



UFRPE

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA FLORESTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL**

JADIENE MOURA DOS SANTOS

**ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO ÍNDICE DE UMIDADE DO
SOLO EM REGIÕES SEMIÁRIDAS A PARTIR DE DADOS DE
SENSORIAMENTO REMOTO**

**RECIFE-PE
2019**

JADIENE MOURA DOS SANTOS

**ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO ÍNDICE DE UMIDADE DO
SOLO EM REGIÕES SEMIÁRIDAS A PARTIR DE DADOS DE
SENSORIAMENTO REMOTO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte das exigências para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Dr. Emanuel Araújo Silva
Coorientadora: Dra. Cinthia Pereira de Oliveira

**RECIFE-PE
2019**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S237a

SANTOS, JADIENE MOURA DOS
ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO ÍNDICE DE UMIDADE DO SOLO EM REGIÕES SEMIÁRIDAS A
PARTIR DE DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO / JADIENE MOURA DOS SANTOS. - 2019.
41 f. : il.

Orientador: Emanuel Araújo Silva.
Coorientadora: Cinthia Pereira de Oliveira.
Inclui referências.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Bacharelado em
Engenharia Florestal, Recife, 2019.

1. Caatinga. 2. Landsat 8. 3. Parâmetros biofísicos. 4. Precipitação. I. Silva, Emanuel Araújo, orient. II. Oliveira,
Cinthia Pereira de, coorient. III. Título

CDD 634.9

JADIENE MOURA DOS SANTOS

**ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO ÍNDICE DE UMIDADE DO
SOLO EM REGIÕES SEMIÁRIDAS A PARTIR DE DADOS DE
SENSORIAMENTO REMOTO**

Aprovado em: 26 novembro de 2019

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Fabrício Marcos Oliveira Lopes
Departamento de Agronomia/UFRPE

Msc. Giselle Lemos Moreira
Departamento de Ciência Florestal/UFRPE

Orientador:

Prof. Dr. Emanuel Araújo Silva
Departamento de Ciência Florestal/UFRPE

**RECIFE-PE
2019**

“Porque dele e por ele, e para
ele, são todas as coisas [...]

Romanos 11:36

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, o autor e consumidor da minha fé, pelo grandioso presente que me deu “o dom da vida”. Sou grata a ele pela oportunidade de ter conseguido chegar até aqui, e com certeza ir mais adiante.

Aos meus pais Jadiael Francisco e Anelita Tavares, pessoas que Deus separou para cuidar de mim e me nortear no caminho da vida. Obrigada por todo amor, compreensão, confiança e incentivo, principalmente por acreditar em mim e no meu potencial. Aos meus irmãos Jeandson Moura e Jamile Moura por fazer parte da minha história e do meu sucesso.

À renomada Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) pela tamanha oportunidade de fazer parte do corpo discente do curso de engenharia florestal e pelo total apoio através do programa de residência estudantil o qual proporcionou a minha permanência na Universidade, oferecendo-me condições necessárias para o tão sonhado processo e sucesso de formação acadêmica. Obrigada por tudo minha RURALINDA!

À Professora Dra. Rejane Magalhães de Mendonça Pimentel pelo apoio inicial da minha carreira científica, por meio de suas orientações e experiência profissional.

Ao Professor Dr. Levy Paes Barreto pela oportunidade de ter sido monitora das disciplinas de Bioquímica vegetal e Química da madeira, arrecadando assim, uma experiência prática laboratorial.

Ao meu orientador Professor Dr. Emanuel Silva por toda confiança depositada em mim e ajuda quando solicitada.

À minha coorientadora Professora Dra. Cinthia Oliveira por todo apoio, atenção, orientação, por toda paciência, pelo carinho, por tamanho profissionalismo e imensa humildade. Agradeço imensamente pelas ótimas considerações e contribuições essenciais no presente trabalho.

Ao professor Dr. Fabrício Lopes pela confiança, paciência e orientação nos projetos de pesquisa de iniciação científica, pelo conhecimento compartilhado, pelo incentivo, por ser sempre bem esclarecedor, atencioso, principalmente pela disponibilidade em me ajudar da melhor forma possível e por fazer parte da banca examinadora do presente nesse trabalho de conclusão de curso.

À Msc Giselle Moreira pelo carinho, por tamanho profissionalismo e pela disponibilidade em fazer parte do corpo examinador.

Aos meus amigos da graduação e pós-graduação em geral, todos aqueles que foram meus parceiros dos jogos de dominó, no restaurante universitário, na monitoria, no grupo de práticas florestais (GPFlor), colegas de quarto e da residência estudantil. Agradeço em especial a Enggel Carmo, José Galdino, Renata Lacerda, Cayck Martins, Joselane Gomes, Anderson Silva, Débora Assunção, Jeane Rego, Thamires Vieira, Andrielly Caroline, Bruno Prudencio, Landson Carlos e José Lucas, por todo o momento de aprendizado e diversão.

À minha querida amiga Daniele Moraes, por todo carinho, incentivo, apoio e paciência, pelos conselhos e palavras de ânimo, por estar comigo nos momentos bons e ruins da minha vida, obrigada por tudo, você faz parte do meu sucesso.

Aos amigos da graduação Milena Pereira, M^a Clara Bezerra, Pétala Carvalho, Isabela Nascimento, Luiza Lucena, Sarah Fraga, Pedro Interaminense, Talita Lopes, Carlos Roberto e todos aqueles que foram companheiros nas disciplinas e nos estudos particulares.

Aos professores da UFRPE que participaram diretamente na minha formação acadêmica, em especial os professores do Departamento de Ciência Florestal (DCFL).

À prefeitura de Vitória de Santo Antão pela disponibilidade do transporte universitário o qual facilitou as idas a UFRPE e vindas para casa.

Muito OBRIGADA a todos....

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUÇÃO..... | 15 |
| 2. OBJETIVOS | 16 |
| 2.1 Geral..... | 16 |
| 2.2 Específicos..... | 16 |
| 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 17 |
| 3.1 Floresta tropical seca..... | 17 |
| 3.2 Geoprocessamento..... | 17 |
| 3.3 Sensoriamento remoto..... | 18 |
| 3.4 Satélite Landsat | 19 |
| 3.5 Índices de vegetação..... | 20 |
| 3.6 Temperatura da superfície..... | 21 |
| 3.7 Umidade do solo..... | 21 |
| 4. MATERIAL E MÉTODO | 23 |
| 4.1 Área de Estudo | 23 |
| 4.2 Dados Orbitais..... | 24 |
| 4.3 Dados pluviométricos..... | 24 |
| 4.4 Classificação dos anos..... | 24 |
| 4.5 Pré-processamento das imagens..... | 25 |
| 4.6 Processamento das imagens | 25 |
| 4.6.1 Índices de vegetação..... | 25 |
| 4.6.2 Emissividade da superfície..... | 26 |
| 4.6.3 Temperatura da superfície..... | 26 |
| 4.6.4 Umidade do solo..... | 26 |
| 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 28 |
| 5.1 Precipitação pluvial anual e Classificação dos anos | 28 |
| 5.2 Precipitação mensal..... | 29 |
| 5.3 Índice de vegetação da diferença normalizada - NDVI | 30 |
| 5.4 Temperatura da superfície - Ts..... | 31 |
| 5.5 Índice de Umidade do Solo - IUS | 32 |
| 5.6 Distribuição da nuvem de pontos de IUS com NDVI e Ts | 33 |
| 6. CONCLUSÃO..... | 35 |
| 7. REFERÊNCIAS | 35 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1: Mapa de localização da área de estudo..... | 23 |
| Figura 2: Precipitação mensal (barras vermelhas) em relação as normais climatológicas (barras azuis) dos anos 2015 a 2018 para o município de Floresta/PE | 29 |
| Figura 3: Índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) nas datas: A. 21/11/2015; B. 23/11/2016; C. 12/12/2017 e D. 13/11/2018 | 30 |
| Figura 4: Temperatura da Superfície (Ts) em graus Celsius, nas datas: A. 21/11/2015; B. 23/11/2016; C. 12/12/2017 e D. 13/11/2018 | 31 |
| Figura 5: Índice de umidade do solo (IUS) nas datas: A. 21/11/2015; B. 23/11/2016; C. 12/12/2017 e D. 13/11/2018..... | 33 |
| Figura 6: Distribuição da nuvem de pontos de IUSxNDVI e IUSxTs nas datas: A. 21/11/2015; B. 23/11/2016; C. 12/12/2017 e D. 13/11/2018 | 34 |

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Dados de entrada no instante da passagem do satélite. GMT = Tempo Médio de Greenwich = três horas a menos do horário de Brasília. (GMT – 3 = Hora de Brasília). DJ = Dia Juliano..... 24

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Precipitação anual e classificação dos anos em: Secos (S), Normais (N) e Chuvosos (C) no período de 1999 a 2018 para o município de Floresta/PE..... 28

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|---------|--|
| NASA | Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço |
| APAC | Agência pernambucana de águas |
| DJ | Dia Juliano |
| ERTS | <i>Earth Resources Technology Satellite</i> |
| FTS | Florestas tropicais secas |
| IAF | Índice de área foliar |
| IUS | Índice de umidade do solo |
| IV's | Índices de vegetação |
| NDVI | Índice de vegetação da diferença normalizada |
| SAVI | Índice de vegetação ajustado ao solo |
| LANDSAT | <i>Land Remote Sensing Satellite</i> |
| OLI | <i>Operational Land Imager</i> |
| QGIS | Quantum Gis |
| TDR | Reflectometria no Domínio do Tempo |
| SR | Sensoriamento remoto |
| SIG | Sistemas de informação geográfica |
| SLC | <i>Scan Line Correction</i> |
| GMT | Tempo Médio de Greenwich |
| Ts | Temperatura da superfície |
| TIRS | <i>Thermal Infrared Sensor</i> |
| US | Umidade do solo |

