrolina. 4. QGIS.
5. LANDSAT. I. Oliveira, Leidjane Maria Maciel de (Orientadora). II. Título.

UFPE

624 CDD (22. ed.)

BCTG/2019-382



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
COORDENAÇÃO DO CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**ATA DA DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO PARA
CONCESSÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO CIVIL**

CANDIDATO(S): 1 – Maria Hortência Silva do Nascimento
2 –

BANCA EXAMINADORA:

Orientador: Profa. Dra. Leidjane Maria Maciel de Oliveira

Examinador 1: Prof. Dr. Alfredo Ribeiro Neto

Examinador 2: Eng^a Cartográfica Débora Natália Oliveira de Almeida

**TÍTULO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: VARIABILIDADE DA
COBERTURA VEGETAL DO SOLO UTILIZANDO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO NO
SERTÃO DE PERNAMBUCO COM DADOS ORBITAIS**

LOCAL: RECIFE

DATA: 11/ 07/2019 **HORÁRIO DE INÍCIO:** 9h..

Em sessão pública, após exposição de cerca de 30 minutos, o(s) candidato(s) foi (foram) arguido(s) oralmente pelos membros da banca com NOTA: 8,81 (deixar 'Exame Final', quando for o caso).

1) (x) aprovado(s) (nota > = 7,0), pois foi demonstrado suficiência de conhecimento e capacidade de sistematização no tema da monografia e o texto do trabalho aceito.

As revisões observadas pela banca examinadora deverão ser corrigidas e verificadas pelo orientador no prazo máximo de 30 dias (o verso da folha da ata poderá ser utilizado para pontuar revisões).

O trabalho com nota no seguinte intervalo, **3,0 = < nota < 7,0**, será reapresentado, gerando-se uma nota ata; sendo o trabalho aprovado na reapresentação, o aluno será considerado **aprovado com exame final**.

2) () reprovado(s). (nota <3,0)

Na forma regulamentar foi lavrada a presente ata que é assinada pelos membros da banca e pelo(s) candidato(s).

Recife, 11 de julho de 2019

Orientador:

Avaliador 1:

Avaliador 2:

Candidato 1:

Candidato 2:

AGRADECIMENTOS

Eterna gratidão a minha avó, Dona Rita e a minha tia-irmã Ana Rita, pelos anos de dedicação e lealdade, pelo amor sempre incondicional e por acreditar que um dia eu chegaria aqui. Eu consegui!

Agradeço a Prof. Leidjane, a quem carinhosamente chamo de linda, por ter me acolhido e me orientado da forma mais humana possível, sempre transmitindo seus conhecimentos e seu amor a todos os alunos.

Agradeço a Paulo por cada vez que ele teve que me explicar a matéria novamente, pela dedicação, pelo companheirismo, pela torcida sempre presente e por esses 7 anos de amizade, que me tornaram uma pessoa melhor. Sem você eu não teria chegado até aqui.

Agradeço a Micaías e Giovanna por terem estado comigo nos momentos que eu mais precisei, pela compreensão nos meus dias mais difíceis e por terem caminhando lado a lado comigo. Vocês foram essenciais nessa luta.

Agradeço a Jéssica pela força transmitida nesses últimos anos, pela leveza da nossa amizade e por ter estado comigo nos meus dias mais difíceis. Você tem um coração do tamanho do mundo.

Agradeço a Dessa, Hugo e Igor pelos momentos vividos dentro e fora da federal. Pelo companheirismo nos dias de luta e pela alegria nos dias de glória. Eu vou lembrar pra sempre da gente.

Agradeço a Adam por ter estado sempre ao meu lado e por ter enfrentado a área II comigo, pelas nossas crises de riso no meio da aula e por ter sempre me passado a melhor energia do mundo. O meu melhor sorriso sempre vai ser contigo.

Agradeço a Gabi e Monique por estarem sempre presentes, mesmo distantes. Pelos longos anos de amizade, pelo afeto e o abraço sempre apertado. Vamos ser pra sempre aquelas meninas gaiatas do CEFET.

Por fim, gostaria de agradecer a todos que, de alguma forma, colaboraram para que eu pudesse chegar até aqui. Minha eterna gratidão.

RESUMO

O avanço das técnicas de Sensoriamento Remoto vem crescendo a cada ano e se torna cada vez mais acessível o estudo do índice de vegetação, com o intuito de se monitorar o comportamento do mesmo e suas variações, sendo esta uma forma de busca de aperfeiçoamento do método e soluções práticas para avanços na área. O objetivo deste trabalho foi estudar o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e suas variações ao longo dos anos nos municípios de Petrolina e Lagoa Grande. Para isso, foram adquiridas imagens TM-Landsat 5 da área de estudo, referentes aos dias 04/10/2001 e 22/01/2007 na órbita 217 e pontos 66 e 67 a partir do banco de dados do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS) e processadas no software livre QGIS. Os valores mais altos de NDVI na faixa de 0,806 a 0,768 evidenciaram áreas com vegetação mais robusta, onde estão incluídos os perímetros irrigados da região e onde também é possível observar uma revitalização da mata ciliar na área de estudo. Os valores mais baixos na faixa de -0,406 a -0,549 estão diretamente relacionados aos centros urbanos dos municípios de Petrolina e Lagoa Grande, bem como corpos hídricos e áreas com pouca ou nenhuma vegetação. Valores de NDVI intermediários na faixa de 0,285 a 0,317 correspondem a áreas de vegetação rala ou rasteira, típico da vegetação da caatinga.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto. Petrolina. QGIS. Landsat.

ABSTRACT

The advancement of Remote Sensing techniques has been growing every year and the study of the vegetation index has become increasingly accessible, in order to monitor the behavior of the vegetation and its variations, being this a form of search for improvement of the method and practical solutions for advancement in the area. The objective of this search was to study the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and its variations over the years in the county of Petrolina and Lagoa Grande. For this purpose, TM-Landsat 5 images from the study area, dated 10/04/2001 and 01/22/2007, were acquired at orbit 217 and points 66 and 67 from the United States Geological Survey database (USGS) and processed in free software QGIS. The highest values of NDVI in the range of 0.806 to 0.768 showed areas with more robust vegetation, including the irrigated perimeters of the region and where it is also possible to observe a revitalization of the forest in the study area. The lowest values in the range of -0,406 to -0,549 are directly related to the urban centers of the counties of Petrolina and Lagoa Grande, as well as water bodies and areas with little or no vegetation. Intermediate NDVI values in the range of 0.285 to 0.317 correspond to areas of sparse vegetation, typical of the vegetation of the caatinga.

Keywords: Remote sensing. Petrolina. QGIS. Landsat.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Bandas do TM Landsat 5	15
Figura 2 – Mapa de localização	19
Figura 3 – Localização do pólo Petrolina-Juazeiro	21
Figura 4 – Dados pluviométricos do município de Petrolina	25
Figura 5 – Interface Gráfica do Software QGIS	25
Figura 6 – NDVI da área de estudo em 04/10/2001	29
Figura 7 – NDVI da área de estudo em 22/01/2007	30
Figura 8 – Área urbana de Petrolina em 04/10/2001	31
Figura 9 – Área urbana de Petrolina em 22/01/2007	31
Figura 10 – Área urbana de Lagoa Grande em 04/10/2001	32
Figura 11 – Área urbana de Lagoa Grande em 22/01/2007	32
Figura 12 – Corpo hídrico-Rio São Francisco em 04/11/2001	34
Figura 13 – Corpo hídrico-Rio São Francisco em 04/11/2001	34
Figura 14 – Corpo hídrico-Rio São Francisco em 22/01/2007	35
Figura 15 – Corpo hídrico-Rio São Francisco em 22/01/2007	35
Figura 16 – Corpo hídrico-Barragem de Sobradinho em 04/11/2001	36
Figura 17 – Corpo hídrico-Barragem de Sobradinho em 22/01/2007	36
Figura 18 – Áreas de perímetros irrigados em Petrolina em 04/10/2001	38
Figura 19 – Áreas de perímetros irrigados em Petrolina em 04/10/2001	38
Figura 20 – Áreas de perímetros irrigados próximos em Petrolina em 22/01/2007	39
Figura 21 – Áreas de perímetros irrigados em Petrolina em 22/01/2007	39
Figura 22 – Áreas de perímetros irrigados em Lagoa Grande em 04/10/2001	40
Figura 23 – Áreas de perímetros irrigados em Lagoa Grande em 04/10/2001	40
Figura 24 – Áreas de perímetros irrigados em Lagoa Grande em 22/01/2007	41
Figura 25 – Áreas de perímetros irrigados em Lagoa Grande em 22/01/2007	41

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	APRESENTAÇÃO	9
1.2	JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÃO	10
1.3	OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS	11
2	REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1	COBERTURA VEGETAL DE PERNAMBUCO	12
2.2	SENSORIAMENTO REMOTO	13
2.3	IMAGENS DE SATÉLITE.....	15
2.4	ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI)	16
3	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	18
3.1	LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA.....	18
3.2	HIDROGRAFIA	19
3.3	CLIMA	19
3.4	VEGETAÇÃO.....	20
3.5	SOLOS	20
3.6	ECONOMIA	21
4	MATERIAL E MÉTODOS	23
4.1	DADOS UTILIZADOS	23
4.1.1	Dados do sensoriamento remoto	23
4.1.2	Dados meteorológicos.....	23
4.2	MÉTODO.....	24
4.2.1	Processamento das imagens de satélite.....	24
4.2.2	Calibração radiométrica	26
4.2.3	Reflectância	26
4.2.4	Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI)	26
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	28
5.1	VARIAÇÃO PLUVIOMÉTRICA NA ÁREA DE ESTUDO	28
5.2	ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI)	28
6	CONCLUSÕES	43
	REFERÊNCIAS	44

1 INTRODUÇÃO

Para Novo (1989), o Sensoriamento Remoto (SR) consiste na utilização conjunta de modernos instrumentos (sensores), equipamentos para processamento e transmissão de dados e plataformas (aéreas ou espaciais) para carregar tais instrumentos e equipamentos, com o objetivo de estudar o ambiente terrestre através do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias componentes do planeta Terra, em suas mais diversas manifestações. Ou ainda, segundo Lillesand & Kiefer (1994) como a ciência e arte de se obter informações sobre um objeto, uma área ou fenômeno, através da análise de dados adquiridos por um dispositivo que não está em contato com o objeto, área ou fenômeno sob investigação.

1.1 APRESENTAÇÃO

A aplicação de técnicas associadas ao SR tem sido utilizada com maior frequência como tecnologia para monitoramento em áreas ambientais. O sensoriamento remoto permite aquisição de informações climáticas e ambientais, por fornecer análises ou com detalhes do objeto de estudo, pelo rápido processamento dos dados, praticidade e custo relativamente baixo (NOVAIS *et al.*, 2011).

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) é um parâmetro biofísico, processado com base no SR, importante para o monitoramento da vegetação. Ele tem sido utilizado para construir perfis, sazonal e temporal, das atividades de vegetação, o que permite comparações interanuais desses perfis (PONZONI & SHIMABUKURO, 2007), viabilizando a representação temporal do crescimento e pontos específicos de áreas verdes, possibilitando também identificar área geográfica de corpos hídricos (ROUSE *et al.*, 1973).

Lopes *et al.* (2010a) afirmaram que a simplicidade e alta sensibilidade do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), na avaliação da densidade da cobertura vegetal tornaram possível o monitoramento da vegetação em escala global, fato que elege o NDVI como um indicador biofísico indispensável aos estudos de avaliação e monitoramento sazonal e interanual da degradação do ambiente. Gurgel (2003) destaca ainda as seguintes aplicações para o NDVI: monitoramento de cultivo agrícola, estudos de desertificação, monitoramento de seca, monitoramento ambiental terrestre e estudos globais de balanços de água e energia.

Com o intuito de monitorar o comportamento da vegetação do sertão de Pernambuco, o presente trabalho se voltou para a investigação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) dos municípios de Petrolina e Lagoa Grande e seus entornos, devido a

importância de compreender a situação da região e prever desequilíbrios ambientais. Vale salientar que a área de estudo vem recebendo atenção devido ao potencial crescimento de perímetros irrigados em sua região.

1.2 JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÃO

O avanço das técnicas de Sensoriamento Remoto (SR) vem crescendo a cada ano e se torna cada vez mais acessível o estudo do índice de vegetação, com o intuito de se monitorar o comportamento do mesmo e posteriores soluções práticas para avanços na área. O NDVI tem sido usado para estimar biomassa e mudanças no desenvolvimento das comunidades vegetais e utilizado como ferramenta para o monitoramento da vegetação, com o intuito de construir perfis sazonais e temporais das atividades da vegetação, permitindo a comparação desses perfis.

Os municípios de Petrolina e Lagoa Grande apresentam papel fundamental na economia da região do Sertão Pernambucano. Um dos principais projetos apresentados na região é o Projeto Pontal, que está inserido na região do vale no submédio São Francisco, na área de influência do Polo Hidroagrícola Petrolina (PE)-Juazeiro (BA), o mais importante centro de produção e de exportação de frutas tropicais irrigadas do Brasil. O desenvolvimento agrícola da região se apoia nas condições climáticas, caracterizando-se pela elevada insolação durante todo o ano, e solos de boa aptidão para a irrigação que ajudam a promover a qualidade da produção irrigada de frutas, se adequando não só às exigências do mercado interno, mas, também, para as exigências dos consumidores da Europa e América do Norte, destino das frutas exportadas da região (LACERDA e LACERDA, 2004). Na agricultura irrigada, há potencial para cultivo das seguintes culturas: abacaxi, algodão, banana, manga, uva, cenoura, feijão, beterraba, limão, milho, melancia, pimentão, produção de leite, peixe e hortaliças. A produção na área de sequeiro também é economicamente viável, capaz de gerar renda e melhorar as condições de vida da população local. Dentre as atividades possíveis de serem desenvolvidas estão a ovinocaprinocultura (carne, peles, animais vivos e esterco), produção de grãos (milho e feijão), produção de mandioca (farinha), extrativismo (lenha, carvão, umbu) e cultivos de vazante (como o da batata-doce). (CODEVASF, 2007a).

