



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE SAÚDE E TECNOLOGIA RURAL
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA FLORESTAL
CAMPUS DE PATOS – PB**



EWERTON MEDEIROS SIMÕES

**APLICAÇÃO DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA
(NVDI) ASSOCIADA ÀS VARIÁVEIS PLUVIOMÉTRICAS PARA SUB-BACIA DO
RIO ESPINHARAS, PB/RN**

PATOS-PB
2017

EWERTON MEDEIROS SIMÕES

**APLICAÇÃO DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA
(NVDI) ASSOCIADA ÀS VARIÁVEIS PLUVIOMÉTRICAS PARA SUB-BACIA DO
RIO ESPINHARAS, PB/RN**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, da Universidade Federal de Campina Grande, *Campus* de Patos, na Área de Ecologia, Manejo e Utilização dos Recursos Florestais, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Joedla Rodrigues de
Lima

PATOS-PB
2017

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA DO CSRT DA UFCG

S Simões, Ewerton Medeiros

593a

Aplicação do índice de vegetação por diferença normalizado (NVDI) associada às variáveis pluviométricas para sub-bacia do Rio Espinharas, PB/RN / Ewerton Medeiros Simões . – Patos, 2017.
75p.: il.

Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Saúde e Tecnologia Rural, 2017.

"Orientação: Profa. Dra. Joedla Rodrigues de Lima".

Referências.

1. Semiárido. 2. Precipitação. 3. Índice de vegetação . I. Título.

CDU 574

EWERTON MEDEIROS SIMÕES

**APLICAÇÃO DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA
(NVDI) ASSOCIADA ÀS VARIÁVEIS PLUVIOMÉTRICAS PARA SUB-BACIA DO
RIO ESPINHARAS, PB/RN**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Ciências Florestais da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais.

Aprovada em: 31 de março de 2017.

Prof. Dr.^a Joedla Rodrigues de Lima
Universidade Federal de Campina Grande (CSTR/PPGCF/UFCG)
(Orientadora)

Prof. Ph.D. Olaf Andreas Bakke
Universidade Federal de Campina Grande (CSTR/PPGCF/UFCG)
(1° Examinador)

Prof. Dr. Izaque Francisco Candeia de Mendonça
Universidade Federal de Campina Grande (CSTR/PPGCF/UFCG)
(2° Examinador)

AGRADECIMENTOS

A Deus, minha fortaleza e escudo protetor, pela vida, pelas bênçãos maravilhosas concedidas e por sempre me fazer acreditar que tudo é possível quando se tem dedicação e garra.

Aos meus pais Edvânia Medeiros de Sousa Simões e José Ronaldo Simões Luiz, por me ensinarem as coisas mais importantes da minha vida.

Aos meus irmãos Jamylson e Mylena, por acreditarem tanto na minha vitória.

A minha orientadora e amiga, Dr.^a Joedla Rodrigues de Lima, por sua inestimável contribuição com a pesquisa, pela confiança depositada e, principalmente, por sua paciência ao longo de todas as dificuldades enfrentadas.

Ao professor, Dr. Izaque Francisco Candeia de Mendonça, por sua valiosa colaboração e amizade ao longo do curso.

Aos membros da banca examinadora, os professores Dr. Olaf Andreas Bakke e Dr. Izaque Francisco Candeia de Mendonça, pelas valiosas contribuições.

A minha namorada, Gisela Nóbrega, minha companheira de todas as horas, por estar sempre ao meu lado, me dando forças, acreditando e sendo o meu alicerce durante todos esses anos.

Aos meus amigos e colegas que me ajudaram durante essa caminhada: Denize, Forlan, Oscar, Talytta, Ana Claudia, Felipe Ragner e José Evanaldo.

A todos os professores que fazem parte da UAEF e PPGCF, pelas contribuições para minha formação.

Ao secretário da Pós Graduação, Paulo, por toda a ajuda e amizade ao longo desses 2 anos de mestrado

Foram tantas horas de trabalho incessante, de dedicação e estudo, acompanhadas do convívio diário de inúmeras pessoas. A todos aqueles que porventura não tenham sido citados, mas que contribuíram de forma direta ou indireta para execução deste trabalho, meus sinceros e profundos agradecimentos.

Se não puder voar, corra. Se não puder correr, ande. Se não puder andar, rasteje, mas continue em frente de qualquer jeito.

“Martin Luther King”

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Curva espectral da vegetação, água e solo em função da energia refletida e comprimento de onda .	22
Figura 2 – Localização geográfica da Sub-bacia Hidrográfica do Rio Espinharas.	41
Figura 3 – Limites dos municípios da Sub-bacia do Rio Espinharas.	42
Figura 4 – Fluxograma das etapas metodológicas.	43
Figura 5 – Localização espacial dos pontos de leitura de NDVI.	48
Figura 6 – Confluência do rio da Cruz com o rio da Farinha, município de Patos – PB.	50
Figura 7 – Confluência do Rio Espinharas com o rio Piranhas, município de Serra Negra do Norte – RN.	50
Figura 8 – Rede de drenagem da Sub-bacia do Rio Espinharas.	51
Figura 9 – Hipsometria da Sub-bacia do Rio Espinharas.	53
Figura 10 – Mapa de declividade da área de estudo.	54
Figura 11 – Precipitação acumulada da sub-bacia do Rio Espinharas, nos anos de 2005 e 2015.	55
Figura 12 – Mapa de precipitação média anual para o ano de 2005 da Sub-bacia Hidrográfica do Rio Espinharas.	56
Figura 13 – Mapa de precipitação média anual para o ano de 2015 da Sub-bacia Hidrográfica do Rio Espinharas.	56

Figura 14 – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, da Sub-bacia do Rio Espinharas, para o período chuvoso e seco de 2005.....	58
Figura 15 – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, da Sub-bacia do Rio Espinharas, para o períodos chuvoso e seco de 2015.....	58
Figura 16 – Áreas antropizadas na Sub-bacia do Rio Espinharas, Área de Pastagem no município de Serra Negra-RN, Agricultura irrigada às margens da barragem da Farinha no município de Patos-PB, Agricultura irrigada nas proximidades do açude do Jatobá no município de Patos-PB.....	61
Figura 17 – Histogramas de frequência do NDVI da sub-bacia do Rio Espinharas, nos períodos chuvoso e seco de 2005 e períodos chuvoso e seco de 2015.....	62
Figura 18 – Valores médios de NDVI para as áreas dos municípios que compõem a bacia do Rio Espinharas.....	63
Figura 19 – Áreas de extração de caulim no município de Salgadinho.	65
Figura 20 – Gráfico de dispersão de NDVI sobre a Sub-bacia do Rio Espinharas, no período chuvoso e seco de 2005 e 2015.....	66

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Características das imagens do sensor TM do satélite Landsat-5.23

Quadro 2 – Características das imagens do sensor OLI e TIRS do satélite Landsat-8.24

Quadro 3 – Hierarquia dos canais para cada ordem hierárquica e seu comprimento total.52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Identificação das imagens orbitais com cobertura para a área de estudo.45

SUMÁRIO

RESUMO	12
1 INTRODUÇÃO.....	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
2.1 A cobertura vegetal do Semiárido brasileiro	16
2.1.1 O Bioma Caatinga	17
2.2 Bacias hidrográficas como unidade de planejamento e gestão.....	19
2.3 Sensoriamento remoto	20
2.3.1 Características dos sensores TM e OLI.....	23
2.3.2 Índices de vegetação.....	25
2.4 Geoprocessamento e Sistema de Informação Geográfica – SIG.....	27
2.5 Relações entre índices de vegetação e as variáveis climáticas.....	28
3 REFERÊNCIAS	30
CAPÍTULO I - DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NVDI) ASSOCIADA ÀS VARIÁVEIS PLUVIOMÉTRICAS PARA SUB-BACIA DO RIO ESPINHARAS	38
1 INTRODUÇÃO.....	39
2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	40
2.1 Caracterização da área de estudo.....	40
2.2 Material, equipamentos e Softwares.....	42
2.3 Métodos	43
2.3.1 Delimitação da área da sub-bacia do Rio Espinharas.....	44
2.3.2 Organização do banco de dados	44
2.3.3 Pré-processamento das imagens de satélite	45
2.3.4 Cálculo do NDVI.....	47
2.3.5 Processamento das variáveis pluviométricas.....	49
2.3.6 Avaliação dos dados	49
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
3.1 Caracterização hidrogeográfica da sub-bacia	49
3.2 Características fisiográficas da área de estudo	52
3.3 Distribuição espaço-temporal da precipitação na Sub-bacia do Rio Espinharas	54
3.4 NDVI da Sub-bacia do Rio Espinharas	57
3.5 NDVI para as diferentes regiões estudadas	63

3.6 Correlações entre a precipitação e os valores de NDVI	66
4 CONCLUSÃO.....	69
5 REFERÊNCIAS	70

SIMÕES, EWERTON MEDEIROS. APLICAÇÃO DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI) ASSOCIADA ÀS VARIÁVEIS PLUVIOMÉTRICAS PARA SUB-BACIA DO ESPINHARAS. Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais. CSTR/UFCG, Patos - PB. 2017. 75p.