LISTA DE SÍMBOLOS

| | |
|-------------------|---|
| C | Chuvosos |
| ϵ_0 | Emissividade de superfície |
| L | Fator de ajuste do solo |
| °C | Graus Celsius |
| IUSndvi | Índice de umidade do solo com base no NDVI |
| IUS _{ts} | Índice de umidade do solo com base na Temperatura da Superfície |
| NDVImax | Índice de vegetação da diferença normalizada Máximo |
| NDVimin | Índice de vegetação da diferença normalizada Mínimo |
| IV | Infravermelho próximo |
| K | Kelvin |
| N | Normais |
| $L_{\lambda,10}$ | Radiância monocromática utilizando a banda 10. |
| S | Secos |
| T _{sc} | Temperatura da superfície em Celsius |
| T _{sk} | Temperatura da superfície em Kelvin |
| T _{smax} | Temperatura da superfície máxima |
| T _{smin} | Temperatura da superfície mínima |
| X ₁ | Valor máximo de precipitação |
| X ₂ | Valor mínimo de precipitação |
| V | Vermelho |

RESUMO

A umidade do solo representa uma fração de água que está num nível da superfície da terra onde há interação com atmosfera através da evapotranspiração. Ela é variável fundamental no funcionamento de diversos processos que atuam no sistema terrestre, além de caracterizar a desertificação de regiões semiáridas e áridas. Esse trabalho de conclusão de curso teve como objetivo avaliar a distribuição espacial do índice de umidade do solo em área de floresta tropical seca, no município de Floresta/PE, por meio de imagens orbitais. A metodologia foi aplicada para quatro datas distintas (21/11/15, 23/11/16, 12/12/17 e 13/11/18) e o processamento dos dados para obtenção do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), Temperatura da Superfície (Ts) e Índice de Umidade do Solo (IUS) foi realizado no software Qgis. Além disso, foram realizadas a classificação da série temporal da precipitação anual do município de Floresta/PE em anos secos, normais ou chuvosos, utilizando método dos quantis e a análise da precipitação mensal em relação as normais climatológicas de 2015 a 2018, por meio dos dados obtidos no site da APAC. Por fim, foi feita a distribuição da nuvem de pontos entre IUSxNDVI e IUSxTs. Os resultados mostraram que a classificação no período de 1999 a 2018 oito anos se comportaram como normais e seis anos como secos e chuvosos, onde os valores para os anos secos variaram de 149,50 a 349,20mm, os normais de 392,70 a 538,1mm e os chuvosos de 559,10 a 750,60mm. Para os anos de 2015, 2016, 2017 e 2018 os valores de precipitações mensais acumuladas foram de 223,00mm, 395,10mm, 399,20mm e 653,50mm, respectivamente. Os valores de NDVI no solo exposto mais vegetação rala variaram de 0,124 a 0,323, na vegetação arbórea entre 0,351 a 0,649 e nos corpos hídricos entorno -0,072. Na temperatura da superfície foram encontrados valores mínimos de 23,80°C e máximos de 44,93°C. Para o índice de umidade do solo foram encontrados valores de 0,240 em solo exposto e vegetação rala, 0,417 a 0,746 na vegetação arbórea e 0,821 na água. Na distribuição da nuvem de pontos de IUS com parâmetros biofísicos NDVI e Ts observou-se que 2015 e 2016 não ocorreram presença pixels na região negativa do NDVI e os pixel de Ts ficaram acima dos 40°C. Por outro lado, em 2017 e 2018 devido a presença de água houve uma redução na Ts, onde a maioria dos pixels ficaram abaixo dos 40°C. O método dos Quantis permitiu identificar num intervalo de vinte anos um padrão irregular entre anos classificados como secos, normais e chuvosos. A precipitação mensal dos quatros mostrou grande variabilidade em relação as normais climatológicas do município. O NDVI permitiu identificar a presença de corpos hídricos, solo exposto com vegetação de caráter herbáceo e arbóreo na fazenda Itapemirim/PE. A obtenção dos baixos valores de temperatura da superfície nas datas imageada estão associados aos altos valores de NDVI e de umidade do solo. Os valores do IUS foram inferiores no solo exposto e mais expressivos na água e sob a vegetação arbórea, devido a rápida resposta das florestas tropicais secas no período de chuva durante a data do imageamento. A distribuição da nuvem de pontos mostrou-se um comportamento crescente para IUSxNDVI e inverso para IUSxTs.

Palavras-chave: Caatinga, Landsat 8, Parâmetros biofísicos, Precipitação.

ABSTRACT

Soil moisture represents a fraction of water that is at a surface level of the earth where there is interaction with the atmosphere through evapotranspiration. It is a fundamental variable in the functioning of several processes that act in the terrestrial system, besides characterizing the desertification of semiarid and arid regions. This course conclusion work aimed to evaluate the spatial distribution of the soil moisture index in a dry tropical forest area, in the city of Floresta/PE, through orbital images. The methodology was applied for four distinct dates (11/21/15, 11/23/16, 12/12/17 and 11/13/18) and data processing to obtain the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Surface Temperature (Ts) and Soil Moisture Index (IUS) were performed using Qgis software. In addition, the time series of the annual precipitation of the municipality of Floresta / PE were classified into dry, normal or rainy years, using the quantile method and the monthly precipitation analysis in relation to the climatological normals from 2015 to 2018, using the data obtained from the APAC website. Finally, the point cloud distribution was distributed between IUSxNDVI and IUSxTs. The results showed that the classification from 1999 to 2018 eight years behaved as normal and six years as dry and rainy, where the values for dry years ranged from 149.50 to 349.20mm, the normal ones from 392.70 to 538.1mm and the rainy ones from 559.10 to 750.60mm. For the years 2015, 2016, 2017 and 2018, the accumulated monthly precipitation values were 223.00mm, 395.10mm, 399.20mm and 653.50mm, respectively. The NDVI values in exposed soil plus thin vegetation ranged from 0.124 to 0.323, in arboreal vegetation between 0.351 to 0.649 and in surrounding water bodies -0.072. At surface temperature, minimum values of 23.80 ° C and maximum values of 44.93 ° C were found. For the soil moisture index, 0.240 were found in exposed soil and thin vegetation, 0.417 to 0.746 in tree vegetation and 0.821 in water. In the distribution of the IUS point cloud with NDVI and Ts biophysical parameters, it was observed that 2015 and 2016 had no pixels in the negative NDVI region and Ts pixels were above 40 ° C. On the other hand, in 2017 and 2018 due to the presence of water there was a reduction in Ts, where most pixels were below 40 ° C. The Quantis method allowed to identify in an interval of twenty years an irregular pattern between years classified as dry, normal and rainy. The monthly precipitation of the four showed great variability in relation to the climatological normal of the municipality. The NDVI allowed to identify the presence of water bodies, exposed soil with herbaceous and arboreal vegetation in the farm Itapemirim / PE. The achievement of low surface temperature values on the imaged dates is associated with high NDVI and soil moisture values. IUS values were lower in exposed soil and more expressive in water and under tree vegetation, due to the rapid response of dry tropical forests during the rainy season during the imaging date. Point cloud distribution showed increasing behavior for IUSxNDVI and inverse for IUSxTs.

Keywords: Caatinga, Landsat 8, Biophysical parameters, Precipitation.

1. INTRODUÇÃO

O semiárido brasileiro abrange boa parte da área dos estados da região do Nordeste (Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia) incluindo também o Norte de Minas Gerais (RAMALHO e GUERRA, 2018). É caracterizado por possuir um longo período de escassez de chuva, vegetação tropical seca (caatinga), altas temperaturas que ocasionam elevadas taxas de evaporação dos corpos hídricos e da umidade do solo (US) (ANDRADE, 2017).

A US é representada por uma fração de água que está num nível da superfície da terra onde há interação com atmosfera através da evapotranspiração (KITE e PIETRONIRO, 1996). Na região semiárida brasileira informações sobre US é bastante carente (BEZERRA *et al.*, 2011), mesmo sabendo que sua disponibilidade é um dos principais fatores limitantes para os processos biológicos, ecológicos, hidrológicos e atmosféricos, além de caracterizar a desertificação de regiões semiáridas e áridas (LIU *et al.*, 2005; DUANYANG *et al.*, 2009; ÁVILA *et al.*, 2010).

Segundo a literatura, a umidade do solo pode ser obtida por meio de métodos diretos ou indiretos. Os métodos diretos mais conhecidos são: sonda de nêutron, Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR), tensiométricos, gravimétricos e higrométricos (GOMES, 2016). Porém, essas técnicas tradicionais de medidas são pontuais, não levam em consideração a variabilidade espacial e temporal típica desse parâmetro, são complexas, onerosas e difíceis de serem aplicadas em um estudo regional (MAFFRA e CENTENO, 2016). Além disso, as variações locais do relevo, das propriedades do solo e da cobertura vegetal dificultam bastante a obtenção pontual dessa medida (HEMAKUMARA *et al.*, 2007). Diante dessa problemática, surge então o sensoriamento remoto, uma técnica indireta que proporciona uma análise e monitoramento em larga escala, minimizando custo e tempo na aquisição de dados.

O uso de modernos sensores orbitais de satélites tem facilitado a coleta de dados da superfície da terra. Esses dados podem ser utilizados como entradas em algoritmos específicos que fornecem produtos como índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) e temperatura da superfície (Ts), indispensáveis para o acompanhamento e monitoramento do planeta (LOPES *et al.*, 2011). A combinação desses parâmetros biofísicos (NDVI e Ts) fornecem informações essenciais para quantificação espacial e temporal da umidade do solo (LEITE, 2016).

2. OBJETIVO

2.1 Geral

Avaliar a distribuição espacial do índice de umidade do solo em área de floresta tropical seca, no município de Floresta/PE, por meio de imagens orbitais.

2.2 Específicos

- Classificar a série temporal da precipitação anual de 1999 a 2018 do município de Floresta/PE em anos normais (N), secos (S) e chuvosos (C) utilizando o método dos Quantis;
- Analisar a variabilidade da precipitação pluvial mensal em relação as normais climatológicas de 2015 a 2018;
- Estimar e analisar a distribuição espacial do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), Temperatura da Superfície (Ts) e Índice de Umidade do Solo (IUS) utilizando imagens do Landsat-8;
- Relacionar as imagens de índice de umidade do solo com os parâmetros biofísicos NDVI e Ts.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Floresta tropical seca

As Florestas Tropicais Secas (FTS), conhecidas popularmente como “Matas secas”, são definidas como um tipo de vegetação tipicamente dominada por árvores decíduas, que durante a estação seca do ano o aumento do grau de perda das folhas (superior a 50%) é notório (ESPÍRITO-SANTO *et al.*, 2006).