O presente trabalho foi motivado a partir destes avanços e das possibilidades de serem feitos estudos aprofundados no tema. Para que isso seja possível, este trabalho fez uso de imagens captadas por sensores acoplados em satélites e disponibilizadas de maneira gratuita através do banco de dados do endereço eletrônico do USGS (Serviço Geológica dos Estados

Unidos), além da utilização do software livre QGIS para processamento das imagens e geração de mapas temáticos.

1.3 OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS

O presente trabalho tem como objetivo analisar a variabilidade da cobertura vegetal do solo utilizando o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) nos municípios de Petrolina e Lagoa Grande e seus entornos no estado de Pernambuco, buscando comparar resultados obtidos em anos distintos e assim chegar a conclusões importantes sobre a variabilidade da vegetação na região.

Como objetivos específicos, pode-se listar:

- Utilizar a ferramenta QGIS, analisando imagens TM LANDSAT 5;
- Analisar imagens processadas no QGIS referente ao índice NDVI e fazer comparações temporais;
- Analisar banco de dados hidrológicos;
- Analisar o uso da cobertura vegetal do solo com a variabilidade espacial e temporal do NDVI;
- Comparar com pesquisas existentes.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Para melhor entendimento do embasamento do estudo de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, foram estudados os seguintes tópicos:

2.1 COBERTURA VEGETAL DE PERNAMBUCO

A vegetação de Pernambuco é dividida, basicamente, em quatro tipos: Formações Litorâneas, Floresta Tropical, Caatinga e Cerrado. A primeira é marcada pela presença de restingas e manguezais, já as florestas atlânticas se caracterizam por espécies perenes ou decíduais. Por fim, a caatinga é responsável pela cobertura de 83% do território pernambucano.

As Formações Litorâneas de Pernambuco se estendem ao longo de sua faixa costeira, que pode variar de poucos metros a alguns quilômetros. Nas proximidades do mar, predominam os vegetais mais rasteiros, além de gramíneas mais espessas como os capins. Junto às dunas, restingas acompanham os terraços litorâneos, incluindo, ocasionalmente, a presença de algumas pequenas árvores de copa larga e irregular. Os campos de restinga presentes registram a existência de uma vegetação mais arbustiva, mas com densidades variáveis. Nas desembocaduras dos rios, solos lodosos permitem a proliferação de mangues, especialmente nas cidades de Goiana e Igarassu. Segundo Lima (2007), de acordo com a localização, altitude, tipo de solo e maior ou menor concentração salina, fatores esses que se traduzem por variações sensíveis de vegetação, divide-se a zona do litoral nas subzonas: a) Marítima, b) praia, c) restingas e d) mangues. Cada uma dessas subzonas tem sua flora própria e sua caracterização fisionômica bem definida.

A zona da mata em Pernambuco representa o ponto de ligação das Florestas Orientais Brasileiras que vêm do sul, com as Florestas Equatoriais Brasileiras, vindas da Amazônia, porém, presentemente, com o grande hiato correspondente aos Estados do Ceará e Piauí e partes do Rio Grande do Norte e Maranhão. A mata pernambucana divide-se em três subzonas: a) mata úmida, b) mata seca e c) matas serranas. Nos dois primeiros casos, baseia-se esta divisão, como indicam os adjetivos na maior ou menor exuberância da vegetação, motivadas pela maior ou menor umidade ambiente, bem como altitude, permeabilidade do solo e proximidade da zona da caatinga. A mata úmida, perenifólia, é exuberante, de folhagem verde-escuro, rica em cipós. As árvores têm diâmetro do caule maior, em relação ao comprimento. Na mata seca, caducifólia, há um maior número de indivíduos arbóreos por área, os caules são relativamente longos e o número de cipós vigorosos é menor. As matas

serranas são perenifólias e encimam muitas das serras dos três–quartos ocidentais do Estado (LIMA, 2007).

Nas regiões mais altas, acima dos 500 metros, houve o desenvolvimento de florestas perenifólias, cujo porte das árvores varia de 20 a 35 metros. Isso só foi possível em virtude das condições serranas, tipicamente mais frias e chuvosas. É interessante notar que tais áreas se situam em meio à zona da caatinga, podendo ocorrer assim os chamados “brejos de altitude” na continuidade da cobertura vegetal ao longo da extensão do território.

Segundo Prado (2003), cerca de 40% do globo terrestre está ocupado pelas florestas tropicais e subtropicais, entre as quais 42% são compreendidas pelas florestas secas, onde se inclui a Caatinga. Essas regiões são consideradas como o ecossistema mais explorado e degradado do mundo, pelo uso intensivo da terra. Caracterizada como floresta arbórea ou arbustiva, a Caatinga é composta de árvores e arbustos baixos com algumas características xerofíticas. Assim como as diversas matas secas tropicais, a vegetação da Caatinga também é alvo de grande exploração humana, pela atividade agrícola desenvolvida, pelo extrativismo na extração de madeira e lenha e pelo uso da pecuária extensiva. No Nordeste, as áreas de Caatinga apresentam um regime de chuvas cuja deficiência hídrica ocorre na maior parte do ano, e abrangem centenas de milhares de quilômetros quadrados, com grande heterogeneidade espacial e temporal (MENEZES & SAMPAIO, 2000). A zona semiárida apresenta irregularidade de distribuição de chuvas e altas taxas de evapotranspiração, que influenciam marcadamente a disponibilidade e a qualidade da forragem nessas áreas.

Como nas demais savanas sulamericanas (“cerrados”, “cobertos”, etc.), a vegetação nesta zona se caracteriza por um manto herbáceo, com predominância de gramíneas, onde se intercalam arboretas tortuosas, de súber espesso e folhas mais ou menos coriáceas. Compreende duas subzonas: a) tabuleiros e b) agrestes do Araripe (LIMA, 2007).

2.2 SENSORIAMENTO REMOTO

Segundo Florenzano (2007) o Sensoriamento Remoto (SR) é a tecnologia que permite a obtenção de imagens e outros dados, da superfície terrestre, por meio da captação e do registro da energia refletida ou emitida pela superfície. A expressão sensoriamento evidencia que os dados são recebidos por meio de sensores instalados em plataformas terrestres, aéreas e orbitais. Além disso, ressalta-se que não há o contato físico entre o sensor e a superfície, por isso a expressão remoto. Os sensores óptico-eletrônicos utilizados para a captura dessa energia funcionam como uma câmera fotográfica (que capta e registra a radiação – luz –

emitida/refletida pelo objeto) que captura imagens da superfície terrestre, só que um pouco mais sofisticados.

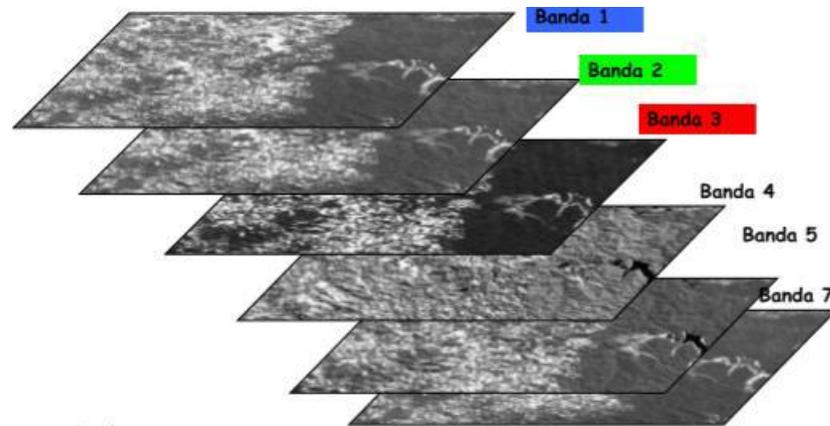
As câmeras fotográficas convencionais captam apenas o espectro de luz visível (de ondas longas), já os sensores utilizados no SR costumam captar outras bandas (uma delas é o infravermelho, que é muito importante para o estudo das vegetações, por exemplo). Após feita a captura da imagem, estas serão analisadas, transformadas em mapas ou constituirão um banco de dados georreferenciados caracterizando o que chamamos de Geoprocessamento.

O Sensoriamento Remoto (SR) vem sendo uma alternativa para o monitoramento da dinâmica da vegetação, associado às técnicas de processamento digital de imagem. Segundo Epiphany et al. (1996), nas suas aplicações, os índices de vegetação são transformações lineares de bandas espectrais na faixa do vermelho ou infravermelho próximo, e de acordo com Ferraz *et al.* (2007), com eles se podem ter estimativas confiáveis da atividade fotossintética da vegetação, sendo o uso dos seus valores espectrais, um bom parâmetro para compreender a dinâmica fotossintética por meio do vigor de uma cultura.

Objetos da superfície terrestre, como a vegetação, a água e o solo, refletem, absorvem e transmitem radiação eletromagnética em proporções que variam com o comprimento de onda, de acordo com as suas características físico-químicas. A variação do comprimento de onda faz com que estes objetos habitem regiões diferentes do espectro eletromagnético, fazendo com que possam ser diferenciados pelo sensor (FLORENZANO, 2007).

Os sensores são sistemas responsáveis pela conversão da energia proveniente dos objetos em registros na forma de imagens ou gráficos, que possam informar a respeito das características físicas, químicas, biológicas ou geométricas do mesmo. O avanço tecnológico possibilitou que os sensores pudessem registrar o sinal proveniente de regiões distintas do espectro eletromagnético simultaneamente, denominados sensores multiespectrais. Com isso, evita-se a perda de informações específicas sobre as interações de um objeto com um determinado comprimento de onda, possibilitando obter imagens de uma mesma área em diferentes faixas espectrais, também denominadas canais ou bandas. O sensor Thematic Mapper (TM), do satélite Landsat-5, é um sensor multiespectral que atua em sete diferentes faixas (três da região do visível e quatro da região do infravermelho), como esta resolução está evidenciada na Figura 1, onde a banda 6 corresponde à banda termal. (NOVO, 2008)

Figura 1 – Bandas do TM Landsat 5



Fonte: Florenzano (2007).

Os índices de vegetação gerados a partir de dados oriundos de sensores remotos constituem uma importante ferramenta para o monitoramento de alterações naturais ou antrópicas no uso e na cobertura da terra. Estes índices têm sido usados na estimativa de diversos parâmetros da vegetação como, por exemplo, o índice de área foliar (Holben et al., 1980; Baret e Guyot, 1991) e a quantidade de biomassa verde (Tucker, 1979), bem como na avaliação do uso e manejo do solo e da recuperação de áreas degradadas, estabelecendo práticas conservacionistas adequadas para cada ambiente (Rizzi e Fonseca, 2001; Okin, 2007).

2.3 IMAGENS DE SATÉLITE

Segundo Crósta (1992), as imagens provenientes de sensoriamento remoto servem como fontes de dados para estudos e levantamentos geológicos, ambientais, agrícolas, cartográficos, florestais, urbanos, oceanográficos, entre outros, representando uma das únicas formas viáveis de monitoramento ambiental em escalas locais e globais, devido à rapidez, eficiência, periodicidade e visão sinóptica que as caracterizam.

De acordo com o mesmo autor, as imagens são constituídas por um arranjo de elementos sob a forma de uma malha ou grid. Cada “cela” desse grid tem sua localização definida em um sistema de coordenadas do tipo “linha e coluna”, representadas por x e y, respectivamente. O nome dado a essas celas é pixel, “picture element”, ou seja, a unidade mínima da imagem

que representa a reflectância média de uma área da superfície, dentro do campo de visada instantânea (IFOV) do sensor colocado a bordo do satélite. As características de cada pixel variam em função das diferentes plataformas orbitais. Os valores médios da reflectância, coletados em diferentes comprimentos de onda, dependem do alvo e dos detectores de cada sensor. Nas imagens de satélites, esses valores são representados por níveis de cinza, os quais variam do preto ao branco.

2.4 ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI)

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), foi proposto por Rouse et al. (1973), a partir da normalização do Índice de Vegetação da Razão Simples para o intervalo de -1 a +1. Consiste numa relação entre as medidas espectrais (reflectância – ρ) de duas bandas, a do infravermelho próximo (ρ_{ivp}) e a do vermelho (ρ_{v}).

De acordo com Moreira (2011), os índices de vegetação foram criados para tentar diminuir o trabalho de análise de dados orbitais, através da maximização de informações espectrais da vegetação no menor número de bandas de operação dos sensores. Sendo assim, podendo ser obtidos tanto de dados coletados por satélites quanto por equipamentos que estão próximos ao alvo de interesse.

O princípio do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (do original Normalized Difference Vegetation Index) - NDVI é baseado no contraste entre as regiões espectrais, quanto maior for esse contraste maior o vigor da vegetação nas áreas imageadas. Esta técnica é utilizada como ferramenta no monitoramento da vegetação construindo perfis sazonais e temporais das atividades de vegetação, por meio de cálculos feitos a partir de dados das regiões do vermelho e do infravermelho próximo, de qualquer satélite que trabalhe nestes intervalos espectrais (Moreira, 2011).

De acordo com Mascarenhas *et al.* (2008), ao realçar o contraste da radiação refletida nos intervalos espectrais do vermelho e do infravermelho, que é proporcional a atividade da fotossíntese, o NDVI favorece uma fácil visualização das diferentes fitofisionomias da vegetação.

Vários estudos estão sendo realizados em regiões para avaliação do NDVI, como foi observado em Nascimento *et al* (2018), onde foi feito um estudo da área urbana do município de Caruaru-PE nos anos de 2007 e 2017, constatando que esta área vem crescendo gradativamente e a vegetação vem perdendo espaço frente a este crescimento.

Nascimento *et al* (2019) realizaram uma pesquisa a respeito do NDVI nos municípios de Frei Miguelinho e Riacho das Almas -PE no ano de 2007, onde pode ser observado vários aspectos da região, como detecção de área de ocupação do solo, o caso da Vila Trapiá, e as condições da vegetação de áreas com cobertura vegetal.

Silva *et al* (2019) estudaram os Índices de Vegetação no município de Belo Jardim -PE no ano de 2004 e 2010, observando, entre outros aspectos, o comportamento do crescimento da vegetação no município. Foi observado que as altas precipitações estão diretamente ligadas ao crescimento vegetativo da região.