RESUMO

Para o desenvolvimento de medidas de conservação e manutenção dos recursos hídricos, é necessário compreender as interações existentes entre a precipitação e a dinâmica da cobertura vegetal no espaço/tempo, o que tem sido possível devido ao emprego do NDVI. A sub-bacia do Rio Espinharas passa por grandes alterações em sua paisagem, causadas principalmente pela expansão das atividades antrópicas, portanto, espera-se diante deste quadro, demonstrar a relação entre o NDVI e a precipitação na referida sub-bacia. O objetivo deste estudo foi verificar o comportamento do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), para a sub-bacia do Rio Espinharas, nos períodos seco e chuvoso dos anos de 2005 e 2015, correlacionando-o à precipitação acumulada em cada período. Foi gerada uma malha de pontos correspondente à localização geográfica de 12 plataformas de coleta de dados (PCD). A partir de cada PCD, foi determinado um raio de 5 km, no qual foram marcados aleatoriamente 30 pontos amostrais para aquisição dos valores de NDVI em áreas de vegetação natural. Considerando a variação do NDVI na área de estudo, durante os períodos analisados, pode-se observar mudanças significativas da vegetação caatinga do período chuvoso para o período seco. O ano de 2005 apresentou maiores valores de NDVI em relação a 2015, com valores máximos de 0,71 e 0,78 no período seco e úmido, respectivamente. No ano de 2015, os valores máximos são de 0,64 e 0,61, para o período seco e úmido, respectivamente. Os maiores valores foram observados no período chuvoso de 2005, nas estações meteorológicas de Matureia, Salgadinho e Areia de Baraúnas. Essas áreas são marcadas pela presença de uma vegetação nativa densa, encontrada nas áreas mais elevadas do terreno, como encostas de morros. No período seco, nota-se a baixa variabilidade dos valores de NDVI, sendo as maiores leituras observadas nas plataformas de Matureia, Salgadinho e Teixeira. As plataformas que apresentaram as maiores reduções nos valores de NDVI de 2005 para 2015, no período chuvoso, foram Matureia, Santa Teresinha e Salgadinho, com reduções de 41,9%, 38,2% e 32,7%, respectivamente. As correlações mais significativas para as variáveis analisadas foram estabelecidas para os períodos secos, com coeficientes de correlação de Pearson de 0,71, em 2005, e 0,48 para 2015. Isto indica uma relação progressiva entre as variáveis com a diminuição dos totais pluviométricos. As menores correlações foram verificadas no período chuvoso, com valores de 0,09, em 2005, e 0,19 para o ano de 2015. A elevação dos níveis pluviométricos na região não implicou o aumento progressivo nos valores de NDVI. Sugere-se assim que, para novos estudos na região, seja explorado um período maior de observação durante os anos, visando minimizar o efeito de situações extremas. Além da precipitação acumulada, outros fatores podem ser relacionados, como declividade do terreno, temperatura e tipo de solo, que são importantes fatores a serem considerados, sugerindo-se uma análise conjunta dos mesmos.

Palavras-chave: Semiárido. Precipitação. Índice de vegetação.

SIMÕES, EWERTON MEDEIROS. **APPLICATION OF THE NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX (NDVI) ASSOCIATED TO THE PLUVIOMETRIC VARIABLES FOR THE SPINHARAS SUB SUBWAY.** Master's degree thesis in Forest Sciences. CSTR / UFCG, Patos - PB. 2017. 75p.

ABSTRACT

In order to development the means of conservation and maintenance of water resources it is necessary to understand the interactions between rainfall and the dynamics of vegetation in space/time, which has been possible due to the use of NDVI. The sub-basin of the Espinharas River undergoes great changes in its landscape, mainly caused by the expansion of anthropic activities, therefore, it is expected to demonstrate the relationship between the NDVI and the precipitation in the mentioned sub-basin. The aim of this paper was to verify the behavior of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) at the sub-basin of the Espinharas River in the dry and rainy periods between 2005 and 2015, correlating it with accumulated precipitation in each period. A dot mesh representing the geographical location of 12 data collection platforms (DCP) was generated. From each DCP, a 5 km radius was determined, in which 30 sampling points were randomly selected for acquisition of NDVI rates in areas of natural vegetation. Considering the variation of the NDVI in the study area during the analyzed period, it is possible to observe significant changes in the concentration of caatinga vegetation from the rainy period to the dry period. The year 2005 presented the highest values of NDVI in relation to 2015, with the highest amounts of 0.71 and 0.78 in the dry and wet periods, respectively. In 2015, the maximum values were 0.64 and 0.61 for the dry and humid periods, respectively. The highest values were observed in the rainy season of 2005, in the meteorological stations of Maturéia, Salgadinho and Areia de Baraúnas. These areas are marked by the presence of dense native vegetation found in the highest areas of the land area, such as hillsides. Regarding the dry period, low variations in the NDVI rates were observed, with the highest readings observed in the platforms of Maturéia, Salgadinho and Teixeira, in the years studied. The platforms that presented the greatest reductions in NDVI values from one year to another in the rainy season were Maturéia, Santa Teresinha and Salgadinho, with reductions of 41.9%, 38.2% and 32.7% respectively. The most significant correlations for the analyzed variables were established for the dry periods, with Pearson correlation coefficients of 0.71 in 2005 and 0.48 for 2015. Such findings indicate a progressive connection between the variables with the decrease of rainfall totals. The lowest correlations were observed in the rainy season, with rates of 0.09 in 2005 and 0.19 in 2015. The increase in rainfall levels in the region did not imply a progressive increase in NDVI values. It is suggested that, for new studies in the region, a longer period of observation over the years should be explored in order to minimize the effect of extreme situations. In addition to the accumulated rainfall, other factors could be related, such as the steepness of the land area, temperature and soil type, which are important factors to be considered, suggesting a combined analysis among them.

Keywords: Semiarid region. Precipitation. Index of vegetation.

1 INTRODUÇÃO

As bacias hidrográficas são constituídas por um recorte na paisagem, onde o fluxo da água é delimitado pelos divisores topográficos e tendo o exutório como o único ponto de saída. Naturalmente, passam por processos de degradação resultantes de condições ambientais como clima e relevo, agravados pela ação antrópica. A apropriação intensiva dos recursos naturais causa vários impactos ambientais, originados, sobretudo, pela remoção da cobertura vegetal do solo.

A preservação da cobertura vegetal é fundamental para a conservação e a manutenção dos recursos hídricos. A vegetação protege e mantém as nascentes e os cursos d' água, sua ausência acelera os processos erosivos do solo, o assoreamento e a contaminação dos cursos d' água, e afeta negativamente o balanço hídrico da bacia hidrográfica, comprometendo a disponibilidade de água para suprir a demanda humana nas áreas rurais e urbanas (SILVA, 2011).

Para o desenvolvimento de medidas de conservação e manutenção dos recursos hídricos, é necessário compreender as interações existentes entre a precipitação e a dinâmica da cobertura vegetal no espaço/tempo, o que tem sido possível pelo emprego de ferramentas que auxiliam no monitoramento do ambiente. A utilização de sensores remotos orbitais em séries temporais para este fim vem se destacando na comunidade científica, com uma avaliação rápida, prática e precisa do meio ambiente (FOODY, 2010; CUNHA et al., 2012; XIAOLIN; DESHEND, 2014).

Dentre as diversas técnicas empregadas para o monitoramento e avaliação das mudanças na estrutura, fisionomia e dinâmica na cobertura florestal no decorrer do tempo, destaca-se o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) (AQUINO; OLIVEIRA, 2012). O NDVI, como instrumento para o monitoramento da vegetação, apresenta alta sensibilidade à densidade da cobertura vegetal, tornando possíveis comparações espaciais e temporais da atividade fotossintética, assim como o monitoramento sazonal, interanual e mudanças em longo prazo dos parâmetros biofísicos, fenológicos e estruturais da vegetação (PONZONI; SHIMABUKURO, 2009).

O semiárido nordestino apresenta severas condições climáticas, com precipitações médias anuais inferiores a 800 mm, temperaturas médias anuais que variam de 23° a 27° C, evaporação anual 2.000 mm e umidade relativa do ar média anual em torno de 50% (MOURA et al., 2007). Além disso, apresenta grande parte dos recursos hídricos ameaçados, solos, em sua maioria, degradados, e sua vegetação sofre com a exploração predatória do homem

(SILVA, 2011). Diante desse quadro e considerando a carência de trabalhos dentro da temática desenvolvida, espera-se contribuir para a compreensão da relação existente entre o NDVI e a precipitação, por meio do estudo da sub-bacia hidrográfica do Rio Espinharas, localizada na região semiárida dos estados da Paraíba e Rio Grande do Norte.

A área de estudo vem passando por grandes modificações em sua paisagem ao longo dos anos, marcada principalmente por atividades antrópicas, entre elas: criação de animais e extração madeireira. Segundo Silva (2011), a sub-bacia apresentou, em 2010, 66% de sua área ocupada por atividades antrópicas, fato que merece atenção dos órgãos e gestores, pois essa ocupação expõe os solos a um nível de degradação muito alto, dificultando a recuperação da vegetação e, conseqüentemente, comprometendo as condições hídricas da sub-bacia.

O objetivo deste estudo foi avaliar a correlação existente entre o nível de cobertura vegetal e as variáveis pluviométricas locais, considerando a climatologia de 2005 e 2015, utilizando-se imagens dos sensores TM e OLI dos satélites Landsat 5 e Landsat 8.

Os objetivos específicos foram: Caracterizar as condições hidrogeográficas da sub-bacia do Rio Espinharas; Avaliar a distribuição espaço espaço/temporal do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) com os dados pluviométricos médios em áreas da sub-bacia; Verificar a correlação existente entre o comportamento do NDVI e a precipitação acumulada entre os períodos estudados.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A cobertura vegetal do Semiárido brasileiro

As regiões semiáridas abrangem aproximadamente 17,7% do globo terrestre, com tendência a aumentar, devido às alterações no ciclo hidrológico (ROTENBERG; YAKIR, 2010). Essas regiões são caracterizadas pela ocorrência de uma crise climática sazonal que reflete nos ambientes que compõem o seu complexo sistema físico-natural e humano (ALVES, 2007). Nessas regiões, a disponibilidade de água no solo é o fator limitante no controle do fluxo de água (principalmente na evapotranspiração), absorção de carbono e na respiração do ecossistema (HUSSAIN et al., 2011). Fatores como o clima, distribuição irregular das chuvas, baixos índices pluviométricos, longos períodos de estiagem e as modificações no uso da terra tornam mais complexa a hidrologia nessas regiões (MONTENEGRO; RAGAB, 2012).