De acordo com a literatura, as FTS ocorrem em regiões que possui um clima sazonal de curta estação chuvosa e uma longa estação seca, onde a temperatura média maior ou igual a 25°C e precipitação anual média variando entre 700 e 2000 mm ao ano (SANTOS *et al.*, 2010; SÁNCHEZ-AZOFEIFA *et al.*, 2005). A distribuição sazonal da precipitação nas FTS, pois ela influencia diretamente nos processos de dispersão, germinação e estabelecimento de espécies (LIMA *et al.*, 2008; LARCHER, 2000).

Segundo Gonçalves (2015), as FTS podem ocorrer em regiões planas, sobre solos mais profundos, como também em terrenos declivosos, com grande quantidade rochas afloradas. Essa interação solo-planta influencia diretamente no teor de água disponível para planta e na característica fisiológica da mesma (SANTOS e CARLESSO, 2008).

No nordeste do brasileiro, as FTS são representadas pela Caatinga, que segundo dados do IBGE (2004), esse tipo de floresta equivale aproximadamente 10% do território nacional, é um dos ecossistemas menos protegido, mesmo possuindo uma biodiversidade elevada da fauna e da flora (DART *et al.*, 2008).

3.2 Geoprocessamento

Considerado como uma forma inovadora decorrente do avanço tecnológico, o geoprocessamento surge a partir da necessidade humana de expandir, representar, planejar e analisar seu espaço geográfico, proporcionando acesso às informações de forma rápida e prática para determinado fim. Câmara *et al.* (2001) comentam que geoprocessamento é um conjunto de instrumentos necessário para obtenção, manipulação e armazenamento de dados georreferenciados

que possibilita o planejamento e monitoramento das questões ligadas ao espaço físico geográfico por meio de arquivos digitais.

Rosa (2013) define geoprocessamento como um conjunto de tecnologias destinadas a coleta e tratamento de informações espaciais, podendo ser aplicado por profissionais que trabalham com cartografia digital, sensoriamento remoto (SR) e sistemas de informação geográfica (SIG), possibilitando o desenvolvimento de atividades em diversas áreas do conhecimento.

A utilização de um SIG é de grande importância no controle e monitoramento ambiental, visto que pode proporcionar, além do armazenamento de imagens e informações, o cruzamento destes, permitindo assim uma visão mais ampla do local em estudo (OLIVEIRA *et al.*, 2008).

3.3 Sensoriamento remoto

Devido as contínuas mudanças no planeta Terra e seus recursos naturais, a utilização de técnicas de sensoriamento remoto surge como uma alternativa efetiva e econômica, fundamental para a análise e monitoramento em escala regional de diversos fenômenos ambientais e meteorológicos com mais facilidade e praticidade (LOPES *et al.*, 2011; SAUSEN, 2010; MENESES, 2012).

O sensoriamento remoto é definido como uma técnica que visa à obtenção de informação do objeto sem que haja a necessidade da proximidade física entre o fenômeno/objeto estudado e o coletor dessas informações (MENESES *et al.*, 2012). Técnica esta que envolve a detecção, aquisição e análise da energia eletromagnética emitida ou refletida pelos objetos terrestres registrada por sensores remotos acoplados em satélites, possibilitando a geração de imagens (NICÁCIO, 2008; FLORENZANO, 2002).

De acordo com a literatura, existem dois tipos de sensores, os passivos e os ativos. Os passivos são aqueles que necessitam de uma fonte de iluminação natural (energia solar) ou artificial (lâmpada) que possibilite a captura da energia refletida dos alvos em forma de ondas eletromagnéticas (MEIRELES, 2007). Os sensores ativos possuem uma fonte própria de iluminação, permitindo o imageamento do alvo desejado (OLIVEIRA, 2010).

Imagens oriundas de sensores possuem alguns parâmetros essenciais que podem definir sua escolha, dentre eles podemos citar:

Resolução espectral: é definida pelo número de bandas espectrais de um sistema 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 capacidade do sistema sensor discernir as variações no comportamento espectral do alvo (PEREIRA, 1997).

Resolução espacial: relacionada com a capacidade do sensor distinguir e medir os alvos na superfície terrestre, ou seja, quanto maior a resolução, menor são os detalhes do objeto (FLORENZANO, 2002).

Resolução radiométrica: está associado à sensibilidade do sistema sensor em distinguir níveis de cinza, e quanto maior o número desses níveis, maior será a resolução (LOURENÇO, 2010).

Resolução temporal: está relacionada a frequência de passagem do sensor num mesmo local em um determinado intervalo de tempo (PEREIRA, 1997).

Largura de faixa imageada (faixa de varredura): é uma característica que varia de acordo com o satélite imageador (ROCHA, 2000). Ex: no satélite Landsat a largura da faixa de imageamento é de 185km (ENGESAT, 2019).

3.4 Satélite Landsat

Na segunda metade da década de 60, inicialmente denominado de ERTS (*Earth Resources Technology Satellite*), a série que teve seu nome alterado em 1975 para LANDSAT (*Land Remote Sensing Satellite*), surgiu a partir de um projeto desenvolvido pela Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço (NASA), cuja finalidade era a observação dos recursos naturais terrestres. Em 1972 foi lançado o primeiro satélite ERTS-1 (LANDSAT-1), o mesmo operou por um período de cinco anos adquirindo mais de 300 mil imagens referentes a cobertura da superfície da terra (INPE, 2019).

Desde então, foram lançados pela NASA oito (8) satélites da série (LANDSAT 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 8), todos com imagens multiespectrais. Após o satélite Landsat 7 apresentar problemas no equipamento eletro-mecânico (*Scan Line Correction - SLC*), foi lançado então, em 11 de fevereiro de 2013, um novo e mais recente satélite denominado de Landsat 8 (PIRES e FERREIRA JR, 2015).

Com resolução espacial de 15 m no pancromático, 30 m no multiespectral e 100 m na termal (ENGESAT, 2019), o satélite Landsat 8 opera a uma altitude de 705 km, numa órbita heliossincrona com inclinação de 98,2°. O mesmo possui dois sensores: o sensor OLI (*Operational Land Imager*) com 9 bandas espectrais e o sensor TIRS (*Thermal Infrared Sensor*) com 2 bandas espectrais no infravermelho termal (PIRES e FERREIRA JR, 2015).

3.5 Índices de vegetação

A partir dos anos 80 a utilização de índices de vegetação (IV's), por meio do sensoriamento remoto, tornou-se uma grande e eficiente estratégia para o monitoramento das alterações do uso e ocupação do solo na superfície (SILVA *et al.*, 2017), além de permitir análises de comparações espaciais e temporais da atividade fotossintética e das variações estruturais do dossel (INMET, 2019).

Os IV's são definidos como modelos matemáticos usados para avaliar a cobertura vegetal e relacionar a assinatura espectral e os parâmetros mensuráveis no campo, tanto quantitativamente quanto qualitativamente (BARBOSA, 2006). Podendo ser visto também como resultado da combinação da radiação eletromagnética refletida pela vegetação, em algumas bandas do espectro eletromagnético, ou seja, são transformações lineares de bandas espectrais, geralmente nas faixas do vermelho (V) e infravermelho próximo (IVP) do espectro eletromagnético (EPIPHANIO *et al.*, 1996; MOREIRA e SHIMABUKURO, 2004).

Dentre os diversos índices de vegetação destacam-se: o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) e Índice de Área Foliar (IAF).

Muito utilizado para estudos de monitoramento e caracterização da vegetação o NDVI, indica o grau de saúde do dossel conforme o seu tipo, densidade e umidade, além de outras aplicações como: parâmetros biofísicos, fração de cobertura vegetal, entre outras (NOVAS *et al.*, 2008). Esse índice possui uma variação de -1 a 1, em que valores negativos estão associados a corpos hídricos e quanto mais próximos de 1 estão associados a são referentes a vegetação. Esse índice é obtido por meio da diferença entre a banda do infravermelho próximo e do vermelho, dividido pela soma das mesmas (ROSA, 2009).

Para reduzir o efeito das variações de brilho do solo, Huete (1988) alterou o modelo do NDVI colocando uma constante "L", criando assim o SAVI. Este índice aproxima a distância entre

o pixel e a linha do solo, minimizando as influências do solo na caracterização do dossel (NOVAS *et al.*, 2008). Além disso, o SAVI também pode ser integrado para obtenção do IAF, que representa a razão entre a área foliar do dossel e a unidade de superfície projetada no solo (m^2/m^2) (PONZONI *et al.*, 2012), estando relacionado diretamente com a produção de biomassa, radiação e evapotranspiração (ABOELGHAR *et al.*, 2010).

3.6 Temperatura da superfície

A temperatura indica o grau de agitação das moléculas de um corpo. Ela é importante para o entendimento das interações entre a superfície terrestre e a atmosfera. É utilizada na meteorologia para a estruturação de modelos de balanço de energia, parâmetros biofísicos e bioclimáticos da superfície (SILVA e SANTOS, 2007).

A temperatura da superfície (T_s) pode ser influenciada pelas variações do clima e do tempo meteorológico, sua estimativa é de grande utilidade em estudos de monitoramento de dinâmicas espaciais como os processos de urbanização, catástrofes naturais, focos de incêndios e umidade do solo. Vale ressaltar que a T_s pode ser estimada por meio de técnicas de sensoriamento remoto quando se trata de banda termal, como por exemplo a banda 10 (termal) do satélite Landsat 8 (PEREIRA *et al.*, 2012).

3.7 Umidade do solo

A umidade do solo (US) é uma componente chave em diversos processos que ocorrem no sistema terrestre, influenciando os ciclos de água, energia e nutrientes, podendo ser definida como uma quantidade de água armazenada, na condição não saturada, em uma determinada porção de solo (COSTA, 2017).