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

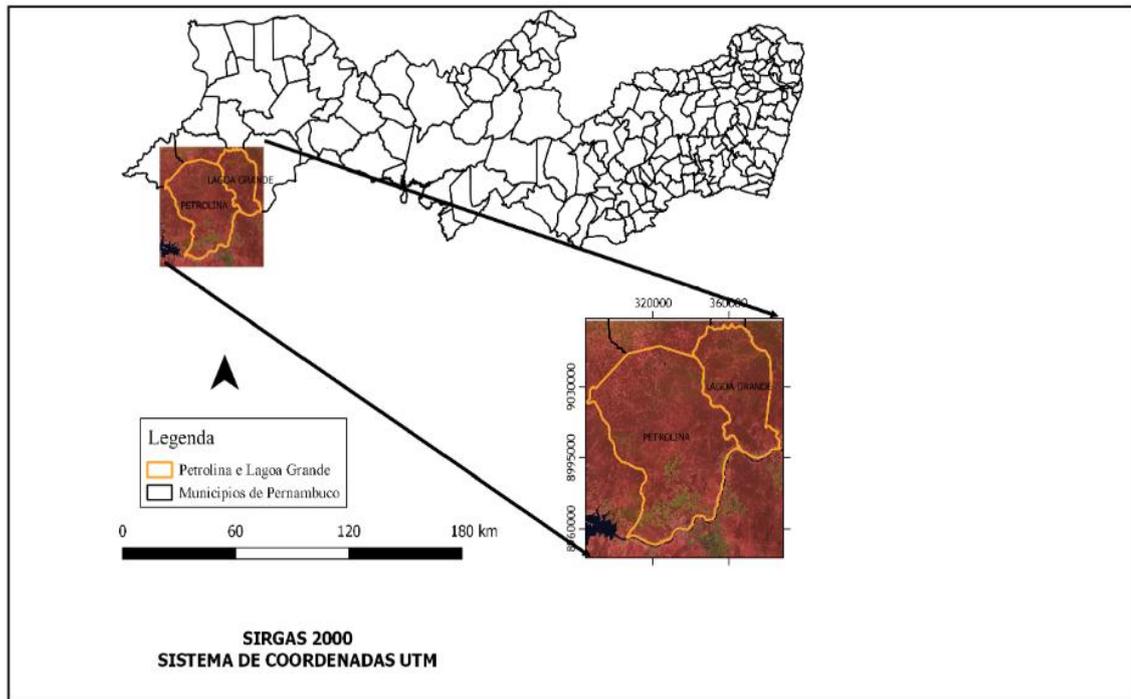
Para um melhor entendimento da área de estudo, foram estudados os tópicos que seguem:

3.1 LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA

Segundo a EMBRAPA (2010), o Município de Petrolina está inserido na região do Submédio do São Francisco, que abrange áreas dos estados da Bahia e Pernambuco, estendendo-se da cidade de Remanso até a cidade de Paulo Afonso, ambas no Estado da Bahia. Localiza-se entre a latitude 09°23'55" sul e a longitude 40°30'03" oeste, a uma altitude aproximada de 376 m. Sua população estimada, segundo o censo de 2008, foi de 276.174 habitantes, dos quais 204 mil vivem na zona urbana do município e possui uma área de 4.756,8 km². Os limites geográficos são: ao sudeste com o Município de Dormentes, PE, a leste com Lagoa Grande, PE, ao sul com Juazeiro, BA, a oeste com Casa Nova, BA e a noroeste com Afrânio, PE. A sede do município dista cerca de 722 km da cidade de Recife, capital do estado.

Ainda segundo EMBRAPA (2010), o Município de Lagoa Grande localiza-se entre a latitude de 08°59'49" sul e a longitude 40°16'19", a uma altitude aproximada de 300m. Sua população estimada, segundo o censo de 2000, foi de 22.760 habitantes, dos quais 10.416 vivem na zona urbana do município e possui uma área de 1.852,34 km². Os limites geográficos são: ao sudeste com o Município de Santa Cruz, PE, a leste com Santa Maria da Boa Vista, PE, a oeste com Petrolina, PE e a noroeste com Dormentes, PE. Figura 2 – Mapa de localização.

Figura 3 – Mapa de localização



Fonte: A Autora (2019).

3.2 HIDROGRAFIA

O município de Petrolina está inserido na bacia hidrográfica do Rio São Francisco, do Rio Pontal e do grupo de Bacias de Pequenos Rios Interiores. Já o município de Lagoa Grande está inserido nos domínios da bacia hidrográfica do Rio Garças e Rio Pontal. Segundo EMBRAPA (2005) a rede de drenagem da área é bastante vasta, constituída por grandes rios, como por exemplo, o Garça, o São Pedro, o Brígida, o Pontal, e outros, além de pequenos riachos que correm de forma mais ou menos paralela na direção sul para o Rio São Francisco. Este é o mais importante rio da região, por extensão, volume d'água, potencial energético e perenidade. Percorre um longo trecho semi-árido, principalmente entre os municípios de Petrolina e Petrolândia, permitindo a irrigação nas suas margens, peça fundamental ao soerguimento agrícola racional da região.

3.3 CLIMA

O clima da região é classificado como Semiárido quente (BSwh'), cuja precipitação pluviométrica média anual é de 557,7 mm (BRASIL, 2004), com chuvas concentradas em 4 meses (de dezembro a março). Conforme evapotranspiração potencial média de Hargreaves, para o posto de Petrolina, da ordem de 2.090 mm anuais, o déficit hídrico médio é de 1.689

mm/ano. Segundo Teixeira (2010), a homogeneidade térmica contrasta fortemente com a heterogeneidade espacial e temporal do regime pluviométrico. De um lado, o curso anual das disponibilidades hídricas, a deficiência hídrica e a irregularidade das chuvas constituem os maiores problemas para a agricultura de sequeiro da região. Por outro lado, esta deficiência é favorável para a agricultura irrigada pela redução da incidência de doenças e dos problemas causados pelo excesso de chuvas na produtividade e na qualidade dos produtos. O principal período da estação chuvosa do Semiárido nordestino pode ser influenciada pelos oceanos tropicais e por fatores de circulação atmosférica de escala global e regional.

3.4 VEGETAÇÃO

A vegetação da área de estudo corresponde a um mosaico onde predomina a caatinga arbustiva-arbórea, entremeada a trechos de caatinga arbustiva, geralmente associada, essa última, a alguma ação antrópica anterior. Observa-se uma vegetação típica de caatinga com fisionomia predominantemente arbustiva com elementos arbóreos, podendo ser densa ou aberta, com um estrato arbustivo variando 3 a 4 metros de altura (CODEVASF, 2007b).

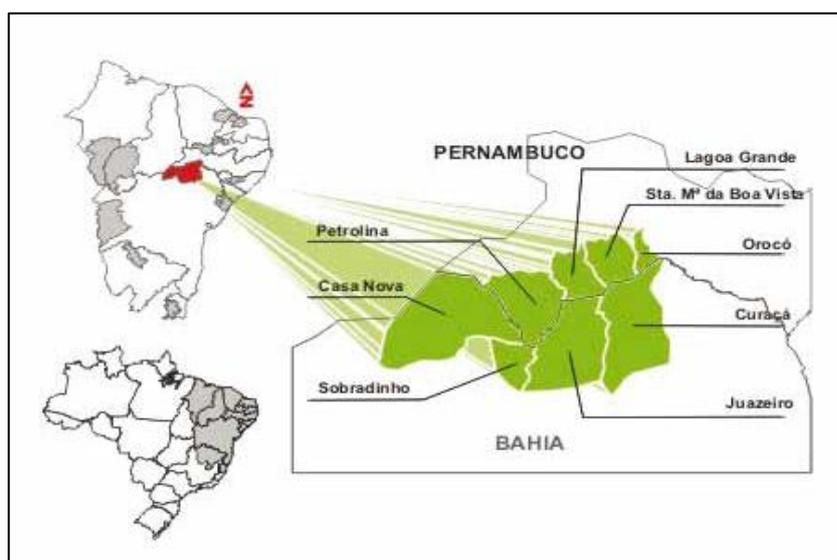
3.5 SOLOS

Segundo a EMBRAPA (2012) foram identificadas nove unidades de mapeamento dominadas pelas classes dos Argissolos, Cambissolos, Neossolos Litólicos, Planossolos. Na região mapeada do Município de Lagoa Grande, os Argissolos Amarelos e Vermelho-Amarelos somam 14.786,609 ha, o que corresponde 87,55% da área total. Os Cambissolos compreendem 1.675,43 ha (9,92%), os Neossolos Litólicos 65,126 ha (0,39%) e os Planossolos 347,323 ha (2,06%). Segundo EMBRAPA (2005), no município de Petrolina, em função do aumento de espessura do recobrimento sedimentar, os solos apresentam-se mais profundos e desenvolvidos, destacando-se as seguintes classes: Argissolos Vermelho-Amarelos e Amarelos, ambos Eutróficos plínticos e não plínticos, abruptos ou não abruptos, concrecionários e não concrecionários. Em menores proporções ocorrem áreas de Latossolos Vermelho-Amarelos Eutróficos, Neossolos Quartzarênicos Distróficas, Neossolos Litólicos Eutróficos, Planossolos Nátricos e Planossolos Solódicos.

3.6 ECONOMIA

A região de estudo apresenta como sua principal fonte de renda a venda de produtos oriundos da cultura de perímetros irrigados, que vieram como forma de combater a seca vivida no semiárido pernambucano. A partir da década de 1960, o governo federal passou a investir em perímetros de irrigação e criou, entre outros, o Polo Petrolina-Juazeiro (Figura 4), no submédio do Vale do São Francisco, considerado, por vários autores, como o Polo de irrigação de maior sucesso da região Nordeste. Situado na zona mais árida do Nordeste brasileiro, às margens do rio São Francisco, no extremo oeste de Pernambuco e norte da Bahia, o Polo de Desenvolvimento Petrolina-Juazeiro é formado por oito municípios – Petrolina, Lagoa Grande, Santa Maria da Boa Vista e Orocó, em Pernambuco; Juazeiro, Sobradinho, Casa Nova e Curaçá, na Bahia, nos quais estava distribuída, em 2007, uma população de 689.421 habitantes (IBGE, 2007). Suas condições naturais (solo, clima, topografia etc.) são excepcionais para o desenvolvimento da fruticultura; o único fator limitante para esta atividade agrícola na região é o baixo nível de precipitações pluviométricas, com um período de estiagem anual de oito meses, de abril a novembro. Este fator limitante, porém, vem sendo sanado pela disponibilidade de água em quantidade e qualidade, oferecida para irrigação pelo rio São Francisco. (ORTEGA e SOBEL, 2010)

Figura 4 – Localização do Pólo Petrolina-Juazeiro



Fonte: Banco do Nordeste do Brasil (BNB, 2007)

Atualmente existem sete perímetros em funcionamento no Polo Petrolina-Juazeiro “Bebedouro”, “Senador Nilo Coelho” e sua recente extensão “Maria Tereza”, em Petrolina; e

“Curaçá”, “Maniçoba”, “Tourão” e “Mandacaru” em Juazeiro – tendo sido implementados em diferentes épocas e condições. O Bebedouro foi o primeiro perímetro irrigado a ser construído no Polo, em 1968, servindo, junto ao perímetro de Mandacaru (BA), como laboratório para análise da viabilidade econômica de tais investimentos para o semiárido. Por sua vez, o Perímetro Nilo Coelho teve o início de seu funcionamento no ano de 1984, período em que já se havia observado a viabilidade econômica destes investimentos para a região, comprovada pela elevada taxa de crescimento econômico observada nos municípios do Polo. O Perímetro Nilo Coelho é considerado o maior perímetro público do Brasil, com uma área total de 40.763 ha dos quais 21.640 ha são irrigáveis, sendo 41,4% das áreas destinadas a empresas e 58,6% destinadas a colonos. (ORTEGA e SOBEL, 2010)

Dentre os projetos da CODEVASF situados em Petrolina, o Perímetro Irrigado Senador Nilo Coelho, se destaca com as maiores produções de fruteiras, como, por exemplo, manga, uva, acerola, limão, abacate, goiaba, graviola, que são exclusivamente produzidos em maior quantidade no Nilo Coelho.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Para um melhor entendimento dos matérias e métodos utilizadas neste trabalho, seguem tópicos:

4.1 DADOS UTILIZADOS

Foram utilizadas duas fontes de dados principais para o estudo do índice de Vegetação por Diferença Normalizada, que seguem:

4.1.1 Dados do sensoriamento remoto

Foram utilizadas imagens correspondentes a duas datas distintas, 04/10/2001 e 22/01/2007, com intervalo de tempo de 6 anos, visando a análise de dados do índice de vegetação da área de estudo deste trabalho. Estas imagens foram do satélite Land Remote Sensing Satellite (Landsat 5) na órbita 217 e pontos 66 e 67. As cenas georreferenciadas foram obtidas no banco de dados do endereço eletrônico do USGS (Serviço Geológica dos Estados Unidos).