No Brasil, o semiárido se estende por uma área de aproximadamente 969.589,4 km², 11% do território nacional. A definição destas áreas ocorreu em março de 2005, pela Portaria nº 89 do Ministério da Integração Nacional. A respectiva delimitação tomou por base três critérios técnicos: a precipitação pluviométrica média anual inferior a 800 mm; o índice de aridez de até 0,5, calculado pelo balanço hídrico, que relaciona precipitações e evapotranspiração potencial, entre 1961 e 1990; e o risco de seca maior que 60%, com relação ao período entre 1970 e 1990 (BRASIL, 2005b).

O estado do Ceará, com 91,98%, seguido do Rio Grande do Norte e da Paraíba, com 91,69% e 89,65%, respectivamente, possuem o maior percentual do seu território inserido na região semiárida (BRASIL, 2005a). O clima da região é caracterizado pela predominância de chuvas convectivas e orográficas, distribuídas de forma irregular, concentradas nos primeiros quatro meses do ano (fevereiro/maio), com predominância de grande variabilidade interanual (BRASIL, 2005a). A incidência de radiação solar é alta, com média anual de 2800 horas/ano e umidade relativa baixa, com médias em torno de 50% (ALVES, 2007). Esses aspectos climáticos como precipitação e evaporação, caracterizam a região, pois são responsáveis pelo balanço hídrico negativo que ocorre na maior parte do ano (SILVA; LIMA; MENDONÇA, 2014).

Os rios intermitentes da região se encontram em estado crítico, visto que originam-se de um regime pluviométrico baixo e irregular, com precipitações inferiores a 900 mm, com temperaturas elevadas durante todo o ano, além de forte insolação, culminando em altas taxas

de evapotranspiração e taxas negativas no balanço hídrico da região (MMA, 2010). O baixo volume de escoamento da água nos rios na região pode ser explicado em razão da variabilidade temporal das precipitações e das características geológicas dominantes, com predominância de solos rasos sobre rochas cristalinas, que resulta em baixas trocas de água entre o rio e o solo adjacente, culminando na existência de uma densa rede de rios temporários (CIRILO, 2010).

Com a introdução do homem no sistema semiárido, discutem-se, obrigatoriamente, os sérios problemas que suas atividades geram sobre a região, tanto de forma direta como indireta; logo, deixa de ser uma relação complexa entre os componentes bióticos e abióticos e, transforma-se em um geossistema, ou seja, um complexo natural, histórico e social (ALVES, 2007). Segundo Silva (2011), as principais práticas que contribuem para a degradação ambiental no semiárido paraibano são: desmatamento, uso inadequado do solo para agricultura, práticas incorretas no manejo de solo e água, superpastejo e rotatividade de cultivos/culturas.

O semiárido nordestino é composto por dois tipos de fisionomias de vegetação que dominam a sua área de abrangência, as florestais, formadas por espécies que variam de semidecíduas a decíduas, e as não florestais, que são representadas pela vegetação lenhosa caducifólia espinhosa, denominada caatinga (ARAÚJO et al., 2005). Logo, as variações fisionômicas das formações florestais e não florestais refletem as variações edafoclimáticas encontradas no semiárido brasileiro.

A caatinga ocupa grande parte do semiárido nordestino e caracteriza-se por apresentar de espécies lenhosas, herbáceas, cactáceas e bromeliáceas, com espécies de pequeno porte, geralmente dotadas de espinhos, sendo, em sua maioria, caducifólias, com perda de suas folhas no início da estação seca, com estrato herbáceo efêmero e constituído principalmente por terófitas e geófitas que aparecem apenas na curta estação chuvosa (DRUMOND et al., 2000; QUEIROZ, 2006).

2.1.1 O Bioma Caatinga

A Caatinga é o único bioma exclusivamente brasileiro (MMA, 2007). Encontra-se entre os biomas mais degradados pelo homem, devido às centenas de anos de uso inadequado e insustentável dos solos e dos seus recursos naturais, sendo também considerado o mais negligenciado dos biomas brasileiros (VELLOSO; SAMPANHO; PAREYN, 2002).

Estudo conduzido por Rodal e Sampaio (2002) sugeriu três características básicas para o bioma Caatinga: 1) a maior parte da vegetação está submetida ao clima semiárido em uma área mais ou menos contínua, bordejada por áreas de clima mais úmido; (2) sua vegetação apresenta algumas características relacionadas à adaptação e, deficiência hídrica (caducifólia, suculência, herbáceas anuais, acúleos e espinhos, predominância de árvores e arbustos de pequeno porte, cobertura descontínua de copas); e (3) presença de espécies endêmicas.

A vegetação é do tipo “savana estépica”, com presença de árvores baixas e arbustos que, normalmente, perdem as folhas no período seco, pois a maioria das espécies são caducifólias, e muitas cactáceas, como *Cereus* (mandacaru e facheiro) e *Pilocereus* (xiquexique) (LACERDA; BARBOSA, 2006; ALVES; ARAÚJO; NASCIMENTO, 2008). Parâmetros fitossociológicos, como frequência, densidade e dominância das espécies na caatinga, são explicados pelas variações topográficas, pedológicas e pluviométricas (DRUMOND, 2000).

Sua vegetação apresenta vários mecanismos de resistência à seca, apresentando modificações morfológicas, fisiológicas e bioquímicas. Dentre os vários mecanismos de adaptação que a vegetação possui, podemos citar: controle estomático, transformação de folhas em espinhos, redução do tamanho da folha, queda das folhas (abscisão foliar), redução no número de folhas, maior espessura da parede celular, maior presença de cera, engrossamento do caule, diminuição da altura, retorcimento do caule, alto teor de hidrofóbicos, metabolismo ácido das crassuláceas (MAC), armazenamento de água no caule ou raiz (xilopódio), aprofundamento e engrossamento das raízes (BARRETO; BARBOSA, 2001).

O bioma Caatinga possui uma diversidade surpreendente de ambientes, proporcionada por um mosaico de tipos de vegetação, variando com os diferentes tipos de solos e disponibilidade de água encontrada na área (VELLOSO; SAMPANHO; PAREYN, 2002). Estes autores relatam que a vegetação mais típica da caatinga situa-se nas depressões sertanejas, separadas por um emaranhado de serras que constituem uma barreira geográfica para várias espécies. No entanto, os diferentes tipos de caatinga estendem-se também por regiões mais altas e caatinga arbustiva, arbórea, carrasco e formações abertas, com matas secas e úmidas, além de cactáceas e bromeliáceas.

O bioma Caatinga possui diversas características e fatores que diferenciam uma área da outra, Velloso, Sampanho e Pareyn, (2002) subdividiram o bioma Caatinga em 8 ecorregiões formadas com base na sua biodiversidade: Complexo de Campo Maior; Complexo Ibiapaba; Araripe; Depressão Sertaneja Setentrional; Planalto da Borborema;

Depressão Sertaneja Meridional; Dunas do São Francisco; Complexo da Chapada Diamantina; Raso da Catarina.

Apesar de uma região semiárida, com baixos índices pluviométricos, com médias de 300 a 800 mm anuais, a Caatinga é considerada bastante heterogênea. Foram estimadas aproximadamente 932 espécies, envolvendo arbóreas, arbustivas e herbáceas, registradas para o bioma, sendo 380 espécies consideradas endêmicas (MMA, 2002; ALVES et al., 2008). Estudos realizados por Giulietti et al. (2006) levantaram 1512 espécies, com, no mínimo 318 espécies endêmicas para o bioma Caatinga.

Segundo os dados divulgados pelo Ministério do Meio Ambiente (2007), o bioma Caatinga possui uma área de aproximadamente 518.635 Km² de cobertura vegetal nativa, que representa cerca de 62,77% da área mapeada do bioma. Em relação à área total do bioma, 826.41,23 Km², a Caatinga perdeu, até o ano de 2008, cerca de 45,39% de sua vegetação nativa (MMA, 2010).

O conhecimento das modificações ambientais geradas pela ação antrópica produz informações importantes na gestão dos recursos naturais, visto que possibilita uma melhor visão dos problemas existentes na área (CAMPOS, 2004).

2.2 Bacias hidrográficas como unidade de planejamento e gestão

A Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997), dispõe-se dos princípios e normas ao gerenciamento dos recursos hídricos. A bacia hidrográfica atua como unidade territorial para implementação dessa política e atuação do sistema nacional dos recursos hídricos.

A utilização de bacias hidrográficas como unidade espacial de estudo vem se consolidando nas últimas décadas, pois a mesma é formada pela união de componentes naturais, permitindo, assim, melhor compreensão dos ambientes estudados (SILVA, 2009). A mesma autora afirma que as bacias hidrográficas fornecem subsídios para integração de análises e planejamento ambiental, pois permitem avaliar, de forma agregada, as ações antrópicas juntamente com seus desdobramentos sobre o equilíbrio hidrológico da bacia hidrográfica. A bacia hidrográfica é empregada como molde mais abrangente para conceituar e compreender os ecossistemas, tendo em vista que estes ambientes estão inseridos em sistemas maiores, que envolvem os aspectos de vegetação, clima, geologia, uso e ocupação do solo e formam um mosaico de subsistemas funcionais interligados por processos bióticos e abióticos (HENRY-SILVA; CAMARGO, 2000; SMITH; PETRERE, 2001).

A bacia hidrográfica, como unidade de planejamento e estudo, permite-nos obter uma melhor compreensão do ambiente. Logo, a bacia hidrográfica transforma-se em unidade territorial passível à interferência à organização e ao ordenamento territorial (MELO, 2010).