A umidade do solo é um dos principais fatores nos processos hidrológicos de uma bacia hidrográfica, principalmente na separação entre as parcelas de precipitação que infiltra e escoam superficialmente (NASCIMENTO, 2002).

Para Esch *et al.* (2018) a umidade do solo não só influencia diretamente nos processos hidrológicos, como também na meteorologia da superfície terrestre, por isso ela é considerada como

um dos principais processos de troca solo-vegetação-atmosfera, interferindo tanto no crescimento da planta quanto na produção da mesma.

Lopes *et al.* (2011) comentam que a US tem grande efeito na magnitude da temperatura da superfície terrestre devido a sua marcante influência no armazenamento de energia térmica. Além disso, ela possui uma alta variabilidade espaço-temporal por causa de fatores como: textura do solo, tempo, vegetação e topografia (DOS SANTOS *et al.*, 2011).

A estimativa do teor umidade no solo é de grande importância e aplicabilidade em diversos estudos ambientais, principalmente no monitoramento dos recursos hídricos renováveis (SAMPAIO, 2012). Essa estimativa pode ser obtida por meio de diferentes métodos, porém sua determinação por sensoriamento remoto é fundamental para a análise espacial em grande escala (LOPES *et al.*, 2011).

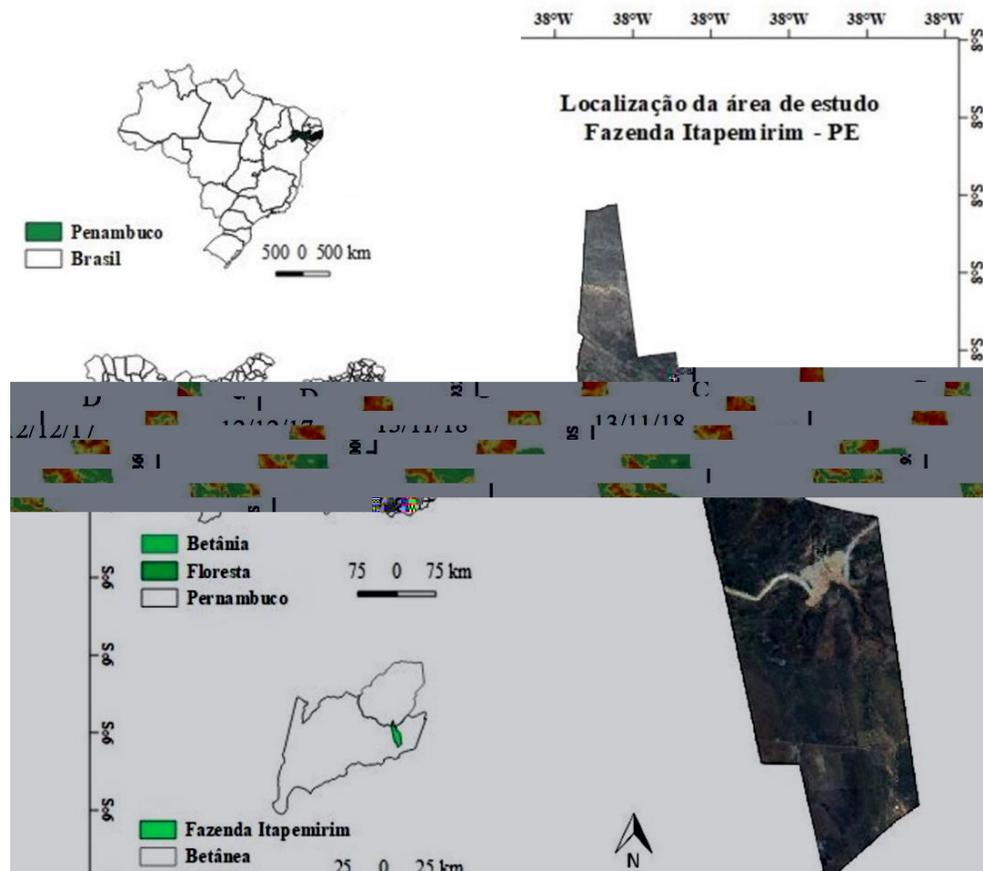
4. MATERIAL E MÉTODO

4.1 Área de estudo

O trabalho foi realizado na Fazenda Itapemirim, localizada no Município de Floresta e Betânia, situada na mesorregião do São Francisco (Pernambuco) nas coordenadas geográficas $8^{\circ}30'37''$ S e $37^{\circ}59'07''$ W, com extensão de aproximadamente 60 km^2 (FIGURA 1).

A vegetação predominantemente é de Caatinga (floresta tropical seca), isto é, do tipo savana-estépica, caracterizada por vegetação arbustivo-arbórea, com presença de cactáceas e estrato herbáceo (IBGE, 2012). O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo BSh, semiárido quente, com precipitação média anual de aproximadamente 400 mm, período chuvoso de janeiro a abril, e temperatura média anual de $26,1^{\circ}\text{C}$ (EMBRAPA, 2001).

FIGURA 1: Mapa de localização da área de estudo.



4.2 Dados orbitais

As imagens do satélite Landsat-8 dos sensores OLI/TIRS foram adquiridas gratuitamente na página virtual da NASA (<https://earthexplorer.usgs.gov>) referentes aos anos de 2015 a 2018, considerando a nebulosidade de no máximo 20% em cada cena.

À área da Fazenda Itapemirim está situada na cena órbita/ponto 216/66 que cobre totalmente a área analisada, totalizando assim, a aquisição de quatro (4) cenas em formato Geotiff com projeção cartográfica UTM Zona 24N nos sistemas de coordenadas geodésicas DATUM: WGS 84 (TABELA 1):

TABELA 1: Dados de entrada no instante da passagem do satélite. GMT = Tempo Médio de Greenwich = três horas a menos do horário de Brasília. (GMT – 3 = Hora de Brasília). DJ = Dia Juliano.

| Data | DJ | Hora GMT (h:min) | Cobertura de nuvens (%) | Ângulo Azimutal (Graus) | Ângulo de elevação (Graus) | Distância terra-sol |
|------------|-----|------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------------|---------------------|
| 21/11/2015 | 325 | 12:41 | 0,01 | 117,96 | 63,72 | 0,988 |
| 23/11/2016 | 327 | 12:42 | 0,01 | 119,06 | 63,38 | 0,987 |
| 12/12/2017 | 317 | 12:41 | 16,54 | 122,68 | 60,74 | 0,985 |
| 13/11/2018 | 346 | 12:41 | 1,53 | 114,14 | 64,65 | 0,989 |

Fonte: Autor

4.3 Dados pluviométricos

Os dados de precipitação anual do período de 1999 a 2018 do município de Floresta – PE, foram obtidos no site da Agência Pernambucana de águas (APAC): <http://www.apac.pe.gov.br>

4.4 Classificação dos anos

Para classificar os anos em: Secos (S), Normais (N) ou Chuvosos (C), utilizou-se o método dos *Quantis* proposto por Pinkayan (1966). Em seguida foi feito o cálculo da amplitude ($A = (X_1 - X_2)/3$), determinado assim, os seguintes intervalos:

$$S = X_2 + A \quad (1)$$

$$N = S + A \quad (2)$$

$$C = N + A \quad (3)$$

Onde: X_1 = Valor máximo e X_2 = Valor mínimo de precipitação.

4.5 Pré-Processamento das imagens

No pré-processamento das cenas foram feitas as reflectâncias, os recortes, as correções dos efeitos atmosféricos (espalhamento e absorção) e a modificação da projeção cartográficas para SIRGAS 2000 / UTM zone 24S das bandas multiespectrais: 2 a 7 e 10, com resolução espacial de 30 m na ferramenta Semi-automatic plugin do software QGIS versão 2.18.26.

4.6 Processamento das imagens

4.6.1. Índices de vegetação (IV's)

A obtenção do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) foi realizada por meio da diferença das reflectâncias do infravermelho próximo (IV) e do vermelho (V) dividido pela soma das mesmas, conforme a equação abaixo (ALLEN et al., 2002):

$$NDVI = (IV - V) / (IV + V) \quad (4)$$

Para o cálculo do Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) foi utilizada a seguinte equação (ALLEN et al., 2002):

$$SAVI = ((1+L) (IV - V) / (L + IV + V)) \quad (5)$$

Em que: L = Fator de ajuste do solo (0,5).

Em seguida, calculou-se o Índice de Área Foliar (IAF) através da equação empírica calibrada por Allen et al. (2002):

$$IAF = - \frac{\ln\left(\frac{0.69 - SAVI}{0.59}\right)}{0.91} \quad (6)$$

4.6.2. Emissividade da Superfície (ϵ_0)

Foi feito o cálculo da Emissividade de Superfície (ϵ_0) em função do IAF conforme mostra a Equação 7:

$$\epsilon_0 = 0,95 + 0,01 * IAF \quad (7)$$

4.6.3. Temperatura da Superfície (T_s)

Para o cálculo da Temperatura da Superfície (T_s) em Kelvin (K) foi utilizada a banda 10 do sensor TIRS do Landsat-8. A T_s é calculada com a seguinte equação (WENG et al., 2004):

$$T_{sk} = L_{\lambda,10} / (1 + (10,895 * L_{\lambda,10} / 14388) * \ln(\epsilon_0)) \quad (8)$$

Em que, $L_{\lambda,10}$ é a radiância monocromática da banda 10.

Em seguida essa temperatura foi transformada para Celsius ($^{\circ}\text{C}$), conforme mostra a formula seguir:

$$T_{sc} = T_{sk} - 273,15 \quad (9)$$

4.6.4. Umidade do solo (IUS)

O índice de umidade do solo (IUS) foi calculado por meio das equações (9, 10 e 11) conforme Lopes et al. (2011):

$$IUS_{ndvi} = 1 - ((NDVI_{max} - NDVI) / (NDVI_{max} - NDVI_{min})) \quad (10)$$

$$IUS_{ts} = (T_{smax} - T_s) / (T_{ax} - T_{smin}) \quad (11)$$

$$IUS = (IUS_{ts} + IUS_{ndvi}) / 2 \quad (12)$$

Onde: IUSndvi: Índice de umidade do solo com base no NDVI;

IUSts: Índice de umidade do solo com base na Temperatura da Superfície;

NDVImax: Índice de vegetação da diferença normalizada Máximo;

NDVImin: Índice de vegetação da diferença normalizada Mínimo;

Tsmax: Temperatura da Superfície Máxima;

Tsmin: Temperatura da Superfície Mínima.