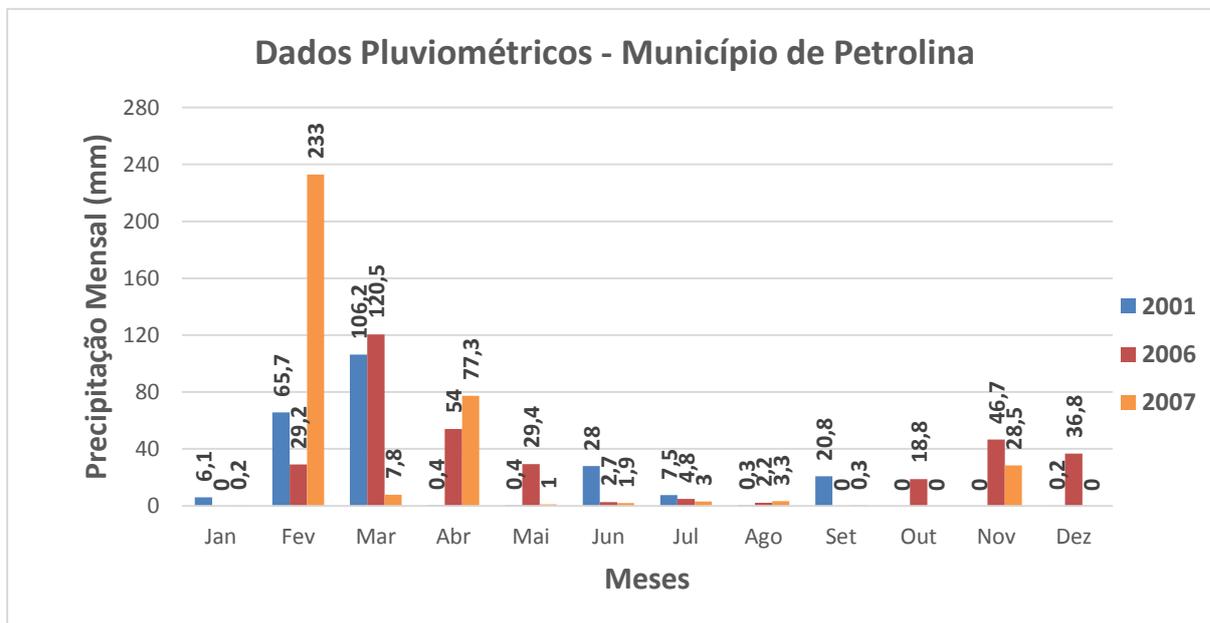
4.1.2 Dados meteorológicos

Os dados meteorológicos que foram utilizados nesta pesquisa foram obtidos junto a Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) através de Plataformas de Coleta de Dados (PCDs) espalhadas por todo Estado de Pernambuco.

Estas plataformas são equipamentos completamente automáticos, que dispõe de sensores eletrônicos capazes de medir precipitação, pressão atmosférica, radiação solar, temperatura e umidade do ar, direção e velocidade do vento, nível de corpos de água, entre outros.

Considerando a localização da área de estudo, foi selecionado uma PCD localizada no município de Petrolina. A Figura 4 abaixo demonstra a variação dos índices pluviométricos do município.

Figura 4 – Dados pluviométricos do município de Petrolina



Fonte: APAC.

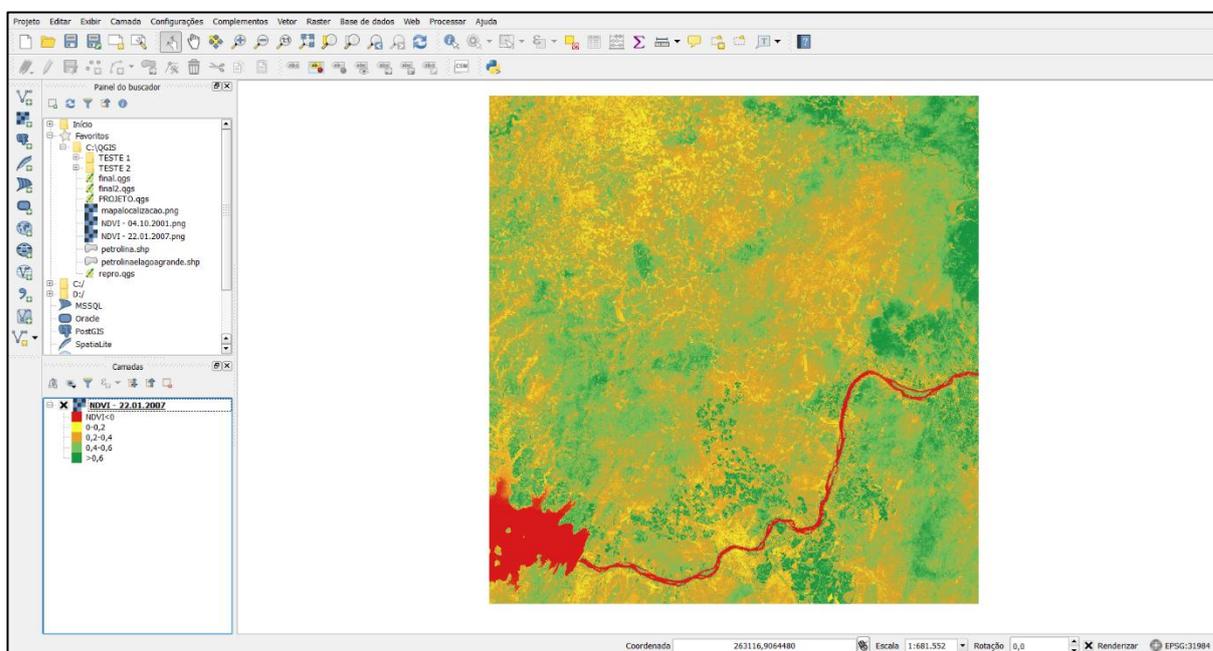
4.2 MÉTODO

Foram utilizados quatro métodos principais para o estudo do índice de Vegetação por Diferença Normalizada, que seguem:

4.2.1 Processamento das imagens de satélite

O estudo foi realizado a partir da utilização do software de livre acesso QGIS para o processamento de dados do NDVI. Na Figura 5 observou-se a interface gráfica do QGIS.

Figura 5 – Interface gráfica do software QGIS



Fonte: A Autora (2019).

Em relação ao presente trabalho, o processamento consistiu em determinar, a partir das imagens obtidas dos arquivos da USGS, a área a ser estudada e posteriormente processá-la. Foram escolhidas duas datas distintas, 04 de outubro de 2001 e 22 de janeiro de 2007 registradas pelo satélite Landsat 5 na órbita e ponto 217/66 e 67. As datas foram escolhidas tendo como pré-requisito os dias que se apresentavam com menor quantidade de nuvens, com o intuito de obter resultados os mais precisos possíveis. Foram realizados empilhamentos nas bandas das imagens, com o objetivo de se obter apenas uma imagem com todas as bandas e em seguida foi realizado o mosaico, sendo a junção das imagens empilhadas dos dois pontos distintos, 66 e 67. Após a obtenção do mosaico, foram feitos recortes das áreas de estudo e realizado os devidos processamentos para obtenção do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI).

4.2.2 Calibração radiométrica

A primeira etapa realizada foi a calibração radiométrica que corresponde a obtenção da radiação espectral de cada banda ($L\lambda_i$), com a aplicação da equação de Markham & Baker (1987), conforme abaixo:

$$L\lambda_i = \alpha_i + \frac{b_i - \alpha_i}{255} ND \quad (1)$$

Em que: “a” e “b” são radiâncias espectrais mínimas e máximas ($Wm^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$) obtidos em Chander e Markham (2007); ND é a intensidade do pixel (número inteiro entre 0 e 255) e; “i” cada banda do satélite Landsat.

Os coeficientes de calibração utilizados são os propostos por Chander et al. (2009). a e b são as radiâncias espectrais mínima e máxima, onde a assumiu os valores -1,17 e -1,51 e b assumiu os valores 264 e 221 para as bandas 3 e 4, respectivamente, ND é a intensidade do pixel (valor inteiro entre 0 e 255) e i corresponde às bandas do TM Landsat-5.

4.2.3 Reflectância

Em seguida, efetivou-se a determinação da reflectância espectral monocromática de cada banda ($L\lambda_i$), que é dada em função da radiância espectral ($\rho\lambda_i$), irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera ($\kappa\lambda_i$), do ângulo zenital (Z), e distância Terra-sol (d_r), conforme a equação obtida por Allen et al. (2007):

$$\rho\lambda_i = \frac{\pi L\lambda_i}{\kappa\lambda_i \cos Z d_r} \quad (2)$$

$$\cos Z = \cos\left(\frac{\pi}{2} - E\right) \quad (3)$$

$$d_r = 1 + 0,033 \cos\left(\frac{DSA2\pi}{365}\right) \quad (4)$$

4.2.4 Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI)

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), obtido a partir da equação proposta por Rouse et al. (1973), apresenta uma variação entre -1 e 1. Os valores positivos e mais próximos de 1 indicam superfícies verdes bem vegetadas, enquanto que os valores

negativos representam água ou nuvens. Solos descobertos e rochas refletem no vermelho e infravermelho próximo quase na mesma intensidade, por isso o NDVI se aproxima de 0.

O NDVI mede o teor de umidade na vegetação e foi computado pixel a pixel através da razão entre a diferença das refletividades dos canais infravermelho próximo (ρ_{IV}) e vermelho (ρ_V), através das bandas a serem escolhidas do TM Landsat 5.

$$NDVI = \frac{(\rho_{IV} - \rho_V)}{(\rho_{IV} + \rho_V)} \quad (5)$$

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados que foram obtidos neste trabalho foram de grande relevância para o estudo do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada dos municípios analisados, conforme discussões abaixo.

5.1 VARIAÇÃO PLUVIOMÉTRICA NA ÁREA DE ESTUDO

De acordo com análise gráfica dos dados, foi observada uma considerável discrepância entre os anos de estudo. No ano de 2001 houve um acúmulo de 235,6mm de chuva, tendo como valor mínimo de 0mm ocorrido nos meses de outubro e novembro e a maior intensidade pluviométrica ocorrida no mês de março, com 106,2mm. Já no ano de 2006, foi obtido 345,1mm de acúmulo de chuva, cerca de 100mm a mais que o ano de 2001, com valores mínimos de 0mm acumulados no mês de janeiro e um maior índice pluviométrico no mês de março, com 120,5mm de chuva. Em relação ao ano de 2007, o mês de janeiro, foco da pesquisa, apresentou um acumulado de 0,2mm. De acordo com Ferreira et al (2011), a variação sazonal da precipitação no município de Petrolina é caracterizada por uma estação chuvosa, que compreende os meses de novembro a abril, e por uma estação seca, a qual tem sua ocorrência entre os meses de maio a outubro. No gráfico apresentado na figura 4 é evidenciada estas estações secas e chuvosas, com índices maiores em fevereiro e março, tanto para o ano de 2001 como para o ano 2006 e com pouca ou nenhuma chuva nos meses de setembro e outubro dos mesmos anos. De acordo com um levantamento dos maiores períodos de secos já vividas pelo Nordeste, o ano de 2001 configura como um dos anos mais secos na história, que teve um prolongamento da seca vivida na década de 90 e que impactou diretamente no volume de água do Rio São Francisco.

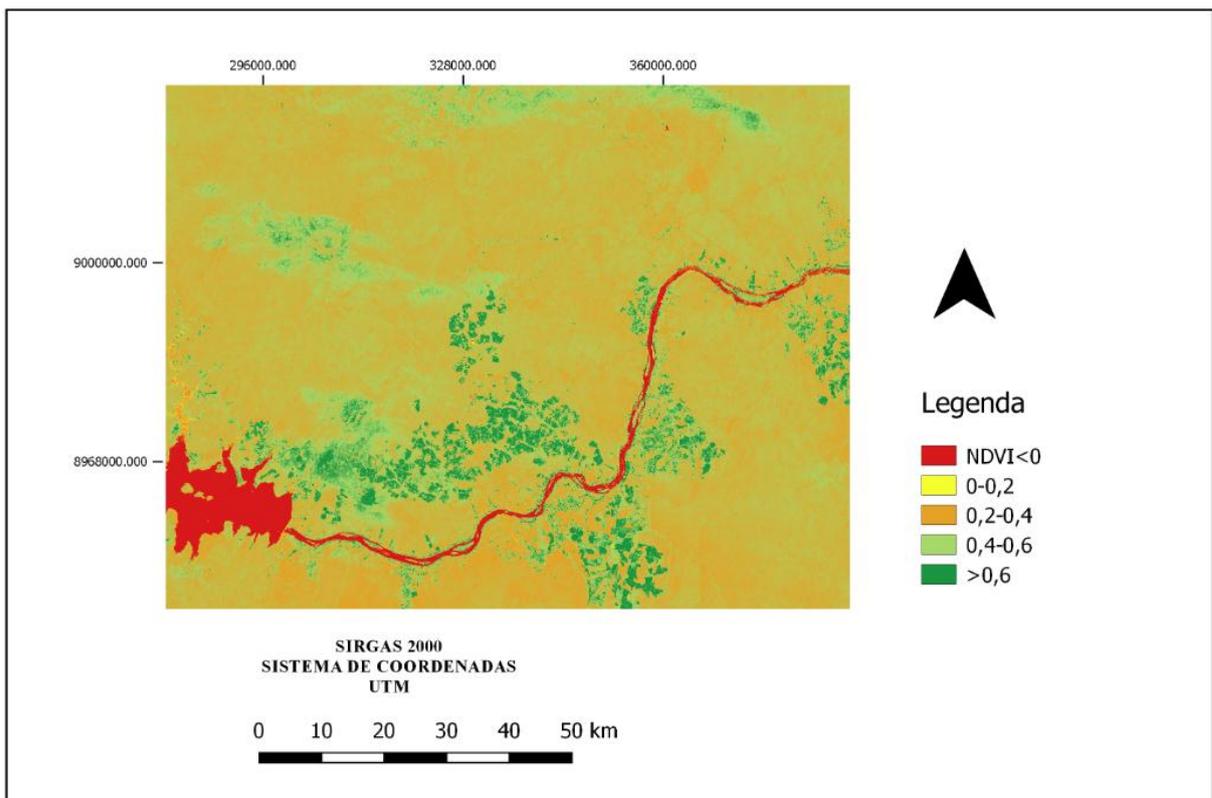
5.2 ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI)

Os índices de vegetação, entre eles o NDVI, apresentam-se como razões entre reflectâncias referentes às regiões do vermelho e do infravermelho próximo, sendo consideradas as bandas espectrais 3 (vermelho, faixa de 400 a 700nm) e 4 (infravermelho próximo, faixa de 700 a 1300nm) da imagem do Landsat por admitir que essas bandas são mais afetadas pela absorção da clorofila na folhagem de vegetação verde. O que eles registram serve como indicadores do crescimento e vigor da vegetação, podendo ser associados a vários parâmetros biofísicos da vegetação. Jensen (2009) afirma que o NDVI é importante por que, a partir de sua aplicação, podem ser observadas as variações sazonais e

interanuais da vegetação, contribuindo para o seu monitoramento, além de reduzir os ruídos multiplicativos (diferenças de iluminação solar, sombras de nuvens, algumas atenuações atmosféricas e algumas variações topográficas).