Assim, os cursos d'água e os outros elementos que integram uma bacia hidrográfica sofrem influência, tanto dos processos naturais, como das modificações antrópicas, o que caracteriza a importância de estudos voltados às questões ambientais em bacias hidrográficas, com análise dos seus atributos fisiográficos, com enfoque para a cobertura vegetal, pois a presença da mesma é considerada um fator determinante para estimativa da degradação ambiental (SILVA; ROSA, 2007).

A vegetação é imprescindível na manutenção e conservação do ciclo hidrológico, pois amortece o impacto das gotas de chuva sobre o solo e, conseqüentemente, diminui os processos erosivos do solo, com aumento da permeabilidade e porosidade, pela atuação das raízes e diminui o escoamento superficial, além de manter a umidade e aumento da fertilidade, pela presença da matéria orgânica no solo (BELTRAME, 1994). Assim, parâmetros importantes, como densidade e distribuição da vegetação, atuam como fatores imprescindíveis para a conservação de um ambiente. Nesse contexto, estudar a densidade e espacialidade da cobertura vegetal é essencial para a análise da degradação ambiental, o planejamento e a gestão dos recursos naturais (MELO; SALES; OLIVEIRA, 2011).

Diversos estudos estão sendo desenvolvidos em bacias hidrográficas com auxílio do sensoriamento remoto no semiárido nordestino, como no estudo da cobertura vegetal na Sub-bacia do Rio Espinharas (SILVA; LIMA; MENDONÇA, 2014); A análise da degradação ambiental da microbacia hidrográfica do Riacho dos Cavalos, Crateús-CE (MELO; SALES; OLIVEIRA, 2011); O mapeamento e caracterização da cobertura vegetal da Bacia hidrográfica do São Francisco (SÁ et al., 2008); O estudo da dinâmica da cobertura vegetal para a Bacia de São João do Rio do Peixe, PB (CUNHA et al., 2012); O uso do sensoriamento remoto como instrumento Rio Araguaia (MASCARENHAS; FERREIRA; FERREIRA, 2009)

2.3 Sensoriamento remoto

Atualmente, os pesquisadores e gestores buscam melhores formas de monitorar e avaliar a paisagem. Dentre os métodos aplicados recentemente, o sensoriamento remoto vem se destacando como uma importante ferramenta para aquisição e análise de dados, devido a

sua rapidez na obtenção dos dados, além do custo relativamente inferior, em relação a outras formas convencionais (SÁ et al., 2008).

O sensoriamento remoto pode ser definido como a ciência ou a técnica empregada para aquisição de dados provenientes de objetos à distância (REMPEL, 2000). A obtenção dos dados de uma cena ou objeto é captada através de um sensor que se encontra distante dos alvos, com utilização de câmeras aerofotogramétricas, satélites artificiais e aparelhos de radar (SILVA, 2009). A captação dos objetos ou alvos é registrada pelos sensores, através de medições da radiação eletromagnética, como, por exemplo, a luz solar que é refletida por qualquer alvo ou objeto da superfície terrestre (MENESES et al., 2012). Esses objetos ou alvos de interesse podem ser geralmente cursos d' água, tipos de vegetação, solos, rochas e outros.

A radiação eletromagnética, ao incidir sobre os alvos da superfície terrestre pode ser absorvida, refletida, transmitida e emitida por estes, logo as proporções de cada um desses componentes da interação vão depender inteiramente dos fatores ambientais e dos fatores inerentes a cada alvo (MOREIRA, 2011). Como exemplo, este autor relata que a quantidade de energia refletida por uma planta é inerente aos fatores intrínsecos desta, porém pode se alterar caso a planta seja submetida a estresses como: déficit hídrico, ataques de pragas, doenças, desequilíbrio nutricional, efeitos climáticos. Assim, o sensoriamento remoto torna-se uma ferramenta indispensável nas abordagens ambientais, visto que permite um monitoramento mais diversificado da paisagem e superfície terrestre (SILVEIRA, 2004).

O sensoriamento remoto possibilita o monitoramento contínuo de superfícies em escalas local, regional e global. Os alvos que estão presentes na superfície são identificados e caracterizados a partir do comportamento espectral de cada objeto, frente à radiação eletromagnética (NOVO, 2008; JENSEN, 2009). A energia que é refletida ou emitida pelos alvos ou objetos da superfície é captada e registrada pelos sensores, podem ter origem própria ou de outra fonte de radiação. Quando os sensores captam e registram a radiação refletida e/ou emitida de uma fonte externa (ex.: sol), denominamos sensores passivos, ou seja, dependem de uma fonte de iluminação externa (ex.: satélites). Já os sensores ativos emitem a radiação em determinada faixa espectral que interage com os objetos ou alvos da superfície terrestre e reflete parte da radiação e são captadas pelo sensor (MOREIRA, 2011).

Elementos como vegetação, água e solo absorvem, refletem e transmitem a radiação eletromagnética em proporções que variam em função do comprimento de onda e suas características biofísicas e químicas (SILVA, 2011). Esses elementos são distinguidos nas

imagens de sensores remotos através das variações de energia refletidas por estes elementos, como representado na Figura 1.

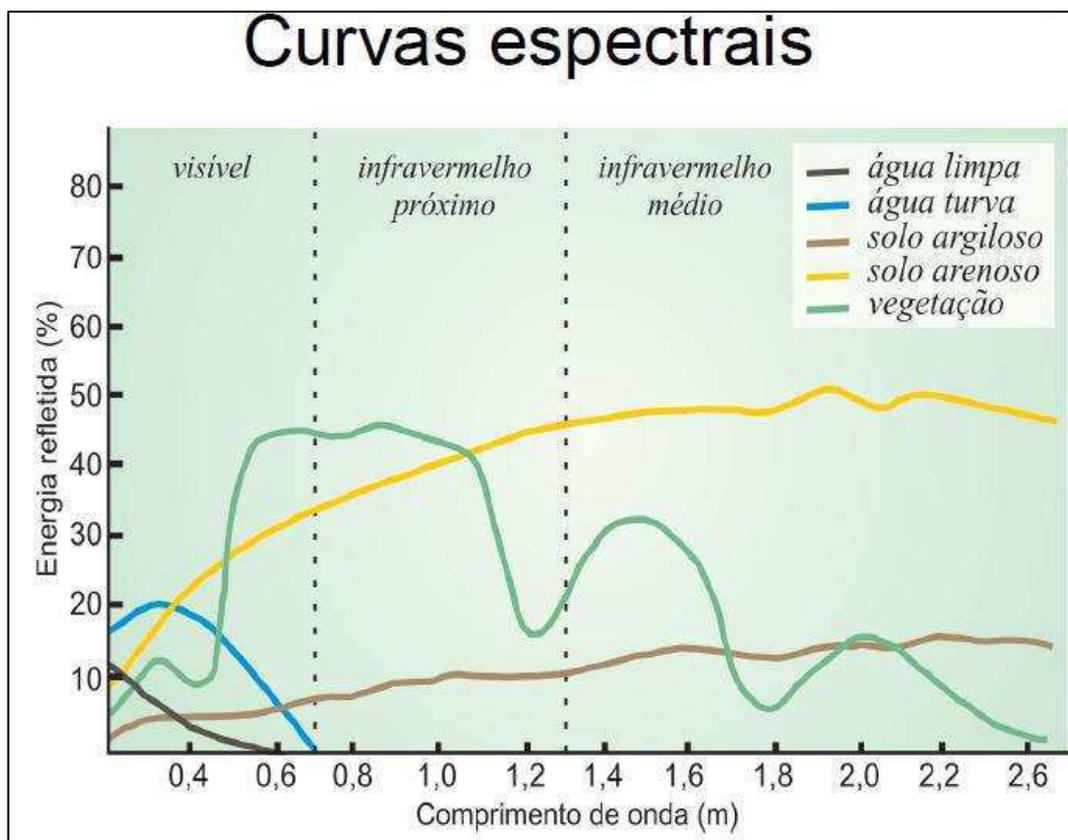


Figura 1- Curva espectral da vegetação, água e solo em função da energia refletida (%) e comprimento de onda (m). Fonte: Florenzano (2011).

Sendo assim, a vegetação reflete mais energia na faixa referente ao verde (região do visível). No entanto, é na faixa do infravermelho próximo que a mesma se diferencia dos demais objetos; a curva referente ao solo indica um comportamento uniforme, com menor variação entre a energia refletida, em comparação à vegetação ao longo do espectro; por fim, a água pura, no estado líquido, absorve praticamente toda a energia, refletindo pouca energia na região do visível e nada na região do infravermelho (FLORENZANO, 2011).

Nesse contexto, o sensoriamento remoto assume um papel importante nas atividades de monitoramento, assim como na estimativa dos distintos fenômenos meteorológicos e ambientais, além de servir como suporte para o monitoramento das mudanças climáticas, permitindo a tomada de decisão para a preservação ambiental (MOREIRA, 2003).

2.3.1 Características dos sensores TM e OLI

Dentre as principais ferramentas utilizadas para estudos espaciais e temporais empregados em grande escala, podemos destacar a série de satélites Landsat, que constitui uma das principais fontes de dados espaciais, decorrentes de sua ampla disponibilidade de imagens. A série apresenta imageamento contínuo da superfície terrestre desde 1972, apresentando um vasto acervo de imagens históricas, disponibilizadas de forma gratuita (DUARTE et al., 2015).

O satélite LANDSAT 5 foi lançado em 1 de março de 1984, levando a bordo o sensor Thematic Mapper (TM). Historicamente, este sensor vem passando por constantes revisões na sua escala radiométrica (CHANDER; MARKHAM; BARSİ, 2007; CHANDER; MARKHAM; HELDER, 2009; CHANDER; HAQUE, 2010), que contribuem para que as análises multitemporais realizadas a partir dos dados provenientes desse sensor não sofram influência de sua deterioração, impedindo que alterações detectadas nas imagens possam ser confundidas com alterações nos alvos (CUNHA et al., 2012).