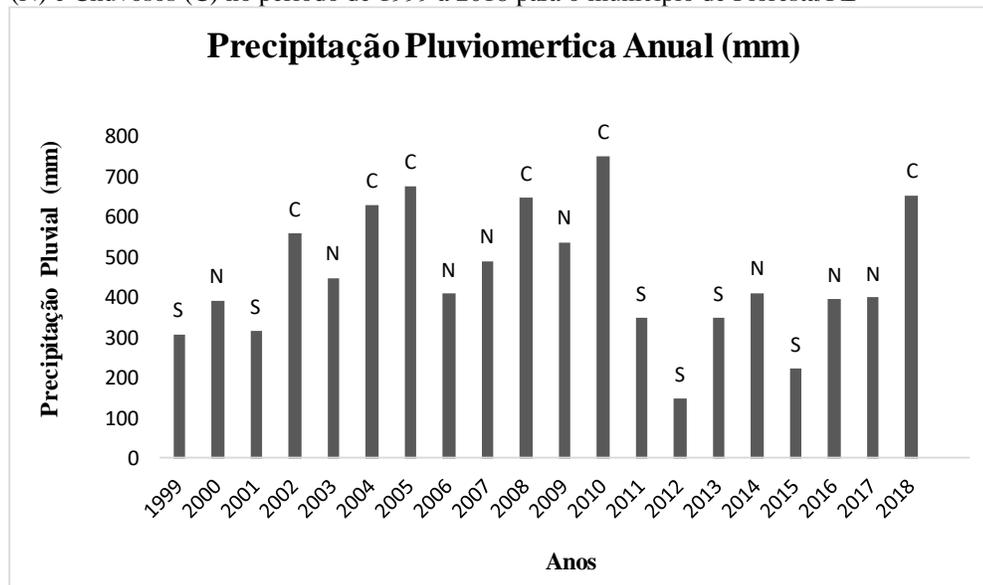
Por fim, obteve-se a distribuição da nuvem de pontos do índice de umidade do solo com os parâmetros biofísicos NDVI e Ts.

5. RESULTADO E DISCURSSÃO

5.1 Precipitação pluvial anual e Classificação dos anos

O Gráfico 1 mostra o comportamento temporal da precipitação pluvial coletados na estação meteorológica do IPA/Floresta, PE. Por estar localizada no semiárido brasileiro, em que o período de chuva não é bem definido, nota-se que a pluviometria do município de Floresta apresentou um padrão irregular entre anos secos (S), normais (N) e chuvosos (C).

GRÁFICO 1: Precipitação pluvial anual e Classificação dos anos em: Secos (S), Normais (N) e Chuvosos (C) no período de 1999 a 2018 para o município de Floresta/PE

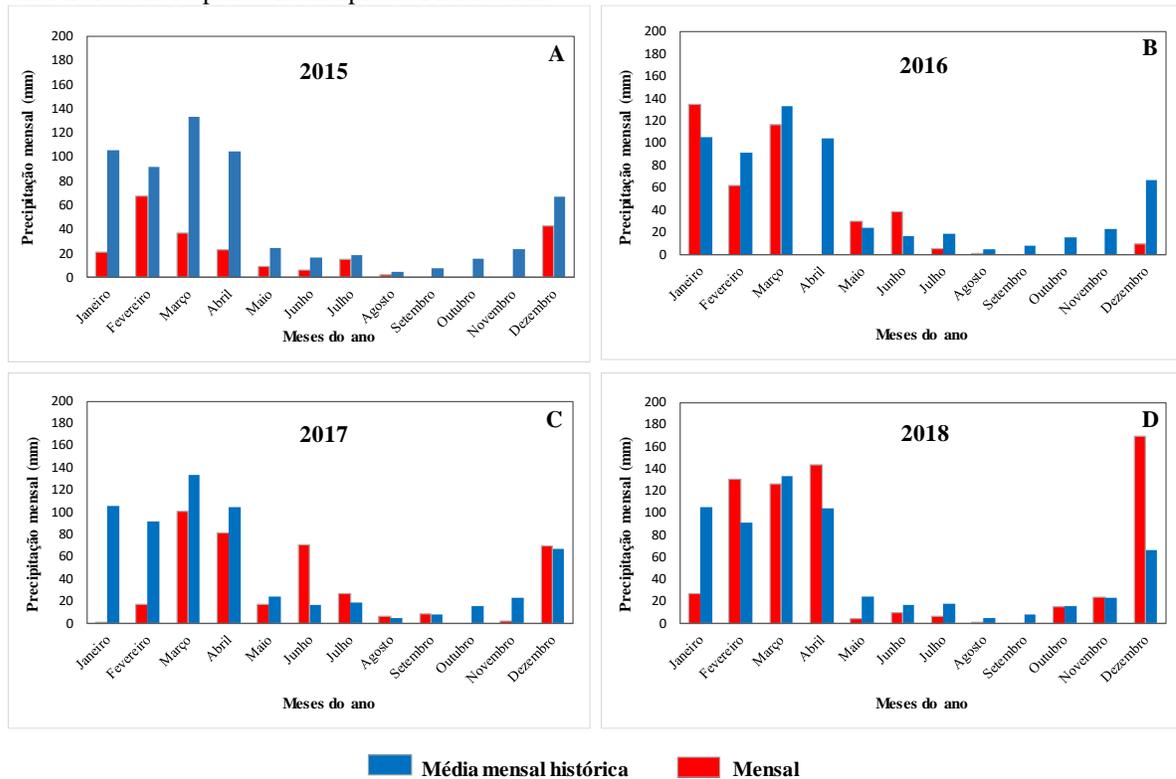


Observa-se ainda, ao longo da série pluviométrica, oito anos classificados como normais e seis anos como secos e chuvosos. Dessa forma, foi possível obter os resultados dos valores totais de precipitação pluvial da série escolhida, variando de 149,50 a 349,20mm para os anos secos, 392,70 a 538,1mm para os anos normais e 559,10 a 750,60mm para os anos classificados como chuvosos. Segundo Silva (2016), em seu estudo sobre análise de complexidade da precipitação mensal no estado de Pernambuco, comenta que região com clima semiárido tendem apresentar valores baixos de precipitações pluviométricas, chegando a variar de 350 a 800mm por ano.

5.2 Precipitação mensal

O comportamento das precipitações mensais normais climatológicas (barras azuis) comparados com as precipitações dos anos de 2015 a 2018 (barras vermelhas) pode ser visualizado na figura abaixo, sendo possível observa-se que há uma irregularidade de chuva no Município.

FIGURA 2: Precipitação mensal (barras vermelhas) em relação as normais climatológicas (barras azuis) dos anos 2015 a 2018 para o município de Floresta/PE.



O ano de 2015 foi classificado como um ano seco (precipitação anual de 223,00 mm), onde os valores mensais acumulados não atingiram as médias climatológicas (FIGURA 2A). Diferente de 2016 que foi considerado como um ano normal, chegando a uma precipitação acumulada de aproximadamente 395,10mm (FIGURA 2B).

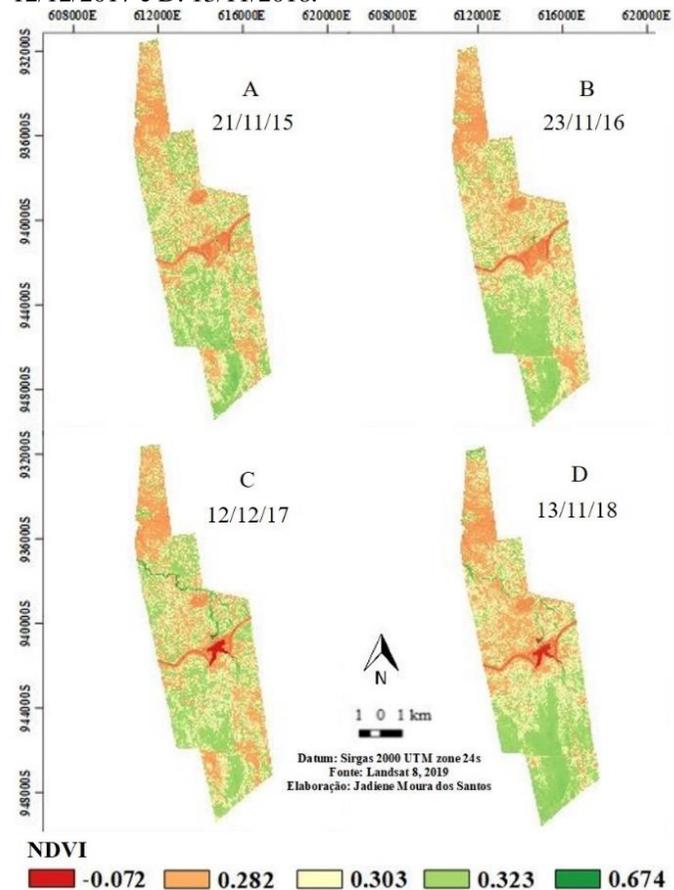
Durante o ano de 2017 (ano normal), observou-se que os meses mais chuvosos foram junho, julho e dezembro, e os mais secos foram janeiro, outubro e novembro, em relação com a normal climatológica (FIGURA 2C). Por outro lado, o ano de 2018 foi considerado chuvoso, pois os meses de fevereiro, abril e dezembro ultrapassaram as normais climatológicas, atingindo uma precipitação acumulada mensal de 130,7mm, 143,1mm e 169,6mm, respectivamente (FIGURA

2D). Silva (2018) comenta que grande parte dos meses de 2015 a 2017 os valores de precipitação mensal acumulada encontrados foram menores do que da média obtida entre os anos de 1961 a 1990, ocasionando assim, um acumulo precipitação anual bem abaixo dos 610,10mm em Floresta/PE.