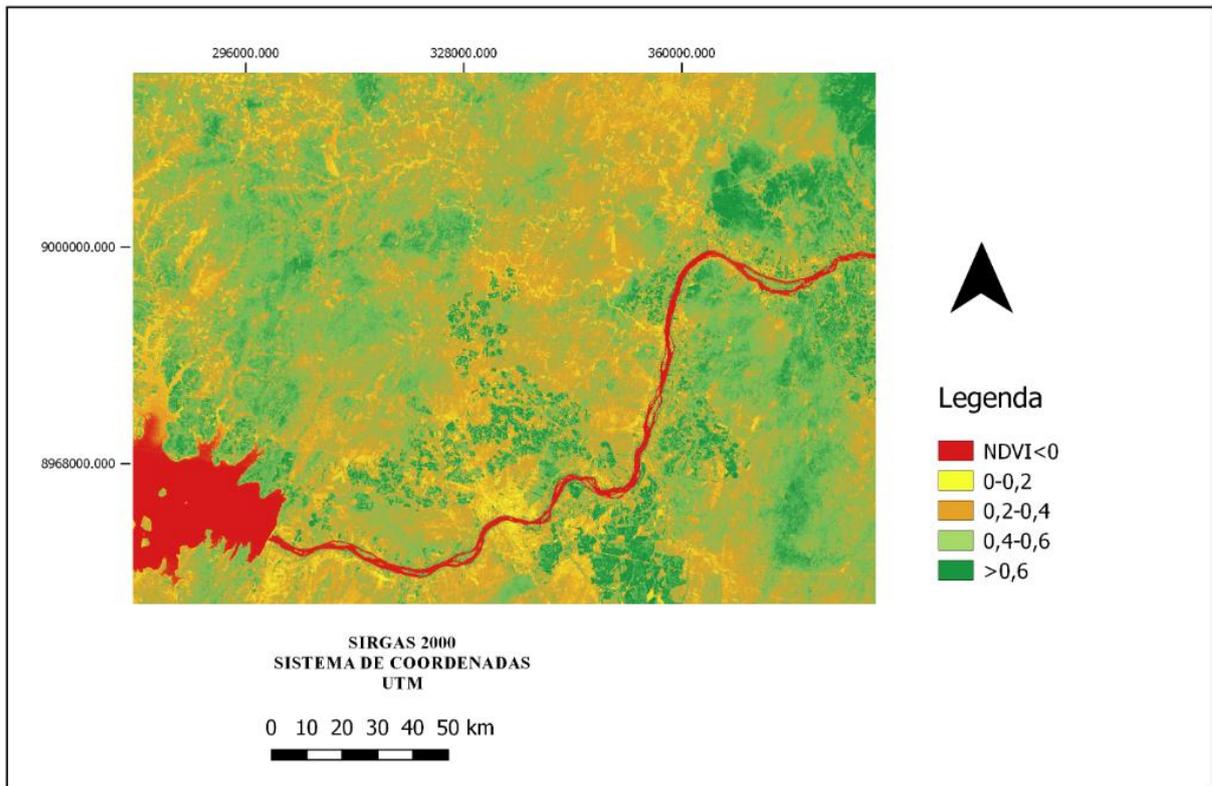
A Figura e Figura expressaram o NDVI processado para a área de estudo nos dias 04/11/2001 e 22/01/2007, onde a variação espacial do índice foi mensurada a partir da variação e intensidade de cores observadas em cada ponto da região.

Figura 6 – NDVI da área de estudo em 04/10/2001



Fonte: A Autora (2019).

Figura 7 – NDVI da área de estudo em 22/01/2007



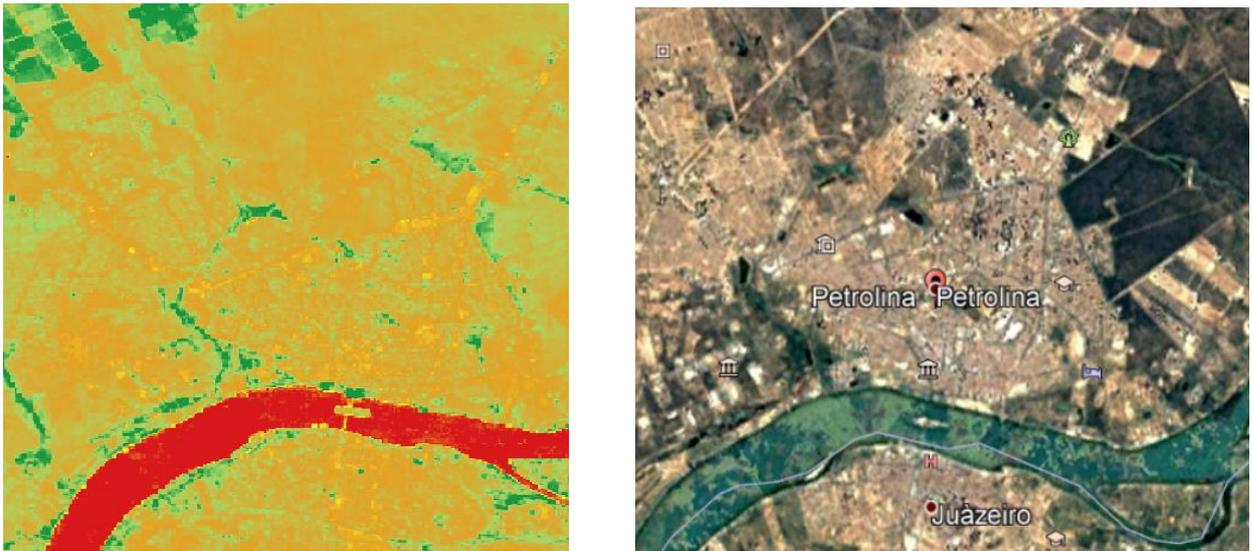
Fonte: A Autora (2019)

Os menores valores de NDVI foram encontrados para os centros urbanos, regiões constatadas através do Google Earth. Destacam-se os núcleos urbanos dos municípios de Petrolina e Lagoa Grande que apresentaram valores de NDVI menores que 0,2 tanto para o ano de 2001 como para o ano de 2007, ficando mais evidenciado no último ano mencionado, demonstrando, desta forma, uma maior concentração da população nos centros urbanos e um crescimento urbano significativo, dado, entre outros fatores, pelo crescimento da cultura dos perímetros irrigados e a maior demanda de empregos na região.

Os corpos hídricos, por sua vez, apresentaram valores menores de NDVI, sendo representados por valores negativos. Na região de estudo, os corpos hídricos de destaque são o Rio São Francisco, que apresenta trechos de NDVI menores que 0,2 em suas margens no ano de 2001, período de severa seca e que diminui esse índice no ano de 2007, representando uma retomada em seu volume; e a Barragem de Sobradinho que apresenta uma área superficial consideravelmente maior no ano de 2007. Se comparado os regimes de chuva na região com a áreas superficiais dos reservatórios, pode-se perceber que o volume da Barragem de Sobradinho é diretamente atingido pela grande seca ocorrida em 2001, tendo sua área

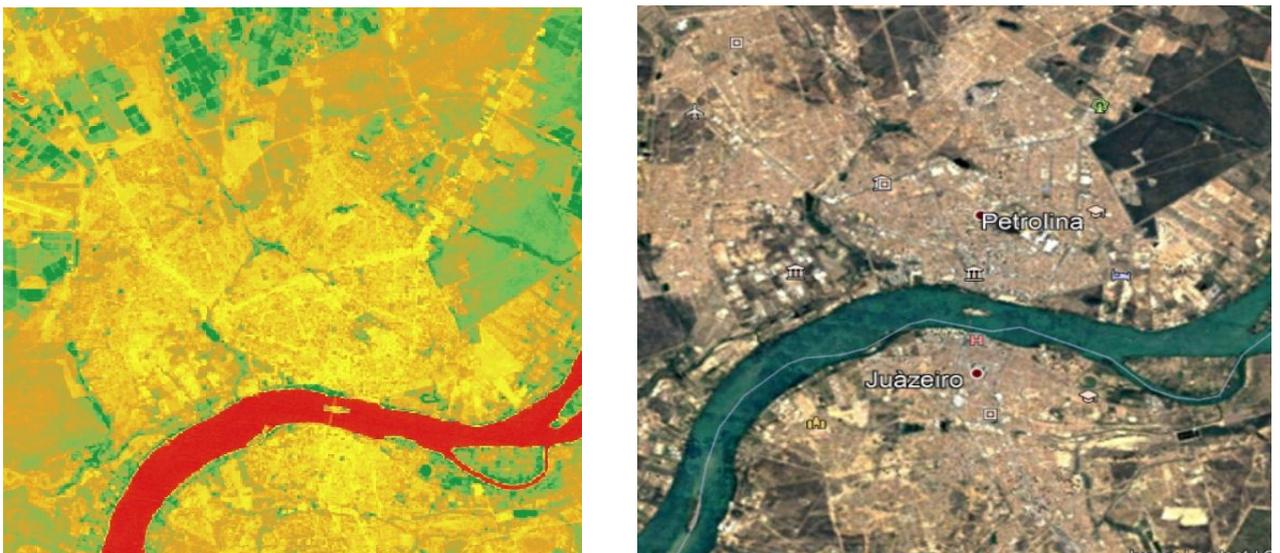
superficial abaixo, se comparado com o começo do ano de 2007, tendo em vista o acumulado de chuva ocorrido no ano de 2006 e que impactou no mês de janeiro do ano seguinte. As figuras de 8 a 17 evidenciaram a comparação entre estas áreas registradas nas cartas georreferenciadas de NDVI e as imagens de satélite para as áreas urbanas de Petrolina e Lagoa Grande e os corpos hídricos.

Figura 8 – Área urbana de Petrolina em 04/10/2001.



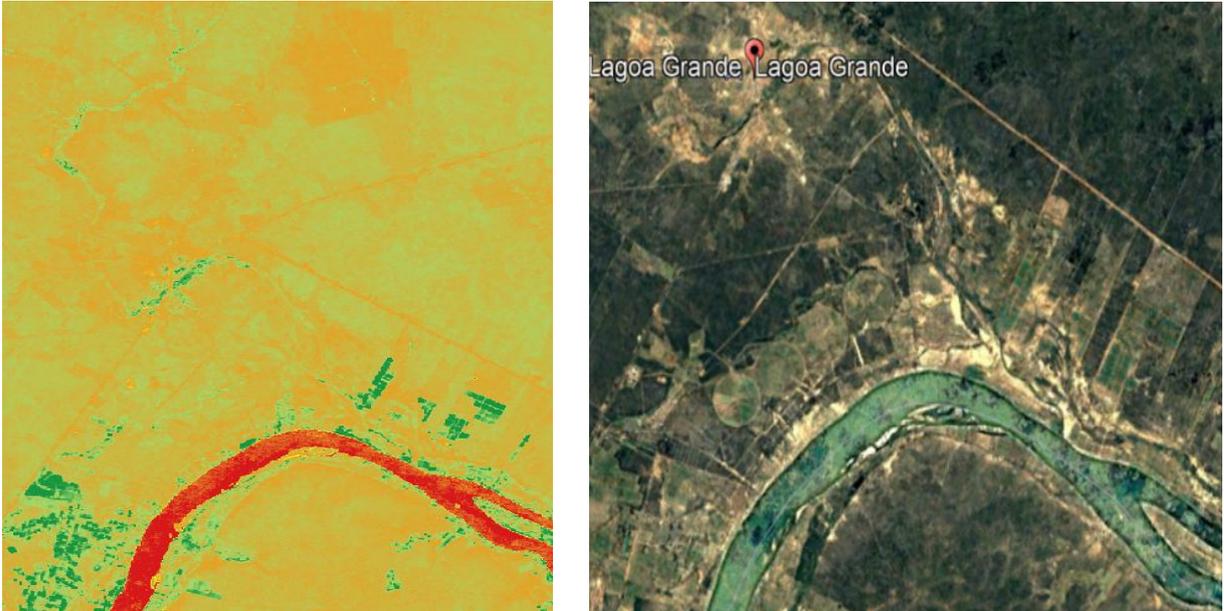
Fonte: A Autora (2019) /Google E..

Figura 9 – Área urbana de Petrolina em 22/01/2007



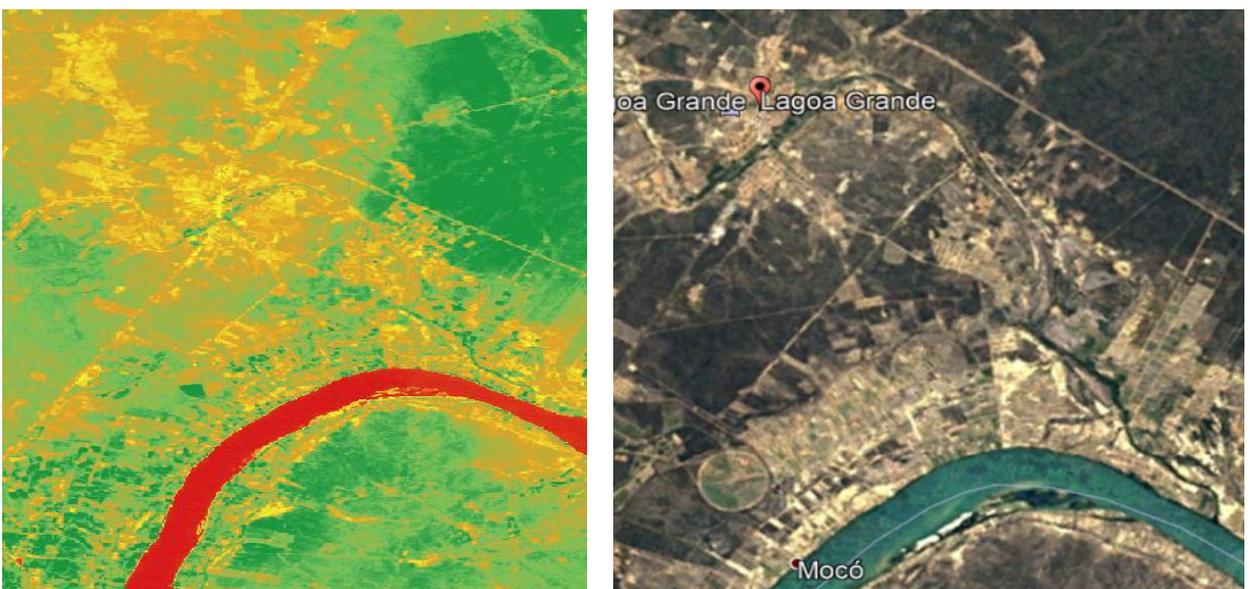
Fonte: A Autora (2019) / Google E.