O sensor TM possui resolução temporal de 16 dias e resolução espacial de 30 m, opera a partir de sete bandas espectrais, equivalente a três bandas na região do visível, três na região do infravermelho e uma na região termal (MOREIRA, 2005) (Quadro1). As bandas espectrais na região do visível e infravermelho refletido são compostas por um conjunto de 16 detectores, enquanto a banda termal é composta por 4 detectores, com sinais recebidos em 8 bits. Assim, a radiância que chega aos detectores é quantificada em 256 níveis de cinza, correspondendo a sua resolução radiométrica (LOPES, 2008).

Quadro 1- Características das imagens do sensor TM do satélite Landsat-5

Landsat-5 Thematic Mapper (TM)		
Bands	Wavelength (micrometers)	Resolution (meters)
Band 1 - Blue	0.45-0.52	30
Band 2 - Green	0.52-0.60	30
Band 3 - Red	0.63-0.69	30
Band 4 - Near Infrared (NIR)	0.76-0.90	30
Band 5 - Shortwave Infrared (SWIR) 1	1.55-1.75	30
Band 6 - Thermal	10.40-12.50	120* (30)
Band 7 - Shortwave Infrared (SWIR) 2	2.08-2.35	30

Fonte: USGS (2013).

Com o objetivo de compreender os processos de modificação da superfície terrestre, diversos estudos vêm utilizando dados do sensor TM. As imagens deste sensor foram utilizadas no estudo da dinâmica da cobertura florestal em bacias hidrográficas (CUNHA et al., 2012), na identificação de áreas de florestas atingidas pelo fogo (MORTON et al., 2011; RÖDER et al., 2008), na avaliação de áreas sujeitas a desertificação (STELLMES; UDELHOVEN; RODER, 2010), no mapeamento dos distúrbios em florestas boreais (SCHROEDER et al., 2011).

O satélite Landsat-8 é o mais recente de sua série. Foi lançado no dia 11 de fevereiro de 2013 pela NASA. O mesmo opera em altitude de 705 km, possui órbita heliosincrona, com inclinação de 98,2° (ligeiramente retrógrada). Seu horário de imageamento ocorre às 10:00 horas, com intervalo de 15 min para mais ou para menos. A sua resolução temporal é de 16 dias, com cenas com um tamanho aproximado de 170 km na linha norte/sul, por 183 km na linha leste/oeste (USGS, 2013).

O satélite Landsat-8 opera com dois instrumentos imageadores, o sensor *Operational Land Imager (OLI)*, composto por 8 bandas espectrais, com pixel de 30 metros, e 1 banda pancromática, com 15 metros, e o sensor *Thermal Infrared Sensor (TIRS)*, com duas bandas para análises termais, compostas por pixels de 100 metros, processadas e disponibilizadas com 30 metros, com o objetivo de coincidir com a maioria das bandas multiespectrais do sensor OLI (USGS, 2013). As características dos sensores encontram-se especificadas no Quadro 2.

Quadro 2 – Características das imagens do sensor OLI e TIRS do satélite Landsat-8.

Landsat 8- (OLI) e (TIRS)		
Bands	Wavelength (micrometers)	Resolution (meters)
Band 1 – Ultra Blue (coastal/aerosol)	0.43 - 0.45	30
Band 2 – Blue	0.45 - 0.51	30
Band 3 – Green	0.53 - 0.59	30
Band 4 – Red	0.64 - 0.67	30
Band 5 – Near Infrared (NIR)	0.85 - 0.88	30
Band 6 – Shortwave Infrared (SWIR) 1	1.57 - 1.65	30
Band 7 – Shortwave Infrared (SWIR) 2	2.11 - 2.29	30
Band 8 – Panchromatic	0.50 - 0.68	15
Band 9 – Cirrus	1.36 - 1.38	30
Band 10 – Thermal Infrared (TIRS) 1	10.60 - 11.19	100 * (30)
Band 11 – Thermal Infrared (TIRS) 2	11.50 - 12.51	100 * (30)

Fonte: USGS (2013).

O Landsat-8 traz uma grande inovação em suas imagens, em relação aos satélites anteriores, que é a correção geométrica realizada pela USGS/NASA, de forma que as imagens são disponibilizadas ortorretificadas, sendo, portanto, desnecessária a realização de georreferenciamento antes da utilização desses dados, ao contrário do que ocorre com imagens originadas pelos satélites mais antigos da série (DUARTE et al., 2015).

2.3.2 Índices de vegetação

Os índices de vegetação são caracterizados como medidas radiométricas adimensionais, indicando parâmetros importantes como abundância relativa e a atividade da vegetação verde, incluindo porcentagem de cobertura verde, teor de clorofila, índice de área foliar, biomassa verde, radiação fotossinteticamente ativa absorvida (JENSEN, 2009).

Estes índices ressaltam o comportamento espectral da vegetação, criados no intuito de se obter em análises mais adequadas dos dados coletados através das imagens orbitais, reduzindo os trabalhos e maximizando as informações espectrais da vegetação, com um número reduzido de operações possíveis para os sensores (MOREIRA, 2005). Nesse contexto, os índices de vegetação são baseados em medidas quantitativas e valores digitais, responsáveis por medir a biomassa vegetal. São obtidos pela combinação de bandas espectrais distintas que podem ser somadas, subtraídas, multiplicadas ou divididas, obtendo-se como resultado um valor único que, indica abundância ou vigor da vegetação (SANTOS; PELÚZIO; SAITO, 2010).

Diversos trabalhos foram desenvolvidos na área ambiental com a utilização dos índices de vegetação. Dentre eles, destacamos o diagnóstico físico conservacionista e das vulnerabilidades para o ordenamento territorial da microbacia do Riacho do Tronco, no município de Boa Vista – PB (MELO, 2010); Análise da cobertura vegetal e sua importância na análise morfodinâmica da bacia hidrográfica do Rio Taperoá (ALMEIDA; CUNHA; NASCIMENTO, 2012) e Índices espectrais, diagnóstico da vegetação e da degradação da caatinga da bacia do Rio Taperoá-PB (CHAVES et al., 2014).

Um dos índices mais conhecidos e utilizados é o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, ou NDVI (ROCHA; SHAVER, 2009; HUETE; SALESKA, 2010), proposto por Rouse et al. (1974). Este índice é caracterizado pela aplicação de técnicas de realce das imagens através da relação matemática entre medidas espectrais da banda do vermelho, absorvido pela clorofila, e a reflexão da banda do infravermelho próximo pela estrutura das

folhas. (MELO; SALES; OLIVEIRA, 2011). O NDVI é derivado de uma combinação aritmética de bandas que se baseia no contraste entre os modelos de respostas da vegetação nas faixas espectrais do vermelho e infravermelho próximo, com base na seguinte equação: $NDVI = (IVP - V) / (IVP + V)$, onde: IVP: valor da reflectância do infravermelho próximo (banda 4); e V: valor da refletância do vermelho (banda 3) (MOREIRA, 2005).

Numericamente, os valores do NDVI variam de -1 (menos um) a +1 (mais um). A presença de vegetação está associada a valores positivos, sendo que valores mais próximos de 1 implicam vegetações mais densas, úmidas e estágios mais desenvolvidos. Materiais como água, nuvens e neve têm melhor reflectância na faixa do vermelho (banda 3), com presença de valores negativos próximos a -1. Solos expostos e rochas tendem a apresentar valores positivos próximos a zero, visto que ambas as situações refletem os dois comprimentos de ondas em intensidades semelhantes (MELO; SALES; OLIVEIRA, 2011).

A baixa reflectância das folhas na região do visível acontece devido à absorção da radiação solar por parte dos pigmentos encontrados nos cloroplastos. No entanto, a alta reflectância do infravermelho próximo deve-se, principalmente, ao espalhamento da radiação solar no mesófilo, devido à interação que ocorre entre a estrutura interna das folhas e a radiação solar (OLIVEIRA; CHAVES; LIMA, 2009).

A partir da classificação realizada pelo NDVI, torna-se possível avaliar as condições espaciais e temporais da vegetação, contribuindo para o entendimento das modificações ocorridas em um determinado ecossistema entre os anos analisados, principalmente na identificação dos lugares de maior alteração da cobertura vegetal (LOURENÇO; LANDIM, 2004; CUNHA et al., 2012). Para a região semiárida, a utilização do NDVI surgiu como opção adequada à modelagem e ao monitoramento dos níveis de degradação ambiental, em regiões de clima semiárido, pois apresentam alta variabilidade da biomassa vegetal em diferentes períodos, com predominância, de solos expostos, com baixo teor de matéria orgânica e umidade do solo, resultando no decréscimo nos valores de NDVI, fato contrário em relação às áreas com predominância de solos escuros, em que ocorrem acréscimos nos valores obtidos pelo índice (LOEBMANN, 2008). O NDVI tem proporcionado boa correlação com as modificações na biomassa verde, sendo bastante utilizado devido a suas valiosas contribuições para o monitoramento sazonal da vegetação (JENSEN, 2009).

2.4 Geoprocessamento e Sistema de Informação Geográfica – SIG

O geoprocessamento pode ser compreendido como o emprego de técnicas matemáticas e computacionais que tratam de informações extraídas de elementos ou fenômenos identificados geograficamente, quando eles são observados por um sistema sensor (MOREIRA, 2011). O geoprocessamento é uma ferramenta importante para o levantamento e processamento de informações relacionadas a questões ambientais, que, por meio de programas específicos, possibilitam análises de dados, gerando, de forma rápida e eficiente, uma série de informações imprescindíveis para o estudo ambiental de uma determinada área (BITTENCOURT et al., 2009).

A manipulação e interpretação de vários conjuntos de dados têm levado os pesquisadores ao emprego de aparelhos computacionais para armazenamento dos dados e análise conjunta ou de forma integrada. Sendo assim, tornou-se necessário o desenvolvimento e a operacionalização de aplicativos computacionais denominados SIGs (BACKES, 2010).