5.3 Índice de vegetação da diferença normalizada – NDVI

A Figura 3 ilustra o comportamento do NDVI na Fazenda Itapemirim. Os valores de NDVI no solo exposto e vegetação rala, de caráter herbáceo, variaram entre 0,124 a 0,323. Por outro lado, a vegetação do tipo arbórea apresentou valores entre 0,351 a 0,649, indicando atividade fotossintética.

FIGURA 3: Índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) nas datas: A. 21/11/2015; B. 23/11/2016; C. 12/12/2017 e D. 13/11/2018.

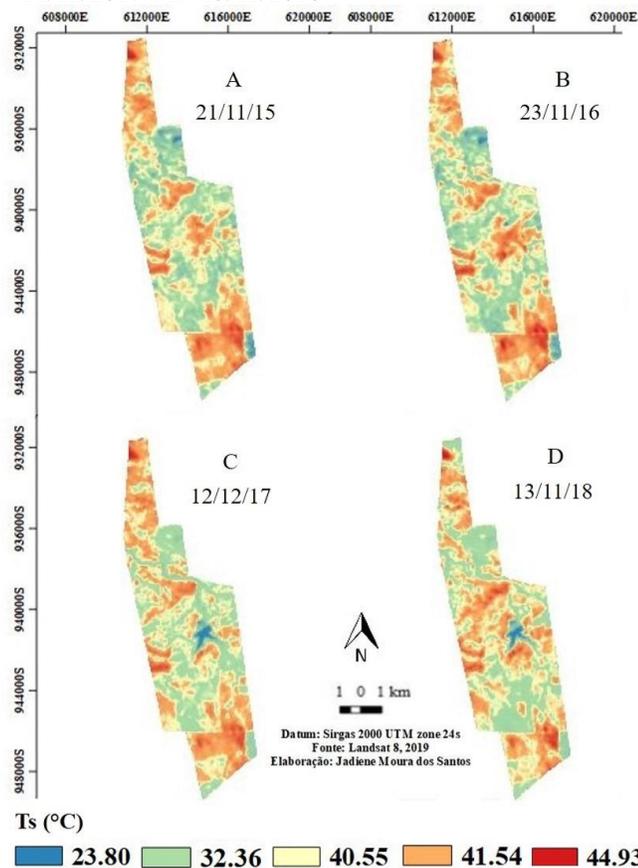


Devido a insuficiência de chuva nas datas 21/11/15 e 23/11/16 não houve valores negativos de NDVI (FIGURAS 3A e B). No entanto, nas Figuras 3C e D observa-se que no centro da fazenda há uma mancha vermelha, referente a concentração de água na transposição do rio São Francisco, ocasionando assim, valores negativos de NDVI entorno de - 0,072. Moraes et al. (2011) encontraram valores semelhantes de NDVI no município de Floresta para os anos de 1994 e 2007. Eles verificaram que na água, no solo exposto, na vegetação rala, aberta, de transição e densa os valores atingiram um máximo de - 0,079; 0,208; 0,288; 0,441; 0,594 e 0,803, respectivamente.

5.4 Temperatura da superfície – Ts

A Figura 4 mostra a variação da temperatura em graus Celsius nas diferentes datas utilizadas no presente estudo. Nela pode-se observar que o valor mínimo foi de 23,80°C e o máximo 44,93°C.

FIGURA 4: Temperatura da superfície (Ts) em graus Celsius nas datas: A. 21/11/2015; B. 23/11/2016; C. 12/12/2017 e D. 13/11/2018.



Nas Figuras 4A e B observam-se que os valores médios de Ts no solo exposto foram de 44,78°C e 43,04 °C, respectivamente, mais altos que os encontrados na figura 4C (39,20°C) e 3D

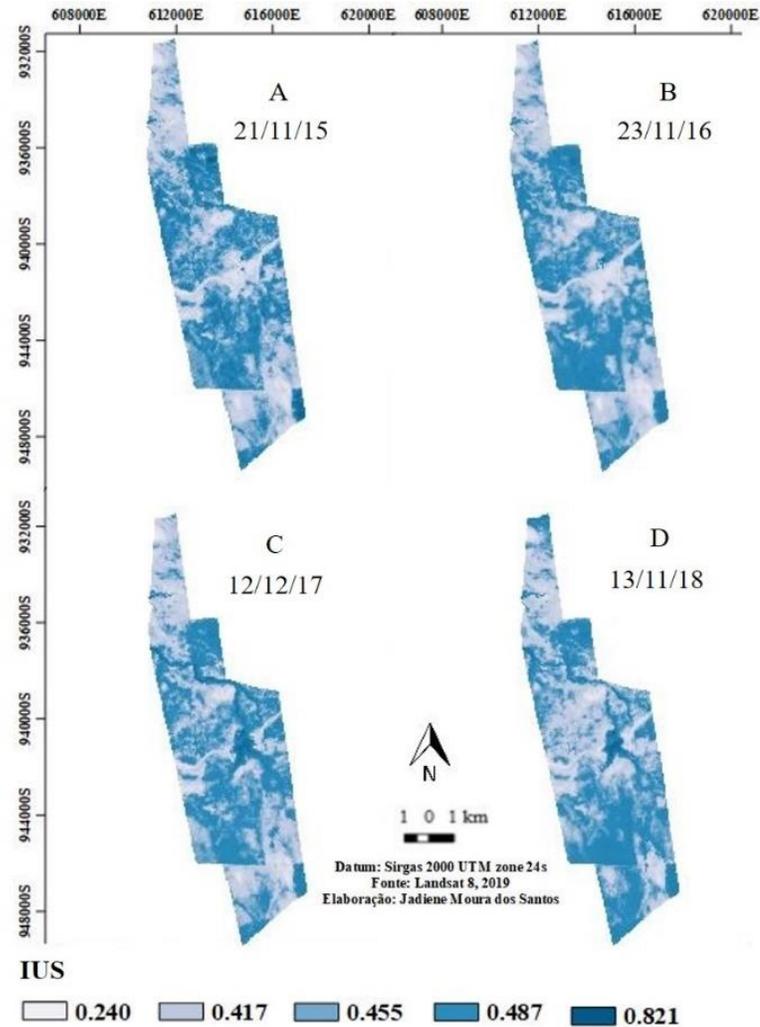
(41,30 °C). Na vegetação de caráter herbáceo, os valores ficaram entre 40,55 a 41,54 °C, diferente dos valores da T_s encontrados na vegetação arbórea, variando 32,36 a 38,56 °C (FIGURA 4). Além disso, foi possível observar também, que na data trabalhada de 2017 e 2018, apareceram valores baixos de temperatura (23,80°C) em uma pequena parte da imagem referente a presença de água acumulada na transposição (FIGURAS 4C e D). Gomes et al. (2016) comentam que áreas com solo exposto e/ou com baixa densidade de vegetação tendem apresentar maior temperatura do que as áreas com maior cobertura vegetal ou presença de corpos hídricos.

5.5 Índice de umidade do solo – IUS

A Figura 5 ilustra a distribuição espacial do índice de umidade do solo na floresta tropical seca localizada na fazenda Itapemirim. Observa-se que no dia 21/11/15 e 23/11/2016 (FIGURAS 5A e B), foram encontrados valores de IUS de aproximadamente 0,240 de umidade. Como o pixel da imagem representa a reflectância média de uma área de 900m² existe a mistura espectral (solo e vegetação), fazendo com que os valores de umidade atinjam os 0,240. Este fato também pode ser observado em 2017 (FIGURA 5C) e 2018 (FIGURA 5D).

Foram encontrados, também, na vegetação arbórea valores de IUS variando entre 0,417 a 0,746, o que significa que quanto mais densa é a vegetação maior é a umidade superficial do solo abaixo do dossel (FIGURA 5). É possível observar claramente que não houve presença de corpo hídrico na transposição em 2015 e 2016, devido a insuficiência de chuva (FIGURAS 2A e B) desde junho até a data de imageamento (novembro) (FIGURAS 5A e B). Por outro lado, em 2017 e 2018, observa-se que há valores altos de IUS de aproximadamente 0,821 (FIGURAS 5C e D). Esses valores presentes nessas datas ocorreram por causa da presença de chuva no mês de dezembro (FIGURA 2C) e novembro (FIGURA 2D) respectivamente. Lopes e Moura (2013) em seu estudo sobre índice de umidade do solo em Belém do São Francisco observaram que valores de IUS entre 0,15 a 0,79 estão associados as classes de solo exposto e vegetação densa, respectivamente. Por outro lado, Lopes et al. (2011) encontraram no solo exposto valores de IUS menores que 0,15 e de 0,57 em áreas com cobertura vegetal densa no Seridó, PB.

FIGURA 5: Índice de umidade do solo (IUS) nas datas: A. 21/11/2015; B. 23/11/2016; C. 12/12/2017 e D. 13/11/2018.