Figura 10 – Área urbana de Lagoa Grande em 04/11/2001.



Fonte: A Autora (2019) /Google E.

Figura 11 – Área urbana de Lagoa Grande em 22/01/2007



Fonte: A Autora (2019) /Google E.

Os valores de NDVI oscilam entre -1 e 1, quanto mais próximo de 1, maior a densidade da cobertura vegetal (Costa et al., 2007). A água possui reflectância maior na banda 3 que na banda 4, logo, apresenta valores negativos, próximos de 0. O solo desnudo, ou com vegetação rala ou esparsa, apresenta valores positivos, mas não próximos de +1. Nesta situação, ocorre absorção da radiação na faixa do infravermelho próximo, justificando o baixo valor de NDVI nessas áreas (Poeking et al., 2007).

Através da análise das imagens, foi constatado o crescimento urbano do centro das cidades de Petrolina e Lagoa Grande, mas em contrapartida fica constatado também o crescimento vegetativo, através das cores verde escuro, representando valores de NDVI maiores que 0,6 que, segundo Huete & Tucker (1991) valores de NDVI maiores que 0,44 são regiões de vegetação em vigor.

A área de solos expostos também diminui de 2001 para 2007. Conforme Huete & Tucker (1991), os valores para os solos expostos são, geralmente, na faixa de 0,05 a 0,3, embora que as propriedades óticas do solo, não permitem definir um intervalo rigoroso de valores de NDVI para os solos com pouca ou nenhuma vegetação. Foi observado que no ano de 2001, há uma maior área com valores de NDVI na faixa de 0–0,4, caracterizando solos expostos, áreas construídas ou com pouca vegetação. No ano de 2007 predomina a faixa de NDVI que vai de 0,4 até valores que ultrapassam 0,6, indicando vegetação densa e crescimento da mata ciliar.

Os valores encontrados nesta pesquisa estão de acordo o estudo realizado por Nascimento *et al* (2018) que estudaram a área urbana do município de Caruaru-PE e obtiveram faixas de valores semelhantes aos encontrados neste trabalho.

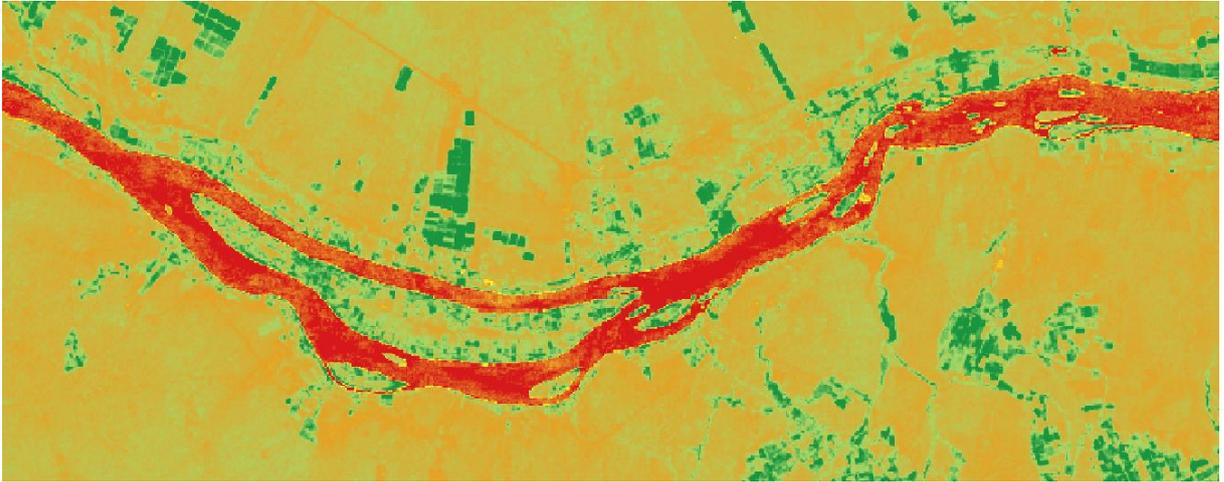
Nascimento *et al* (2019) encontraram valores de NDVI até 0,21 para área urbana do município de Riacho das Almas-PE, o que também condiz com os valores encontrados nesta pesquisa.

Ferreira *et al* (2012) analisaram o comportamento do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada no município de Petrolina através de imagens TM Landsat dos anos de 1991, 1992, 1998, 2000 e 2009. Através de uma análise minuciosa, foi observado que a vegetação da caatinga se comportou de acordo com a ocorrência de precipitações, tendo valores de NDVI maiores que 0,65 em anos onde houve maior volume de chuvas.

Arraes *et al* (2012) citaram que a presença expressiva de vegetação é uma resposta rápida da caatinga mediante as precipitações pluviométricas antecedentes, e passam a influenciar

diretamente o NDVI. A caatinga é conhecida pelo seu alto poder de resiliência, que se confirma pela formação da biomassa imediata em resposta aos eventos de chuva (Rodrigues et al., 2009).

Figura 12 – Corpo hídrico – Rio São Francisco em 04/11/2001



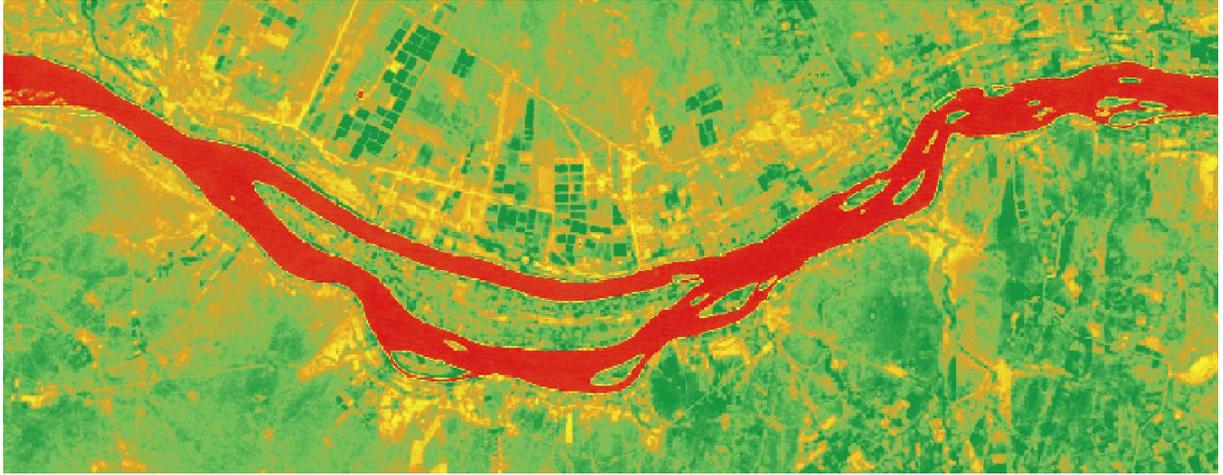
Fonte: A Autora (2019).

Figura 13 – Corpo hídrico – Rio São Francisco em 04/11/2001



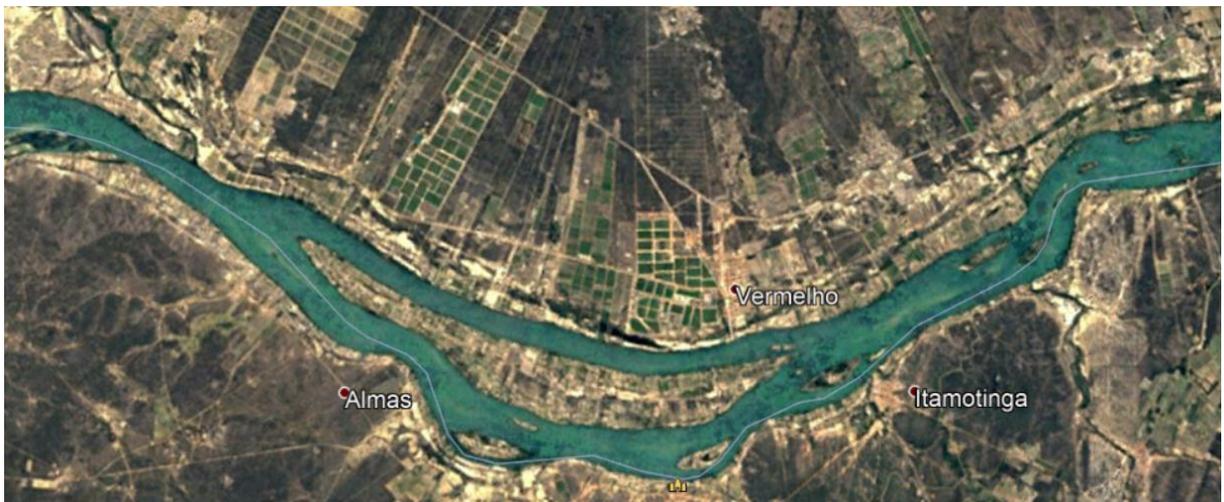
Fonte: Google E.

Figura 14 – Corpo hídrico – Rio São Francisco em 22/01/2007



Fonte: A Autora (2019).

Figura 15 – Corpo hídrico – Rio São Francisco em 22/01/2007



Fonte: Google E.

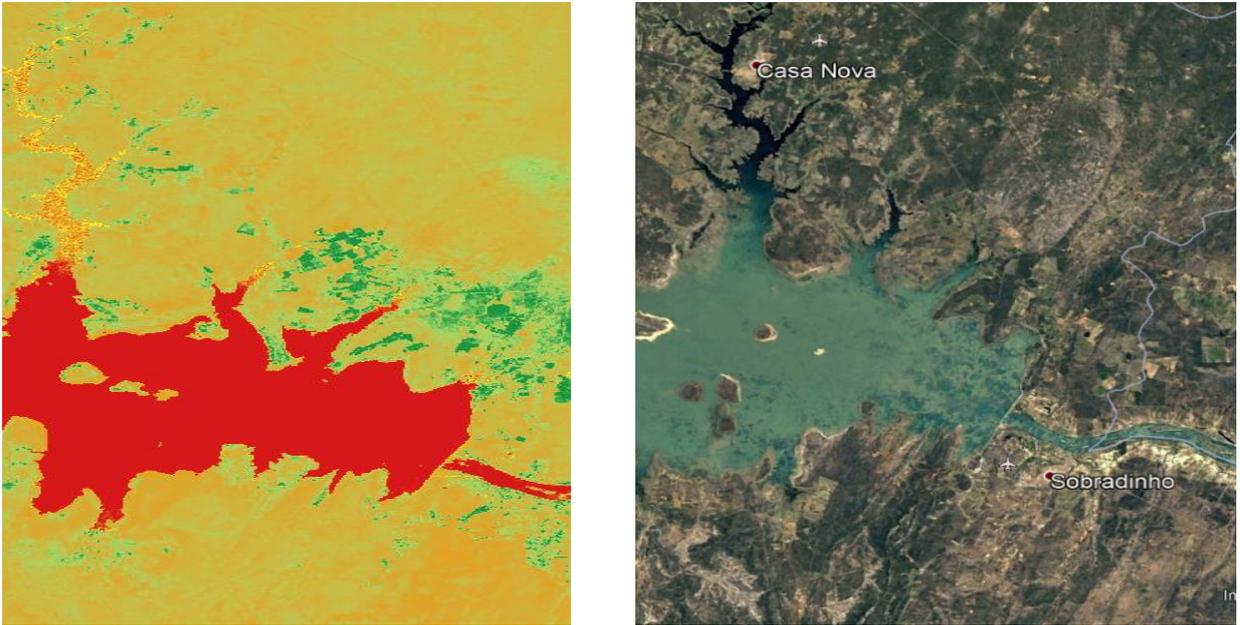
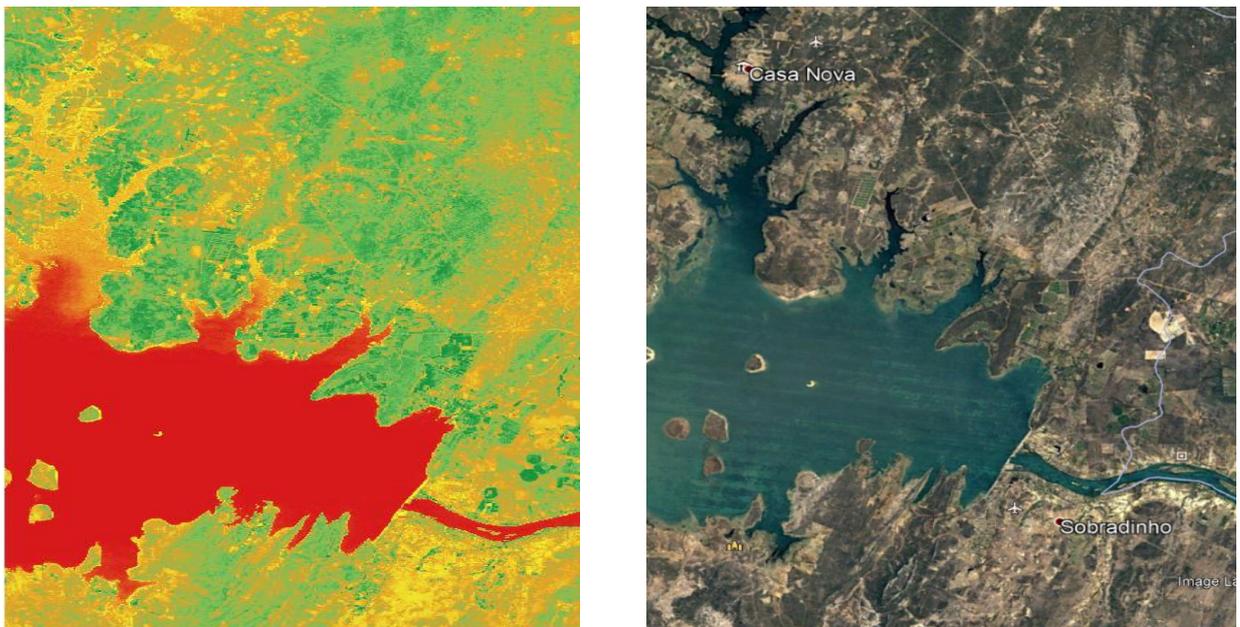


Figura 16 – Corpo hídrico – Barragem de Sobradinho em 04/11/2001
Fonte: A Autora (2019) /Google E.