O SIG é uma ferramenta com capacidade de coleta, armazenamento, tratamento, integração, processamento, recuperação, alteração, manipulação, modelagem, modernização, análise e exposição dos dados digitais georreferenciados, topologicamente estruturadas, associadas ou não a um banco de dados alfanuméricos (ROCHA, 2002).

Segundo Ribeiro (2006), o SIG é capaz de integrar, em uma única base de dados, subsídios derivados de um relatório de levantamentos de solos, imagens de satélite ou radar, além de mapas geológicos, planialtimétricos, geomorfológicos, climáticos e de vegetação. A principal característica dos SIGs é a habilidade que de originar representações cartográficas referentes às regiões de interesse, agregando informações importantes (GONÇALVES, 2004).

O uso do geoprocessamento e do Sistema de Informação Geográfica (SIG) torna-se cada vez mais importante em pesquisas relacionadas à dinâmica da cobertura vegetal, como no estudo da evolução espacial e temporal da cobertura vegetal no município de Boa Vista-PB (SOUSA et al., 2008); Estudo da alteração da cobertura vegetal na sub-bacia do Rio Espinharas (SILVA; LIMA; MENDONÇA, 2014); Na caracterização do estado e processos de mudança em uma floresta dinâmica no Canadá (GÓMES; WHITE; WULDER, 2011); Na avaliação da dinâmica da vegetação e suas respostas a variações de precipitação e temperatura no planalto tibetano (ZHONG et al., 2010) e nos estudos ambientais do estuário do Rio Acaraú – CE (ARAUJO; FREIRE, 2013).

O emprego do geoprocessamento incorporado ao uso do SIG possibilita o armazenamento e manipulação de qualquer tipo de informação georreferenciada, permitindo o

monitoramento contínuo de elementos espaciais de forma mais rápida, em relação aos procedimentos tradicionais (BACKES, 2010).

2.5 Relações entre índices de vegetação e as variáveis climáticas

As mudanças de uma comunidade vegetal ocorrem, geralmente, sazonalmente, em decorrência dos fatores bióticos e abióticos. Estudar o comportamento das comunidades vegetais em função das variáveis abióticas, especialmente as climáticas, contribui para a melhor compreensão das mudanças ocorridas, assim como na previsão de eventos que possam ocorrer na estrutura dos ecossistemas (RIBEIRO; ABRAHÃO; XAVIER, 2009).

O conhecimento aprimorado na relação clima/cobertura vegetal possui diversas aplicações nos problemas existentes de interesses práticos e científicos. Nesse caso, estudos dessa natureza são importantes na avaliação do efeito da variabilidade climática no comportamento da cobertura vegetal e vice-versa, principalmente no Brasil, que possui extensão continental e predomínio de diversos padrões climáticos (GURGEL, 2000).

Fatores climáticos como temperaturas demasiadamente baixas ou altas e precipitação deficiente atuam como fontes significativas de estresse abiótico (LARCHER, 2000). Assim, variações sazonais na disponibilidade dessas variáveis podem limitar ou potencializar o crescimento da vegetação, alterando o acúmulo de biomassa e a taxa de senescência (LEE et al., 2002).

A precipitação é um dos principais fatores que influenciam na produção de biomassa em áreas secas e, por isso, é bastante correlacionada com a cobertura vegetal, tornando as regiões semiáridas sensíveis às mudanças climáticas (BRINKMAN et al., 2011). Nessas regiões, a análise é complexa, pois a cobertura vegetal apresenta um elevado grau de variabilidade interanual, e as transformações detectadas na propriedade da superfície podem ser resultantes de uma elasticidade da resposta da chuva (BRADLEY; MUSTARD, 2005).

O emprego dos Índices de Vegetação relacionados com as variáveis pluviométricas tem fornecido um avanço considerável nas pesquisas que estabelecem relações entre essas variáveis (WAGNER, 2013). A literatura possui diversos trabalhos que buscam avaliar a relação existente entre os índices de vegetação e a precipitação, tais como os desenvolvidos por Lucas e Schuler (2007); Backes (2010); Ribeiro et al. (2009); Zhong et al. (2010).

Chikoore e Jury (2010), em estudo desenvolvido na África do Sul, realizaram uma análise integrada entre a precipitação e os dados de NDVI, com o objetivo de verificar a interação existente entre seus padrões e estabelecer a distribuição espacial e temporal das

chuvas e da vegetação na porção na sul da África do sul. Huete et al. (2006) avaliaram a relação existente entre o padrão sazonal da precipitação e a sazonalidade da vegetação. Becerra, Shimabukuro e Alvalá (2008) estudaram a relação do padrão sazonal da vegetação com a precipitação na região de cerrado da Amazônia legal, usando índices de vegetação. Yuan e Roy (2007) na análise da relação existente entre o NDVI e as variáveis climáticas através de análises de regressão interpolação espacial para o estado de Minnesota-EUA. Segundo Wang et al. (2003) analisaram a relação entre precipitação e NDVI é forte e previsível quando visualizada na escala espacial apropriada.

3 REFERÊNCIAS

- ALVES, J.J.A. **Geocologia da caatinga no semi-árido do nordeste brasileiro.** Climatologia e Estudos da Paisagem, Rio Claro, Vol. 2, n. 1, 2007, p. 58 – 71.
- ALVES, J. J. A. ARAÚJO, M. A.. NASCIMENTO, S.S do. Degradação da caatinga: uma investigação ecogeográfica. In: **Caminhos da geografia** - Revista *on line*. Instituto de Geografia UFU / Programa de Pós-graduação em Geografia. Uberlândia-MG, v.9, n.26 Jun./2008 p.143- 55.
- ALMEIDA, N. V; DA CUNHA, S. B; NASCIMENTO, F. R. A cobertura vegetal e sua importância na análise morfodinâmica da bacia hidrográfica do rio Taperoá–nordeste do Brasil/paraíba. **Revista Geonorte**, v.3, n.6, p.365-378, 2012.
- AQUINO, C. M. S; OLIVEIRA, J. G. B . Estudo da dinâmica do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) no Núcleo de São Raimundo Nonato-PI. GEOUSP - **Espaço e Tempo**, São Paulo, Nº 31, pp. 157 - 168, 2012.ISSN: 1414-7416.
- ARAÚJO, I. P; LIMA, J. R; MENDONÇA, I. F. C. Uso e degradação dos recursos naturais no semiárido brasileiro: estudo na Microbacia Hidrográfica do Rio Farinha, Paraíba, Brasil. **Caminhos de Geografia**, v. 12, n. 39, 2011.
- ARAÚJO, F.S. et al. Repartição da flora lenhosa no domínio da caatinga. In: ARAÚJO, F. S.; RODAL, M. J. N.; BARBOSA, M. R.V. (orgs). **Análise das variações da biodiversidade do bioma caatinga**: Suporte a estratégias regionais de conservação. Brasília: MMA, 2005. cap. 1, p. 15 – 33.
- ARAÚJO, M. V; FREIRE, G. S S. Utilização de SIG nos estudos ambientais do estuário do rio Acaraú/Ceará. **Revista Geonomos**, v. 15, n. 2, 2013.
- BACKES, K. S. **Variações do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) do sensor modis associadas a variáveis climáticas para o estado do Rio Grande do Sul. 2010.** Dissertação Mestrado (Engenharia florestal). - Universidade Federal de santa maria.
- BARRETO, A. F; BARBOSA, J. K. A. Mecanismos de resistência à seca que possibilitam a produção em condições do semi-árido nordestino. **3º Simpósio brasileiro de captação de água de chuva no semi árido. UFPB. Petrolina, PE, 2001.**
- BELTRAME, A.V. **Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas**: modelo e aplicação. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1994. 112 p.
- BECERRA , J. A. B; SHIMABUKURO, Y. E; ALVALÁ, R. C. D. S. Relação do padrão sazonal da vegetação com a precipitação na região de Cerrado da Amazônia Legal, usando índices espectrais de vegetação. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n. 2, p. 125-134, 2009.
- BITTENCOURT, D. C. ANDRADE, H. O. FERNANDES, R. C. Análise socioambiental do município de Serra Preta – BA. In: **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 5579-5586.

BRASIL. **Lei n. 9.433 de 8 de janeiro de 1997**. Institui a política nacional de recursos hídricos, cria o sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o artigo 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Relatório final - Grupo de trabalho interministerial para redelimitação do semi-árido nordestino e do polígono das secas. **Brasília, 2005a**.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Nova Delimitação do Semi-Árido Brasileiro. **Brasília, 2005b**. Ministério da Integração Nacional / Secretaria de Políticas de Desenvolvimento Regional.

BRADLEY, B. A.; MUSTARD, J. F. Identifying land cover variability distinct from land coverchange: Cheatgrass in the Great Basin. **Remote Sensing of Environment**, v.94, p.204-213, 2004.

BRINKMANN, K.; DICKHOEFER, U.; SCHLECHT, E.; BUERKERT, A. Quantification of aboveground rangeland productivity and anthropogenic degradation on the Arabian Peninsula using Landsat imagery and field inventory data. **Remote Sensing of Environment**, v.115, p.465-474, 2011.

CAMPOS, S. V de. **Alterações no uso do solo e da cobertura vegetal na sub-bacia rio cuiabá alto e sua influência na fluviometria, no período de 1970-2002.**, 2004. 154 p. Dissertação Mestrado (Agricultura Tropical). - Universidade Federal de Mato Grosso/Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária/ Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical, Cuiabá, 2004.

CHANDER, G.; MARKHAM, B. L.; BARSİ, J. A. Revised Landsat-5 thematic mapper radiometric calibration. **IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters**, v.4, p.490 - 494, 2007.

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**, v.113, p.893-903, 2009.