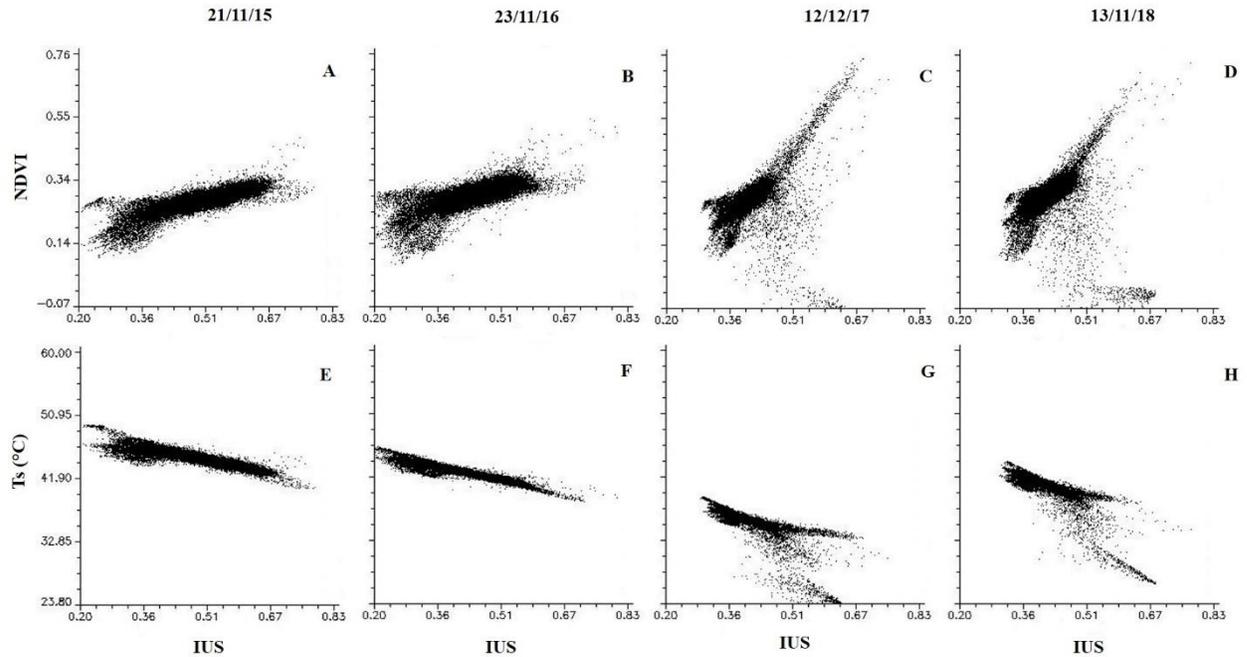


5.6 Distribuição da nuvem de pontos de IUS com NDVI e Ts

Na Figura 6 pode-se visualizar a distribuição da nuvem de pontos do IUS com parâmetros biofísicos NDVI e TS. Podemos observar que o comportamento dos pixels entre o IUSxNDVI é diretamente proporcional, mostrando que a nuvem de pontos tende a um comportamento crescente à medida que o valor do NDVI aumenta, ao contrário da relação IUSxTs que possui um comportamento inversamente proporcional (FIGURA 6). Lopes et al. (2011) também observaram o comportamento entre o IUS com esses parâmetros biofísicos em seu trabalho sobre espacialização da umidade do solo por meio da temperatura da superfície e índice de vegetação. Segundo eles, essa relação mostra uma medida significativa da

intensidade entre os parâmetros, denotando uma relação de causa e efeito em função das mudanças da superfície.

FIGURA 6: Distribuição da nuvem de pontos de IUSxNDVI e IUSxTs nas datas: A. 21/11/2015; B. 23/11/2016; C. 12/12/2017 e D. 13/11/2018.



Devido a insuficiência de chuva em 2015 e 2016, nota-se que não houve presença de pixels na região negativa no IUS x NDVI conforme mostram as figuras 6A e 6B. Nessas datas é possível observar também o comportamento dos pixels de temperatura, que ficaram acima dos 40°C (FIGURAS 6E e F). Por outro lado, em 2017 e 2018 há pixels na região negativa do NDVI devido ao acúmulo de água presente na transposição, decorrente das chuvas que ocorreram nessas datas (FIGURAS 5C e D). Além disso, a presença desses corpos hídricos influenciou bastante no comportamento dos pixels de temperatura, onde a maioria desses pixels ficaram abaixo dos 40°C (FIGURAS 5G e H). Segundo Silva et al. (2007), o monitoramento do IUS através do NDVI é crucial, pois nos períodos de estiagem a vegetação sofre diretamente os impactos da redução da umidade do solo. Leite (2016) também comenta que existe uma alta correlação inversa entre IUSxTs, pois a presença da umidade superficial do solo reduz a temperatura da superfície terrestre.

6. CONCLUSÃO

- O método dos Quantis permitiu identificar num intervalo de vinte anos um padrão irregular da precipitação anual do município de Floresta – PE entre os anos classificados como secos, normais e chuvosos.
- A precipitação mensal dos quatro anos estudados mostrou grande variabilidade em relação as normais climatológicas do município;
- O índice de vegetação da diferença normalizada permitiu identificar a presença de corpos hídricos, solo exposto com vegetação de caráter herbáceo e arbóreo na fazenda Itapemirim/PE.
- A obtenção dos baixos valores de temperatura da superfície nas datas imageada estão associados aos altos valores de NDVI e de umidade do solo.
- Os valores do IUS foram inferiores no solo exposto e mais expressivos na água e sob a vegetação arbórea, devido a rápida resposta das florestas tropicais secas no período de chuva durante a data do imageamento.
- A distribuição da nuvem de pontos mostrou-se um comportamento crescente para IUSxNDVI e inverso para IUSxTs.

7. REFERÊNCIAS

- ABOELGHAR, M.; ARAFAT, S.; SALEH, A.; NAEEM, S.; SHIRBENY, M.; BELAL, A. Retrieving leaf area index from SPOT4 satellite data. **Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science**, v. 13, n. 2, p. 121–127, 2010. Disponível em:< <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S111098231000013X>>. Acesso em: 10 out. 2019.
- ALLEN, R.G; TASUMI, M.; TREZZA, R. **SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land)** – Advanced Training and User’s Manual– Idaho Implementation, version 1.0, 2002.

ANDRADE, E. M. **A floresta tropical seca, caatinga: as certezas e incertezas das águas.** TRIM: revista de investigação multidisciplinar, n. 12, pag. 11-20, 2017. Disponível em: <<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5922951.pdf>>. Acesso em: 02 nov. 2019.

ÁVILA, L. F.; MELLO, C. R.; SILVA, A. M. Continuidade e distribuição espacial da umidade do solo em bacia hidrográfica da Serra da Mantiqueira. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, UAEEA/UFCEG, v.14, n.12, p.1257–1266, 2010.

BARBOSA, K. M. N. **Monitoramento espacial de biomassa e carbono orgânico da vegetação herbácea de várzea na Amazônia Central.** Curitiba: Universidade Federal do Paraná, Tese de Doutorado, 131 p., 2006.

BEZERRA, J. M.; SILVA, P. C. M. S.; MORAIS, C. T. S. L.; BATISTA, R. O. **Utilização de geotecnologias na determinação de áreas susceptíveis a desertificação no Estado do Rio Grande do Norte.** Revista Brasileira de Geografia Física, n.3, p. 543-561, 2011.

CÂMARA, G.; DAVIS JR, C. A.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à Ciência da Geoinformação.** INPE, 2001.

COSTA, T. A. **Estimativa da umidade do solo na região semiárida do Brasil pelo método do triângulo universal.** Tese (doutorado em sensoriamento remoto). Instituto de Nacional de Pesquisa Espaciais - INPE, São José dos Campos, 2017. Disponível em: <<http://mtc-m21b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m21b/2017/08.03.10.42/doc/publicacao.pdf>>. Acesso em: 08 out. 2019.

DART, R. O.; BERBARA, R. L. L.; SANTOS, M. L. M.; FILHO, M. C. Q. B.; TATO, G. K. **Propriedade dos solos em três sucessões de floresta tropical seca.** Manejo e conservação do solo e da água no contexto das mudanças ambientais, Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/339844/1/trab8657451.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2019.

DOS SANTOS, T. E. M.; MONTENEGRO, A. A.A.; SILVA, D. D. **Umidade do solo no semiárido pernambucano usando-se Reflectometria no domínio do tempo (TDR).** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental – Agriambi, v. 15, n. 7, 2011.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Diagnóstico Ambiental do Município de Floresta, Pernambuco.** Rio de Janeiro-RJ: EMBRAPA, 2001. (Circular Técnica, ISSN 1517-5146). Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/338510/1/circulartecnica10diagambfloresta.pdf>>. Acesso em: 11 de set. de 2019.

ENGESAT. **Landsat 8.** Imagens de Satélite e Geoprocessamento. Disponível em: <<http://www.engesat.com.br/imagem-de-satelite/landsat-8/>>. Acesso em: 03 de set. 2019.

EPIPHANIO, J. C. N.; GLERIANI, J. M.; FORMAGGIO, A. R.; RUDORFF, B. F. T. **Índices de vegetação no sensoriamento remoto da cultura do feijão.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 31, n. 6, p. 445-454, 1996.

ESCH, S.; KORRES, W.; REICHENAU, T. G.; SCHNEIDER, K. Soil moisture index from ERS-SAR and its application to the analysis of spatial patterns in agricultural areas. **Journal of Applied Remote Sensing**, v. 12, n.2, 2018.

ESPÍRITO-SANTO, M. M.; FAGUNDES, M.; NUNES, Y. R. F.; FERNANDES, G. W.; AZOFEIFA, G. A. S. QUESADA, M. **Bases para a conservação e uso sustentável das florestas estacionais decíduas brasileiras: a necessidade de estudos multidisciplinares**. Revista Unimontes Científica, vol. 8, n. 1, 2006.

FLORENZANO, T. G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 97 p.

GOMES, I. C. **Desenvolvimento de um sensor digital de umidade do solo e unidade remota de monitoramento utilizando comunicação sem fio**. Trabalho de Conclusão de Curso de bacharelado em Engenharia de Computação - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 57 f, 2016.

GOMES, M. R.; AMORIM, M. C. C. T.; MARTIN, E. S. Distribuição das temperaturas superficiais intraurbana em Caicó/RN. **Revista Formação (online)**, vol. 3; n. 23, p. 286-300, 2016. Disponível em: <<http://revista.fct.unesp.br/index.php/formacao/article/view/4199>>. Acesso em: 30 out. 2019.

GONÇALVES, T. S. **A floresta estacional decidual no Brasil: Distribuição geográfica e influência dos aspectos pedogeomorfológicos na vegetação**. Revista Monografias Ambientais – REMOA, v. 14, n. 1, p. 144-153, 2015.

HEMAKUMARA, M.; KALMA, J.; WALKER, J.; WILLGOSE, G. **Downscaling of low resolution passive microwave soil moisture observations**. In: 2º Workshop Internacional CAHMDA sobre o Ciclo de Água Terrestre: Modelagem e Assimilação de dados através de escalas de captação, editado por Teuling, A.J et al., p. 67–71, 2007. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/5d9e/16f2f8e4a3238dde4edee2b5b99e921bc910.pdf?_ga=2.262440971.66852351.1573212884-310203697.1573212884>. Acesso em: 08 nov. 2019.