Figura 17 – Corpo hídrico – Barragem de Sobradinho na data de 22/01/2007



Fonte: A Autora (2019) /Google E.

Em relação aos corpos hídricos, os mesmos apresentaram retomada de seus respectivos volumes dos anos de 2001 para o ano de 2007, demonstrando no último ano uma maior área de NDVI negativo.

Bacalhau *et al* (2017) estudaram o NDVI nos anos de 2011 e 2016 no Açude Algodões no Sertão de Pernambuco, localizado no município de Ouricuri, e chegaram a valores negativos ($NDVI < 0$) para corpos hídricos, assim como os valores encontrados nesta pesquisa para os reservatórios de Sobradinho e Rio São Francisco.

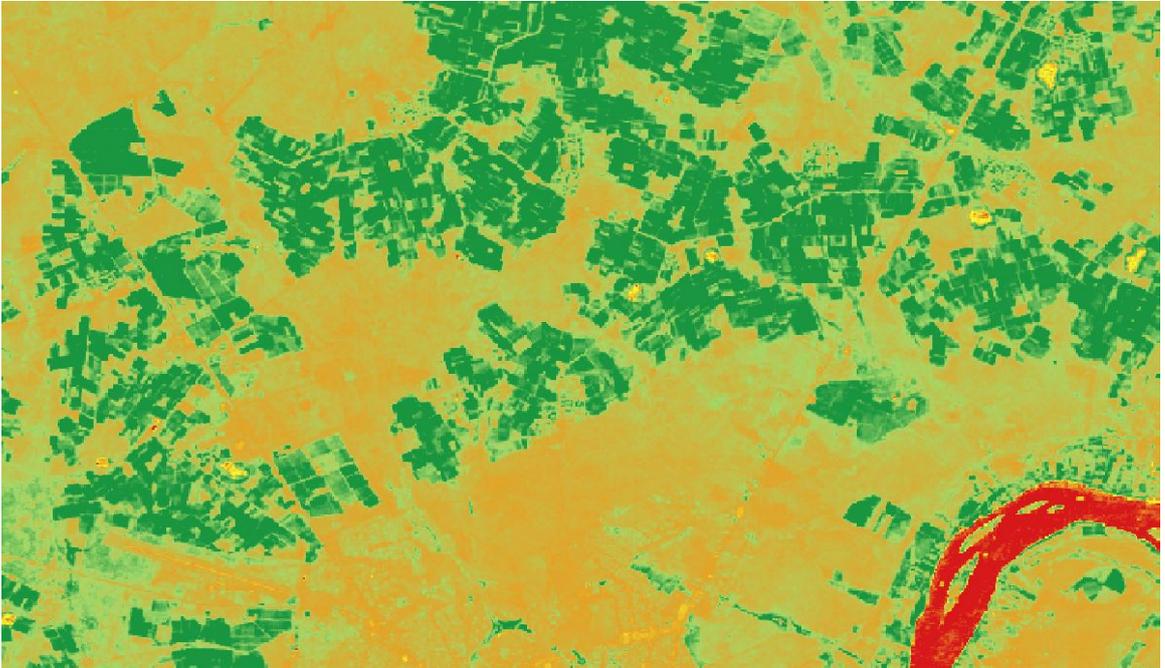
Almeida *et al* (2017), por sua vez, realizaram um estudo nos municípios de Inajá e Ibimirim, localizados na área central da bacia hidrográfica do Rio Moxotó com imagens dos anos de 2006 e 2010, onde foi observado valores negativos ($NDVI < 0$) no reservatório Poço da Cruz.

Rodrigues *et al* (2017) realizaram um estudo do índice de vegetação da parte sul do município de Petrolina utilizando as imagens obtidas do satélite TM Landsat-5 nos anos de 2003 e 2011, onde puderam observar valores negativos para NDVI devido a presença do Rio São Francisco que corta o município.

Foi verificado também a cultura dos perímetros irrigados, observados na região. Segundo Choudhury (1992), as características da vegetação natural da caatinga contrastam com as das culturas implantadas que apresentam alta atividade fotossintética e a dominância de poucas espécies. Este fato demonstra a capacidade do NDVI em diferenciar as áreas de agricultura irrigada da vegetação de caatinga em regiões semiáridas durante as épocas de estiagem.

A aplicação do NDVI para o período seco, ano de 2001, permitiu observar a expansão das áreas destinadas à agricultura irrigada, percebendo-se claramente o crescimento durante o período observado, que foi de 2001 a 2007. As Figuras 18 a 25 mostraram alguns dos perímetros irrigados da região.

Figura 18 – Áreas de perímetros irrigados próximos ao município de Petrolina em 04/10/2001



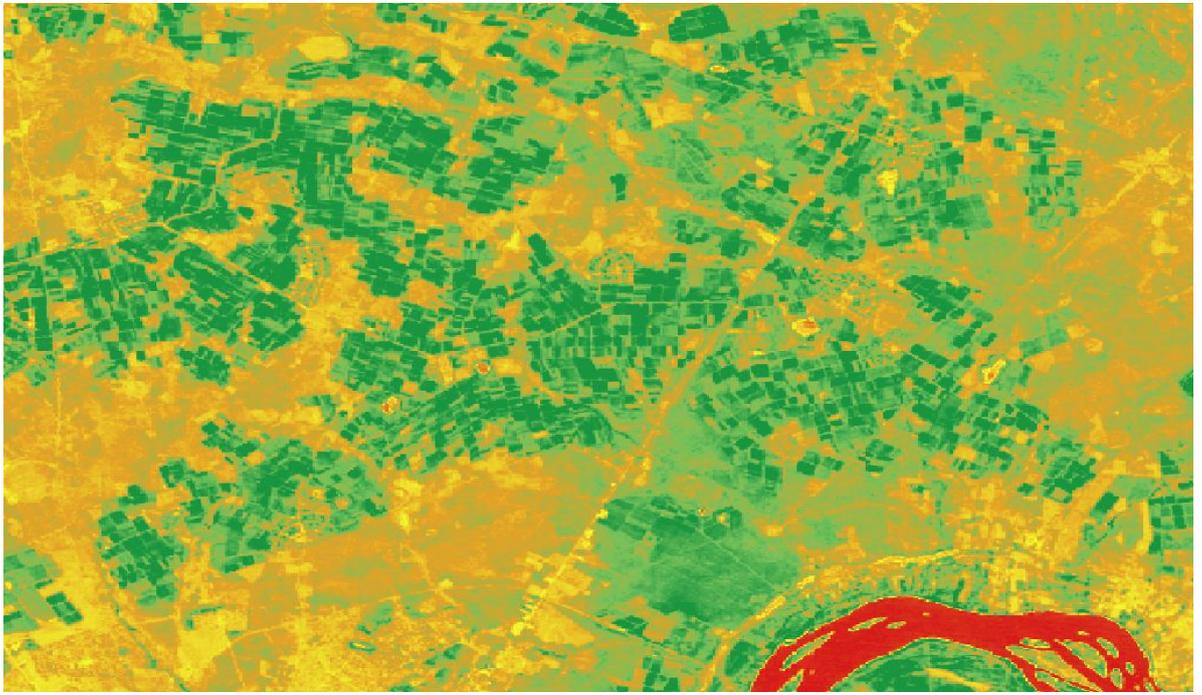
Fonte: A Autora (2019).

Figura 19 – Áreas de perímetros irrigados próximos ao município de Petrolina em 04/10/2001



Fonte: Google E.

Figura 20 – Áreas de perímetros irrigados próximos ao município de Petrolina em 22/01/2007



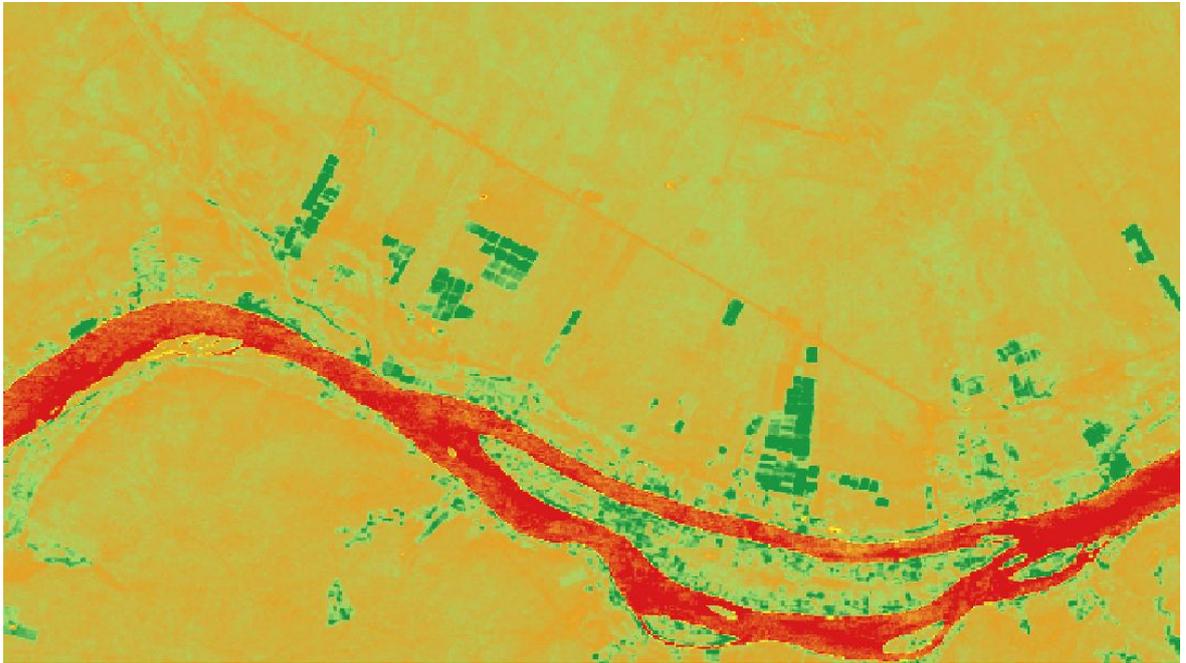
Fonte: A Autora (2019).

Figura 21 – Áreas de perímetros irrigados próximos ao município de Petrolina em 22/01/2007



Fonte: Google E.

Figura 22 – Áreas de perímetros irrigados próximos ao município de Lagoa Grande em 04/10/2001



Fonte: A Autora (2019)

Figura 23 – Áreas de perímetros irrigados próximos ao município de Lagoa Grande em 04/10/2001



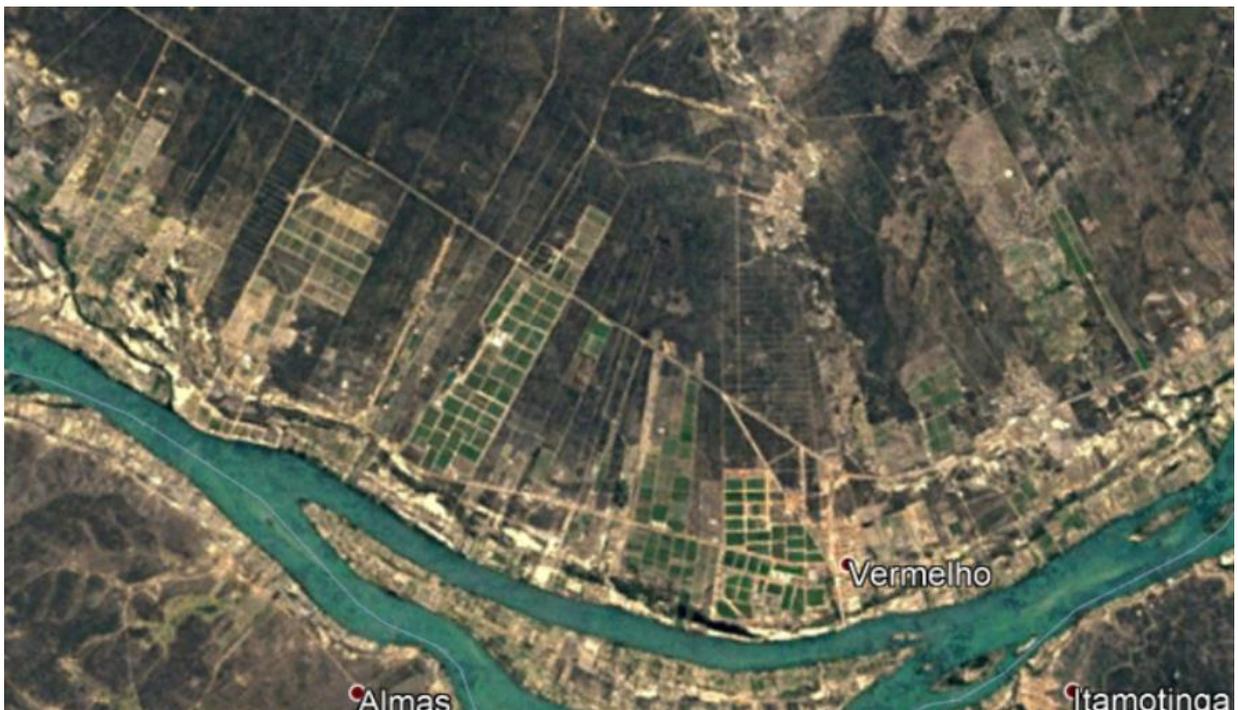
Fonte: Google E.

Figura 24 – Áreas de perímetros irrigados próximos ao município de Lagoa Grande em 22/01/2007



Fonte: A Autora (2019).

Figura 25 – Áreas de perímetros irrigados próximos ao município de Lagoa Grande em 22/01/2007



Fonte: Google E.