CHANDER, G.; HAQUE, M. O.; Micijevic, E.; Barsi, J. A.A. Procedurefor radiometric recalibration of Landsat 5 TM Reflectiveband data. **IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters**,v.48,p.556-574, 2010.

CHAVES, I. de B. et al. Índices Espectrais e Diagnóstico da Degradação da Caatinga na Bacia Hidrográfica do Açude Soledade, Paraíba-BR. **Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água**, v.19, 2012.

CHIKOORE, H.; JURY, M. R. Intraseasonal Variability of Satellite-Derived Rainfall and Vegetation over Southern Africa. **Earth Interactions**. Bowling Green, vol 14, no. 3, jan 2010.

CIRILO, J. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; CAMPOS, J. N. B. A questão da água no semiárido brasileiro. In: BICUDO, C.E. de M; TUNDISI, J.G.; SCHEUENSTUHL, M.C.B.. (Org.). **Águas do Brasil análises estratégicas**. São Paulo: Instituto de Botânica, 2010. v. 1, p. 81-91.

CUNHA, J. E. D.B.L., RUFINO, I.A.A., SILVA. B. B., CHAVES, I. D. B. Dinâmica da cobertura vegetal para a Bacia de São João do Rio do Peixe, PB, utilizando-se sensoriamento remoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.5, p. 539-549, 2012.

DRUMOND, M. A. et al. **Estratégias para o Uso Sustentável da Biodiversidade da Caatinga**. Documento para discussão no GT Estratégias para o Uso Sustentável. Petrolina, 2000.

DUARTE, G.S, COSTA, G. E., OLIVEIRA, A. P., BARROS, R. S., CRUZ, C. B. M. O uso da geometria do Landsat 8 como base para georreferenciamento semiautomático visando estudos espaço-temporais. In: **Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE, p.5216-5223.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em sensoriamento remoto**. 3.ed.ampl. e atual. São Paulo: Oficina de textos, 2011. 128p.

FOODY, G. M. Assessing the accuracy of land cover change with imperfect ground reference data. **Remote Sensing of Environment**, v.114, p.2271-2285, 2010.

GIULIETTI, A.M.; CONCEIÇÃO, A. QUEIROZ, L.P. 2006. Riqueza de espécies e Caracterização das Fanerógamas do Semi-árido Brasileiro. Recife, Associação Plantas do Nordeste, Ministério da Ciência e Tecnologia.

GONÇALVES, J. L. de G. **Classificação da capacidade de uso de terra nos municípios de Alagoa Grande e Alagoinha (PB) através de Sensoriamento Remoto**. 2004. 144 f. Dissertação (Mestrado em Manejo do Solo e Água) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia, PB, 2004.

GÓMEZ, C; WHITE, J. C.; WULDER, M. A. Characterizing the state and processes of change in a dynamic forest environment using hierarchical spatio-temporal segmentation. **Remote Sensing of Environment**, v. 115, n. 7, p. 1665-1679, 2011.

GURGEL, H. D. C. **Variabilidade espacial e temporal do NDVI sobre o Brasil e suas conexões com o clima**. Tese de Doutorado. Tesis de Maestría INPE. 2000.

HENRY-SILVA, G.G; CAMARGO, A.F.M. Impacto do lançamento de efluentes urbanos sobre alguns ecossistemas aquáticos do município de Rio Claro (SP). **Revista Ciências Biológicas e do Ambiente**, 2(3): 317-330, 2000.

HUETE, A.R.; DIDAN, K.; SHIMABUKURO, Y.; RATANA, P.; SALESKA, S.R.; HUTYRA, L.R.; YANG, W.; NEMANI, R.R.; MYNENI, R. Amazon rainforests greenup with sunlight in dry season. **Geophys. Res. Lett**, v. 33, L06405, 2006.

HUETE, A. R.; SALESKA, S. R. Remote sensing of tropical forest phenology: issues and controversies. **International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science**, Kyoto, v. 38, n. 8, p. 539-541, 2010.

HUSSAIN, M. Z.; GRÜNWALD, T.; TENHUNEN, J. D.; LI, Y. L.; MIRZAE, H.; Bernhofer, C.; Otieno, D.; Dinh, N. Q.; SCHMIDT, M.; WARTINGER, M.; OWEN, K. Summer drought influence on CO₂ and water fluxes of extensively managed grassland in Germany. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.141, p.67-76, 2011.

JENSEN, J.R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009. 598 p.

LACERDA, A. V. de. BARBOSA, F. M. **Matas ciliares no domínio das caatingas**. João Pessoa: Editora Universitária/UFPB, 2006. 150p.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Editora Rima, 2000. 539p.

LEE, R.; YU, F.; PRICE, K.P. Evaluating vegetation phenological patterns in inner mongolia using NDVI time-series analysis. **International Journal of Remote Sensing**, v. 23, n. 12, p. 2505-2512, 2002. Sensor pesquisar no Inpe.

LIBOS, Michely et al. Covariabilidade interanual entre a vegetação e o clima na bacia hidrográfica do rio Cuiabá-MT. **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, INPE**, p. 4739-4746. 2009.

LOEBMANN, D. G S. W. dos. **Classificação fitofisionômica do cerrado no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros, GO, com a aplicação de uma análise combinatória com filtros adaptativos em imagens TM Landsat**. 2008. 65 p. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília. Instituto de Ciências Humanas. Departamento de Geografia. Mestrado em Gestão Ambiental. Brasília, 2008.

LOURENÇO R. W.; LANDIM, P. M. B. Estudo da variabilidade do "índice de vegetação por diferença normalizada/NDVI" utilizando krigagem indicativa. **HOLOS Environment**, v.4 n.1, p.38-55, 2004.

LOPES, E.S.S. **Tutorial 10 Aulas - SPRING 5.0**. Versão Windows e Linux: SPRING Básico. INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2008.

LUCAS, A. A.; SCHULER, C. A. B. Análise do ndvi/noaa em cana-de-açúcar e mata atlântica no litoral norte de Pernambuco, brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e ambiental**, v.11, n.6, p.607-614, 2007.

MASCARENHAS, L. M. A; FERREIRA, L. G; FERREIRA, M. E. Sensoriamento remoto como instrumento de controle e proteção ambiental: análise da cobertura vegetal remanescente na bacia do rio Aráguia. **Revista Sociedade & Natureza**, v.21, n.1, 2009.

MEDEIROS, Y. D. P. Análise dos impactos das mudanças climáticas em região semi-árida. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.8, p.127-136, 2003.

MELO, J. A. B. **Diagnóstico físico-conservacionista e das vulnerabilidades como subsídio ao ordenamento territorial da microbacia do Riacho do Tronco, Boa Vista, PB.** 2010. 218 p. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) - Departamento de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande (PB), 2010.

MELO, E. T.; SALES, M. C. L.; OLIVEIRA, J. G. B. Aplicação do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) para análise da degradação ambiental da microbacia hidrográfica do riacho dos cavalos, Crateús – CE. **RAÍÇA**, v.23, p.520-533, 2011.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. **Avaliação e ações prioritárias para a conservação da biodiversidade da caatinga.** Universidade Federal de Pernambuco / Fundação de Apoio ao Desenvolvimento / Conservation International do Brasil, Fundação Biodiversitas, Embrapa/Semi-árido. Brasília: MMA/SBF, 2002.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. **Mapas da cobertura vegetal dos biomas brasileiros.** Brasília, 2007. Ministério do Meio Ambiente / PROBIO / CNPQ / IBGE.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. **Termos de referência para a elaboração do plano de recursos hídricos da bacia do rio Piranhas-Açu.** Versão aprovada pela CTPI em 27 de setembro de 2010.

MONTENEGRO, S.; RAGAB, R. Impact of possible climate and land use changes in the semi arid regions: A case study from North Eastern Brazil. **Journal of Hydrology**, v.434-435, p.55-68, 2012.

MOREIRA, M.A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação.** 2.ed. Viçosa-MG: UFV, 2003. 307 p.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação.** 3. ed. atualizada e ampliada. Viçosa: Ed. UFV, 2005. 320p.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação.** 4. ed. atualizada e ampliada. Viçosa, MG: Ed. da UFV, 2011. 422p.

MORTON, D. C.; DEFRIES, R. S.; NAGOL, J.; SOUZA Jr., C. M.; KASISCHKE E. S.; HURTT, G. C.; Dubayah, R. Mapping canopy damage from understory fires in Amazon forests using annual time series of Landsat and MODIS data. **Remote Sensing of Environment**, v.115, p.1706-1720, 2011.

NOVO, E. M. L. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações.** 3. ed. São Paulo:Blucher, 2008.

OLIVEIRA, W. M. de; CHAVES, I. de B.; LIMA, E. R. V. de. Índices espectrais de vegetação de caatinga em um neossolo litólico do semiárido paraibano. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14, 2009, Natal. **Anais... Natal: INPE**, 2009. p.2103-2110.

PONZONI, F. J; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação.** São José do Campos: Parêntese, 2009. p 127.

QUEIROZ, L.P. **Angiospermas do Semi-árido Brasileiro** In: Queiroz, L.P de; RAPINI, A. & GIULIETTI A. M. (Editores). **Rumo ao Amplo Conhecimento da Biodiversidade do Semi-árido Brasileiro**. 2006

REMPEL, C. **Aplicação do sensoriamento remoto para determinação da evolução da mata nativa da bacia hidrográfica do rio Forqueta – RS**, entre 1985 e 1995. Porto Alegre: Centro de pesquisas em sensoriamento remoto e meteorologia. 2000. 85 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento remoto). UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL. Porto Alegre, 2000.

RIBEIRO, G. N. R. **Mapeamento do uso atual da terra e cobertura vegetal em área do agreste paraibano utilizando técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento**. 2006. Dissertação (Mestrado em Manejo do solo e água) – Universidade Federal da Paraíba, Areia, PB, 2006.