HUETE, A. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, v. 25, n. 3, p. 295–309, ago. 1988.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico da vegetação brasileira**, 2012.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa de Biomas e de Vegetação**. Comunicação Social, 2004. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/21052004biomashtml.shtm>>. Acesso em: 10 out. 2019.

INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). Índice de vegetação. Disponível em: <<http://sisdagro.inmet.gov.br/sisdagro/app/indiceVegetacao>>. Acesso em: 08 out. 2019.

INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). **Landsat**. Divisão de geração de imagens – Coordenação geral de observação da terra. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/documentacao/satelites/landsat>>. Acesso em: 28 ago. 2019.

KITE, G.; PIETRONIRO, A. Remote Sensing application in hydrological modeling. **Hydrological Sciences Journal**, v. 41, n. 4. 1996.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos, RiMa, 2000.

LEITE, C. R. M. **Modelos de índice de umidade do solo obtido por sensoriamento remoto no serão pernambucano**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Recife, BR-PE, 2016. Disponível em: <<http://www.tede2.ufrpe.br:8080/tede/bitstream/tede2/7718/2/Cassia%20Roberta%20de%20Melo%20Leite.pdf>>. Acesso em: 08 nov. 2019.

LIMA, V. V. F. DE.; VIEIRA, D. L. M.; SEVILHA, A. C.; SALOMÃO, A. N. **Germinação de espécies arbóreas de floresta estacional decidual do vale do rio Paranã em Goiás após três tipos de armazenamento por até 15 meses**. Revista Biota Neotropica, vol.8, nº3, 2008.

LOPES, P. M. O. & MOURA, G. S. S. **Estudo de caso: índice de umidade do solo utilizando imagens do sensor modis para o município de Belém do São Francisco, PE**. In: I Workshop Internacional Sobre Água no Semiárido Brasileiro. Anais... Campina Grande. 2013.

LOPES, H. L.; ACCIOLY, L. J. O.; SILVA, F. H. B. B.; SOBRAL, M. C. M.; FILHO, J. C. A.; CANDELAS, A. L. B. Espacialização da umidade do solo por meio da temperatura da superfície e índice de vegetação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande - PB, v.15, n.9, p.973-980, 2011.

LOURENÇO, R. W. **Sensores e Satélites**. [Notas de Aula]. 2010. 46p.

MAFFRA, C. Q. T. & CENTENO, J. A. S. Estimativa da umidade do solo por meio de sensoriamento remoto e suas possíveis aplicações no estudo de deslizamentos de terra. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, nº 68/9, p. 1709-1719, 2016.

MEIRELES, M. **Estimativa da Evapotranspiração real pelo emprego do algoritmo SEBAL e imagens landsat 5-TM na Bacia do Acaraú – CE**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade do Ceará, Fortaleza – CE. 89 f. 2007.

MENESES, P. R. **Definição de Sensoriamento Remoto**. In: MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. (Org.). Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto. Brasília: CNPQ, UNB, 2012. Cap. 1, p. 11-33.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. ROSA, A. N. C. S.; SANO, E. E.; BAPTISTA, G. M. M.; BRITES, R. S. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. 1º ed. Brasília: UnB, 2012. 270p.

MORAIS, Y. C. B.; SANTOS, B. O.; LAURENTINO, M. L. S.; SILVA, J. C. B.; GALVINCÍO, J. D. **Análise espaço-temporal e detecção de mudanças da cobertura vegetal no município de Floresta/PE – Brasil, utilizando o NDVI.** Anais XV simpósio brasileiro de sensoriamento remoto – SBSR, Curitiba, PR, Brasil, INPE, p.2128, 2011. Disponível em:<<http://mar.te.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte/2011/07.14.17.49/doc/p1455.pdf>>. Acesso em: 25 out. 2019.

NASCIMENTO, A. C. **Avaliação da umidade no perfil do solo a partir de sensoriamento remoto.** UNB, 2002

NOVAS, M. F. B.; CRUZ, P. P. N.; SILVA, R.; DI PACE, F. T. **Análise da variação dos índices de vegetação estimados por sensoriamento remoto em dois períodos ao sul da bacia do rio Traipu-AL.** II simpósio brasileiro de ciências e tecnologia da geoinformação, Recife – PE, 2008. Disponível em: <https://www3.ufpe.br/cgtg/SIMGEOII_CD/Organizado/sens_foto/170.pdf>. Acesso em: 09 out. 2019.

NICÁCIO, R. M. **Evapotranspiração real e umidade do solo usando dados de sensores orbitais e metodologia SEBAL na bacia do rio São Francisco.** Tese (doutorado). Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPE. Rio de Janeiro/RJ. 2008.

OLIVEIRA, K. A. **Classificação de imagens LANDSAT 5 para mapeamento do Cacaueiro Nativo (*Theobroma cacao* L.), do Rio Purus – Amazonas.** 67 f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Centro de Ciências Biológicas e da Natureza, Universidade Federal do Acre, AC, 2010.

OLIVEIRA, P. T. S.; AYRES, F. M.; FILHO, G. E. C. P; MARTINS, I. P.; MARCHADO, N. M. **Geoprocessamento com ferramentas no licenciamento ambiental de postos de combustíveis.** Sociedade & Natureza, Uberlândia, 2008. Disponível em:<<http://www.scielo.br/pdf/sn/v20n1/a06v20n1>>. Acesso em: 07 out. 2019.

PEREIRA, C. C.; MARIANO, Z. F.; WACHHOLZ, F.; CABRAL, J. B. P. Análise da temperatura de superfície e do uso da terra e cobertura vegetal na bacia Barra dos Coqueiros (Goiás). **Revista Geonorte**, 2º ed., v. 2, n. 5, p. 1243-1255, 2012.

PEREIRA, R. S. **Princípios físicos de sensoriamento remoto.** Santa Maria, RS, 72 p., 1997.

PINKAYAN, S. **Conditional probabilities of occurrence of wet and dry years over a large continental area.** Forty-Collins. Colorado-USA: Hydrology Colorado State University, 1966.

PIRES, E. G.; FERREIRA JR, L. G. **Mapeamento da temperatura da superfície a partir de imagens terminais dos satélites Landsat 7 e Landsat 8.** Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, João Pessoa – PB, Brasil, 2015.

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

RAMALHO, M. F. J. L. & GUERRA, A. J. T. **O risco climático da seca no semiárido brasileiro.** Territorium, n. 25 (I), 2018: Riscos: processo e vulnerabilidades. Disponível em:<<https://impactum-journals.uc.pt/territorium/article/view/4823>>. Acesso em: 02 nov. 2019.

ROSA, R. **Introdução ao sensoriamento remoto.** 7 ed. Uberlândia: EDUFU, 2009. 262 p.
ROSA, R. **Introdução ao geoprocessamento.** Uberlândia, 2013. Disponível em:<http://professor.ufabc.edu.br/~flavia.feitosa/cursos/geo2016/AULA5-ELEMENTOSMAPA/Apostila_Geop_rrosa.pdf>. Acesso em: 12 set. 2019.

SAUSEN, T. M. **Sensoriamento Remoto e Suas Aplicações para Recursos Naturais.** Coordenadoria de ensino: Documentação e Programas Especiais - INPE, São José dos Campos – SP, 2010.

SÁNCHEZ-AZOFEIFA G. A, et al., **Research priorities for neotropical dry forests.** Biotropica, v37, n. 4, 2005.

SANTOS, D. M.; SILVA, K. A.; SANTOS, J. M. F. F.; LOPES, C. G. R.; PIMENTEL, R. M. M.; ARAÚJO, E. L. Variação espaço-temporal do banco de sementes em uma área de floresta tropical seca (Caatinga) – Pernambuco. **Revista de Geografia**, Recife: UFPE – DCG/NAPA, v. 27, n. 1, 2010.

SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. **Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.2, n.3, p.287-294, Campina Grande, 2008.

SAMPAIO, M. S. **Desenvolvimento, avaliação e aplicação de um algoritmo para espacialização global dos climas árido, tropical e temperado.** Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Mato Grosso, ICET/FAET/FAMEV/IB/ICHS, Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, 2012.

SILVA, R.A. **Modelagem da umidade do solo utilizando imagem de satélite para análise da variação do solo/vegetação em Floresta-PE.** Dissertação (mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Ciências Atmosféricas, Maceió, 68 f., 2018. Disponível em:<<http://www.repositorio.ufal.br/bitstream/riufal/4769/1/Modelagem%20da%20umidade%20do%20solo%20utilizando%20imagem%20de%20satélite.pdf>>. Acesso em: 30 out. 2019.

SILVA, N. R. F.; SILVA, H. P.; ALVES, R. B. O. **Avaliação do NDVI, SAVI e IAF na ilha de Itapessoca, Goiana, Pernambuco em períodos diferentes de pluviosidade.** Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto, Rio de Janeiro, 2017.

SILVA, C. C. S. **Análise de complexidade da precipitação mensal no estado de Pernambuco utilizando o sample entropy.** Tese (doutorado). Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife/PE. 2016 Disponível em:<<http://www.tede2.ufrpe.br:8080/tede2/bitstream/tede2/7328/2/Cleo%20Clayton%20Santos%20Silva.pdf>>. Acesso em: 24 out. 2019.

SILVA, J. W. F.; SANTOS, R. L.; **Estimativa da temperatura da superfície do solo de uma região semi-árida a partir do IRMSS (banda 4) do CBERS-2.** Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, INPE, p. 1159-1166, 2007.

SILVA, M. R.; RIBEIRO, M. G.; CENTENO, J. A. S. **Monitoramento de estiagem com imagens MODIS.** In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Florianópolis, SC, 2007.

WENG, Q.; Lu, D. & SCHUBRING, J. **Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies.** Remote Sensing of Environment, Elsevier Science Inc., Box 882 New York NY 10159 USA, 89, 467-483, 2004.