Os perímetros irrigados são uma realidade animadora para os produtores da região, por trazer esperança de prosperidade para o sertão, tão castigada pela seca. Atualmente o Polo Frutícola Petrolina/Juazeiro apresenta-se como um dos mais importantes centros econômicos no Sertão Pernambucano e Baiano, tem mais de 90% de produção exportada pela Europa, Estados Unidos e Japão, devido à alta qualidade de seus produtos. Configura-se como um centro de atração populacional consolidado, exercendo papel de líder na região concentrando os principais serviços, outrora encontrados apenas em Recife e Salvador. Através das imagens, observou-se um crescimento das áreas de perímetros irrigados do ano de 2001 para o ano de 2007 com valores de NDVI maiores de 0,65, tanto próximo do município de Petrolina como de Lagoa Grande, evidenciando o investimento na cultura de perímetros irrigados da região. Pode-se também correlacionar o aumento da urbanização com o crescimento dos perímetros, devido a imigração da população rural para a capital, em busca do emprego e renda.

Os valores mínimo, máximo e médio com relação a toda área de estudo adotada foram explicitados na Tabela 1.

Tabela 1 – Resultados do NDVI na área de estudo

Imagem	Mínimo	Máximo	Média
04/10/2001	-0,406	0,806	0,285
22/01/2007	-0,549	0,768	0,317

Com menor valor médio (0,285) para o dia 04/10/2001 e o maior valor médio (0,317) para o dia 22/01/2007, observou-se que houve um crescimento na média de NDVI. Este aumento na média do NDVI na região de estudo, se deve pelo crescimento das áreas com cobertura vegetal, causado tanto por investimentos nos perímetros irrigados, já mencionado acima, como pela presença de vegetação aos arredores do Rio São Francisco, demonstrando a revitalização vegetativa. Vale salientar que os eventos chuvosos observados no ano de 2006, com acúmulo de 345,1mm também influenciou para o crescimento da média do NDVI.

6 CONCLUSÕES

O Sensoriamento Remoto (SR) é uma importante ferramenta quando o assunto é Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). Com o SR foi possível o detalhamento de cada área de estudo, com separação das áreas mais vegetadas, das com pouca ou nenhuma vegetação, dos solos expostos e identificação dos corpos hídricos. Com estes estudos, foi possível realizar o monitoramento das áreas com vegetação degradada e direcionar os programas de preservação do meio ambiente.

Através do presente trabalho, foi possível se conhecer o comportamento da vegetação nas regiões dos municípios de Petrolina e Lagoa Grande e seus entornos, trazendo uma noção do crescimento vegetativo daquela área. Foi observado que, dos anos de 2001 até o começo do ano de 2007, houve um significativo aumento do valor médio de NDVI, que passou de 0,285 para 0,317, levando a concluir que a área de estudo passou por um período de revitalização da vegetação que, se comparado com os dados pluviométricos daqueles anos, pode-se perceber que este crescimento é diretamente proporcional ao aumento dos eventos chuvosos na região, ou seja, a vegetação da Caatinga comporta-se de acordo com a ocorrência de precipitação, tendo em anos mais secos, índices menores e em anos mais chuvosos, índices maiores.

Pode-se perceber também um crescimento das áreas de agricultura irrigada com valores de NDVI maiores que 0,6. Os perímetros irrigados foram criados como saída para os longos períodos de seca no Sertão, trazendo consigo a esperança de prosperidade para a mesorregião do Sertão Pernambucano. Com investimentos do Governo Federal e impulsionado pelo sucesso da exportação, o polo frutícola Petrolina/Juazeiro é uma promessa de crescimento econômico para o Semiárido Brasileiro, trazendo para a região um crescimento vegetativo e uma revitalização para uma área já tão castigadas pelos longos períodos de estiagem.

REFERÊNCIAS

Agência Pernambucana de Águas e Climas - APAC. Sistema de Informação Geográfica. Disponível em: <<http://www.apac.pe.gov.br/sighpe/>>. Acesso: maio de 2019.

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**, [S. l.], n.133, 380-394, 2007.

ALMEIDA, D.N.O.; OLIVEIRA, L.M.M.; CANDEIAS, A.L.B.; JÚNIOR, J.R.T.; NETO, A.R. Caracterização hídrica e uso do solo no sertão pernambucano por índice de vegetação. *In*: ENCONTRO INTERNACIONAL DAS ÁGUAS, 9., 2017, Recife. **Anais [...]**. Recife: [S. n.], 2017.

ALMEIDA, D.N.O.; OLIVEIRA, L.M.M.; SILVA, C.B.; BEZERRA, U.A.; FARIAS, M.O.; CANDEIAS, A.L.B.; **Análise das Bacias Hidrográficas do Rio Brígida, Rio Terra Nova e Grupo de Bacias de Pequenos Rios Interiores 9 (GI9) de Pernambuco usando índices de vegetação e umidade.** *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 26.; EXPOSICARTA, 24., 2017, Rio de Janeiro. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: [S. n.], 2017.

ARRAES, F. D. D.; ANDRADE, E. M.; SILVA, B. B. Dinâmica do balanço de energia sobre o açude Orós e suas adjacências. **Revista Caatinga**, [S. l.], v.25, n.1, p.119-127, 2012.

BACALHAU, J.R.; NETO, A.R.; OLIVEIRA, L.M.M.; Aplicação de índice de vegetação no monitoramento da seca: Açude Algodões no Sertão de Pernambuco. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, [S. l.], v. 02, n.03, 2017.

BARET, F.; GUYOT, G. Potential and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment. **Remote Sensing of Environment**, Toulouse, v. 35, p. 161-173, 1991.

BRASIL. MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL / CODEVASF - **Estudo de Impacto Ambiental – Projeto Pontal Norte. Projetec. Volume 1**, estudos preliminares, Brasil, 2007b.

BRASIL. MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL / CODEVASF - **Mais Irrigação é lançado por presidenta Dilma com previsão de investimento de R\$ 10 bi em 538 mil hectares e 16 estados.** *In*: <http://www.codevasf.gov.br/noticias/2007/mais-irrigacao-e-lancado-com-previsao-de-investimento-de-r-10-bi-em-538-mil-hectares-e-16-estados>. Brasil, 2007a. Acesso: maio 2019.

CHANDER, G.; MARKHAM, B. L.; HELDER, D. L. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. **Remote Sensing of Environment**, [S. l.], v. 113, p. 893–903, 2009.

CHOUDHURY, B.J. Multispectral satellite observations for arid land studies. **Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, [S. l.], v.47, p.101-126, 1992.

COELHO, V.H.R.; GUSMÃO, A.C.V.L.; MONTENEGRO, S.M.G.L.; SILVA, B.B.; VASCONCELOS, R.; OLIVEIRA, L.M.M. **Índices de vegetação e temperatura da superfície por sensoriamento remoto em bacia hidrográfica do semiárido brasileiro.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 21., 2015, Brasília. **Anais [...]** Brasília: [S. n.], 2015.

COSTA, F. H. S.; FILHO, C. R. S.; RISSO, A. **Análise temporal de NDVI e mapas potencias naturais de erosão na região do Vale do Ribeira, São Paulo.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, São José dos Campos. **Anais [...]** São José dos Campos: [S. n.], 2007.

CRÓSTA, A.P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto.** Campinas: UNICAMP, 1992. 170 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Principais Solos do semi-árido do nordeste do Brasil**, “dia de campo”, [S. l.], setembro, 2005.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Solo do Município de Lagoa Grande margem esquerda do Rio São Francisco, estado de Pernambuco.** In: < <https://www.embrapa.br/semiario/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/2558/solos-do-municipio-de-lagoa-grande-margem-esquerda-do-rio-sao-francisco-estado-de-pernambuco>>, 2012. Acesso: maio 2019.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Solos da margem esquerda do Rio São Francisco: Município de Petrolina, estado de Pernambuco.** Petrolina, 2010.

EPIPHANIO, J.C.N. et al. Índice de vegetação no sensoriamento remoto da cultura do feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 6, p. 445-454, 1996.

FERRAZ, P.; ÂNGULO FILHO, R.; PIEDADE, S. M. S.; MONTEIRO, R. O. C. **Influência do ângulo de visada na resposta espectral da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.).** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO (SBSR), 04., 2007, Florianópolis. **Anais [...]** Florianópolis: [S. n.], 2007.

FERREIRA, H. S.; SILVA, H. A.; OLIVEIRA, T. H.; NETO, R. X. M.; GALVÍNCIO, J. D.; PIMENTEL, R. M. M. (2011). **Avaliação dos parâmetros biofísicos da vegetação de caatinga e agricultura irrigada do município de Petrolina – PE através do NDVI, NDWI e Temperatura da Superfície.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba. **Anais [...]** Curitiba: [S. n.], 2011.

FERREIRA, J. M. S.; FERREIRA, H. dos S.; SILVA, H. A. da; SANTOS, A. M. dos; GALVÍNCIO, J. D. **Análise Espaço-Temporal da Dinâmica da Vegetação da Caatinga no Município de Petrolina- PE.** **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S. l.], pp. 904-922, 2012.

GURGEL, H.C.; FERREIRA, N.J.; & LUIZ, A.J.B. Estudo da variabilidade do NDVI sobre o Brasil, utilizando-se a análise de agrupamentos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, nº 1, 2003, p. 85-90.

HOLBEN, B. N.; TUCKER, C. J.; FAN, C. J. Spectral assessment of soybean leaf area and leaf biomass. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, [S. l.], v. 46, p. 651-656, 1980.

HUETE, A.R.; TUCKER, C.J. Investigation of soil influence in AVHRR red and near infrared vegetation index imagery. **International Journal of Remote Sensing**, [S. l.], v.12, p. 1223 – 1242, 1991.

LACERDA, M. A. D.; LACERDA, R. D. O Cluster da fruticultura no Polo Petrolina/Juazeiro. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**. ISSN 1519-5228. [S. l.], Volume 4 - Número 1- 1º Semestre 2004.

LILLESAND, T.M.; KIEFER, R.W. **Remote sensing and image interpretation**. 3. ed. United States of América: Marketing Manager, 1994.

LIMA, D.A. **Estudos Fitogeográficos de Pernambuco**. Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica, [S. l.], vol.4, p. 243-274, 2007.

LOPES, H.; CANDEIAS, A.L.B.; ACCIOLY, L.J.O.; SOBRAL, M. do C.M. & PACHECO, A.P. Parâmetros biofísicos na detecção de mudanças na cobertura e uso do solo em bacias hidrográficas. *In: Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, [S. l.], v.14, n.11, 2010a, p.1210-1219.

MARKHAM, B.L.; BARKER, L.L., Thematic mapper bandpass solar exoatmospherical irradiances. **Internacional Journal of Remote Sensing**, [S. l.], n.3, pp. 517-523, 1987.

MASCARENHAS, L. M. A.; FERREIRA, M. E.; FERREIRA, L.G. Sensoriamento Remoto como instrumento de controle e proteção ambiental: Análise da cobertura vegetal remanescente na Bacia do Rio Araguaia. **Sociedade & Natureza**, [S. l.], v. 21, n 1, p. 5-18, 2009.

MENEZES, R.S.C.; SAMPAIO, E.V.S.B. **Agricultura sustentável no Semiárido nordestino**. *In: OLIVEIRA, T.S.; ROMERO, R.E.; ASSIS JÚNIOR, R.N.; SILVA, J.R.C.S. (Ed.). Agricultura, sustentabilidade e o Semiárido*. Fortaleza: SBCE: UFC-DCS, 2000. p.20-46.

MOREIRA, M.A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 4 eds. atual. e ampl. Viçosa: UFV, 2011.

NOVO, E.M.L. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São José dos Campos, SP: E. Blücher, 1989. 308 p.

OKIN, G. S. Relative spectral mixture analysis — a multitemporal index of total vegetation cover. **Remote Sensing of Environment**, Toulouse, v. 106, p. 467-479, 2007.

ORTEGA, A.C.; SOBEL, T.F. **Desenvolvimento Territorial e Perímetros irrigados: Avaliação das Políticas Governamentais Implantadas nos Perímetros Irrigados Bebedouro e Nilo Coelho em Petrolina (PE)**. [S. l.], 2010

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

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos: A Silva Vieira Ed. 127 p., 2007.

PRADO, D.E. **As Caatingas da América do Sul**. In: LEAL, R.I.; TABARELLI, M.; SILVA, J.M.C. da. **Ecologia e conservação da Caatinga**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2003. 823p.

RIZZI, R.; FONSECA, E.L.da. **Análise da variação espacial e temporal do NDVI no Estado do Rio Grande do Sul através de imagens AVHRR**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10., 2001. Foz do Iguaçu. **Anais [...]** Foz do Iguaçu: [S. n.], 2001.

RODRIGUES, A. B.; CAVALCANTI, M. E. A.; GOUVEIA, J. F. M.; ALMEIDA, D. N. O.; OLIVEIRA, L. M. M. **Variabilidade da cobertura do solo por índices de vegetação no sertão de Pernambuco utilizando geoprocessamento**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDANTES DE ENGENHARIA CIVIL (ENEC), 6., Belo Horizonte, 2017. **Anais [...]** Belo Horizonte: [S. n.], 2017.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W., **Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation**. Prog. Rep. RSC 1978-1. Remote Sensing Cent., Texas A&M Univ., College Station, 1973.

SILVA, E.R.A.C.; MIRANDA, R.Q.; FERREIRA, P.S.; GOMES, V.P.; GALVINCIO, J.D.; **Estimativa do Estresse Hidrológico na Bacia Hidrográfica do Riacho do Pontal-PE**. [S. l] Caderno de Geografia, v.26, n.47, 2016.

TEIXEIRA, A. H. C. **Informações agrometeorológicas do Polo Petrolina, PE/Juazeiro, BA: 1963 a 2009**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010.

TUCKER, C. J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. **Remote Sensing of Environment**, [S. l], v. 8, p. 127-150, 1979.

NASCIMENTO, E.F.; OLIVEIRA, L. M. M.; BEZERRA, U.A.; ALMEIDA, D.N.O. **Dados de NDVI na análise de área urbana no município de Caruaru-PE.** *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, 7., 2018, Recife. **Anais [...]** Recife: [S. n.], 2018.