RIBEIRO, C. A. D; ABRAHÃO, C. P; XAVIER, A. C. Correlações entre variáveis climáticas e séries multitemporais EVI em floresta natural e em cultivo agrícola. **Cerne**, v. 15, n. 2, p. 196, 2009.

RODAL, M. J. N.; SAMPAIO, E. V. S. B. A vegetação do bioma caatinga. In: SAMPAIO, E. V. S. B.; GIULIETTI, A. M.; VIRGINIO, J.; GAMARRA-ROJAS, C. F. L. (Ed.). **Vegetação e flora da caatinga**. Recife: PNE/CNIP, 2002. p. 11-24.

ROCHA, C.H.B. **Geoprocessamento: Tecnologia Transdisciplinar**. Juiz de Fora: Ed. Do. 2. ed. Juiz de Fora: Ed. do Autor, 2002. 220 p.

ROCHA, A. V.; SHAVER, G. R. Advantages of a two band EVI calculated from solar and photosynthetically active radiation fluxes. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 149, n. 9, p. 1560-1563, 2009.

RÖDER, A.; HILL, J.; DUGUY, B.; ALLOZA, J. A.; VALLEJO, R. Using long time series of Landsat data to monitor fire events and post-fire dynamics and identify driving factors. A case study in the Ayora region (Eastern Spain). **Remote Sensing of Environment**, v.112, p.259-273, 2008.

ROTENBERG, E.; YAKIR, D. Contribution of Semi-Arid forests to the climate system. **Science**, v.327, p.451-454, 2010.

ROUSE, J. W.; HASS, R. H.; DEERING, D. W.; SCHELL, J. A. **Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation**. Austin: Texas A. M. University, College Station, 1974

SÁ, I. I. S.; GALVÍNCIO, J. D; MOURA, M. S. B.; SÁ, I. B. Uso do índice de vegetação da diferença normalizada (IVDN) para caracterização da cobertura vegetal da região do Araripe pernambucano. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.1, n.1, 28 38, 2008.

SAMPAIO, E.V.S.B. **Caracterização da caatinga e fatores ambientais que afetam a ecologia das plantas lenhosas**. p. 129-142. In: V.C. Sales (ed.). **Ecossistemas brasileiros: manejo e conservação**. Fortaleza, Expressão Gráfica e Editora. 2003.

SANTOS, A.R.; PELUZIO, T.M.O.; SAITO, N.S. **SPRING 5.1.2: passo a passo: aplicações práticas**. Alegre, ES: CAUFES, 2010. 153 p.

SILVA, S. T. A. **Mapeamento da evapotranspiração na Bacia Hidrográfica do Baixo Jágua ribe usando técnicas de sensoriamento remoto**. Campina Grande: UFCG, 2009. 119p. Tese Doutorado.

SILVA, M. K. A. **Análise geoambiental das bacias hidrográficas federais do cerrado mineiro**. 200 f.: il.. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2009.

SILVA, M.K.A.; ROSA, R. Cobertura vegetal natural e uso antrópico nas UPGRH's e bacias hidrográficas federais do bioma cerrado – MG. In: **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, n. 19, v.1, p.169-183, 2007.

SILVA, R. M. P. **Alteração da cobertura vegetal na sub-bacia do Rio Espinharas no período 2000-2010: o geoprocessamento como ferramenta para o gerenciamento ambiental**. 2011. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Ciências Florestais. CSTR/UFCG, Patos - PB, 2011. 143p.:il.

SILVA, R.M.P.S. LIMA, J.R.; MENDONÇA, I.F.C. Alteração da cobertura vegetal na sub-bacia do Rio Espinharas no período 2000 – 2010. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.2, p.202–209, 2014.

SILVEIRA, V.F. Geoprocessamento como instrumento de gestão ambiental. In: PHILIPPI J.A.; ROMÉRIO, M.A.; BRUNA, C.G. (Ed.). **Curso de gestão ambiental**. Barueri, SP: Manole, 2004. – (Coleção ambiental – Vol.1) - pp. 945-968.

SMITH, S.W; PETRERE, J. Caracterização limnológica da bacia de drenagem do Rio Sorocaba, São Paulo, Brasil. **Acta Limnologica Brasiliensia**, 12: 173-186, 2001.

SOUSA, R. F. et al. Estudo da evolução espaço-temporal da cobertura vegetal do município de Boa Vista-PB, utilizando geoprocessamento. **Revista Caatinga**, v. 21, n. 3, 2008.

STELLMES, M.; UDELHOVEN, T.; RÖDER, A.; Sonnenschein, R.; Hill, J. Dryland observation at local and regional scale – Comparison of Landsat TM/ETM+ and NOAA AVHRR time series. **Remote Sensing of Environment**, v.114, p.2111-2125, 2010.

USGS - Geological Survey / Serviço de Levantamento Geológico Americano (2013). Aquisicao de imagens orbitais digitais gratuitas do satellite Landsat-8: data de passagem 04/08/2013 EUA. Disponível em <<http://landsat.usgs.gov>>. Acesso em 02. Fev. 2017.

VELLOSO, A. L.; SAMPANHO, E.V.S.B; PAREYN, F.G.C. **Ecorregiões propostas para o bioma da caatinga**. Recife: UFPE; PE, 2002. 176p.

WAGNER, A. P. L. **Dinâmica temporal de índices de vegetação no Pampa do Rio Grande do Sul e Uruguai e suas relações com os elementos meteorológicos regionais**. 2013. **RS**. 2013. 160 p. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) –Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, RS, 2013.

WANG, J; RICH, P. M.; PRICE, K. P. Temporal responses of NDVI to precipitation and temperature in the central Great Plains, USA. **International journal of remote sensing**, v. 24, n.11, p.2345-2364, 2003.

YUAN, F.; ROY, S. S., **Analysis of the Relationship Between NDVI and Climate Variables in Minnesota Using Geographically Weighted Regression and Spatial Interpolation**. ASPRS 2007 Annual Conference. Tampa, Florida. 2007.

XIAOLIN, Z.; DESHENG, L. Improving forest aboveground biomass estimation using seasonal Landsat NDVI time-series. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, 2014.

ZHONG, L., MA, Y., SALAMA, M. S., SU, Z. Assessment of vegetation dynamics and their response to variations in precipitation and temperature in the Tibetan Plateau. **Climatic Change**, v.103, n.3-4, p.519-535, 2010.

CAPÍTULO I - DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NVDI) ASSOCIADA ÀS VARIÁVEIS PLUVIOMÉTRICAS PARA SUB-BACIA DO RIO ESPINHARAS

1 INTRODUÇÃO

A distribuição espaço/ temporal da cobertura vegetal de uma região é influenciada por diversos fatores, incluindo condições climáticas, topográficas e edáficas, além da junção desses fatores. Considerando a vegetação como um bom indicador das condições ambientais predominantes (temperatura, ciclo hidrológico, entre outros), alterações em sua dinâmica podem ser indicadores importantes das variações destas condições (BACKES, 2010).

Para o desenvolvimento de medidas de conservação e manutenção dos recursos hídricos, é necessário compreender as interações existentes entre a precipitação e a dinâmica da cobertura vegetal no espaço/tempo, o que tem sido possível devido ao emprego de ferramentas que auxiliam no monitoramento do ambiente. A utilização de sensores remotos orbitais, em séries temporais, para este fim vem se destacando na comunidade científica, com uma avaliação rápida, prática e precisa do meio ambiente (FOODY, 2010; CUNHA et al., 2012; XIAOLIN; DESHEND, 2014).

Diversos índices são empregados no monitoramento das mudanças na estrutura, fisionomia e dinâmica na cobertura florestal no decorrer do tempo. Dentre eles, destaca-se o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) (AQUINO; OLIVEIRA, 2012). O NDVI é um instrumento eficaz no monitoramento da vegetação, permitindo a análise temporal para detecção de alterações fisiológicas das folhas, atividade sazonal e fenológica (PONZONI; SHIMABUKURO; KUPLICH, 2012) e na estimativa da quantidade de biomassa presente em diferentes épocas do ano (XIAOLIN; DESHENG, 2014). Este índice vem sendo bastante utilizado na estimativa de áreas secas, estando intimamente correlacionado com as variáveis climáticas da região (BARBOSA; HUETI; BAETHGEN, 2006).

A precipitação é um dos principais fatores responsáveis pela disponibilidade de biomassa em regiões semiáridas e, portanto, altamente correlacionada com a cobertura vegetal (CUNHA et al., 2012). Por reunir esta característica, o semiárido se torna um indicador sensível das mudanças climáticas (BRINKMANN et al., 2011). A precipitação influencia na distribuição, produção de biomassa e localização geográfica das espécies, além das características do solo, como relevo e as condições edáficas (SAMPAIO, 2003). Compreendendo a importância da disponibilidade hídrica para a dinâmica da cobertura vegetal esta pesquisa faz análise da precipitação de forma isolada, relacionando-a com o NDVI.

A sub-bacia do Rio Espinharas é formada basicamente de regime intermitente, inserida no bioma Caatinga e clima da região semiárido, marcado pela alta variabilidade espacial e

temporal das chuvas (MEDEIROS, 2003), com períodos prolongados de seca, médias pluviométricas de aproximadamente 700 mm anuais, evapotranspiração entre 2000 e 2500 mm anuais, umidade relativa, que varia de 55 a 75% (PARAÍBA, 2006), índice de aridez entre 0,20 e 0,50 e elevado risco de desertificação (PARAÍBA, 2011).

A paisagem natural da área de estudo encontra-se bastante degradada, com extensas áreas de solos expostos, com dominância de uma vegetação do tipo Caatinga arbustiva arbórea aberta, formada principalmente por uma vegetação rala, com baixa frequência de indivíduos arbóreos, com presença de espécies herbáceas e cactáceas (SILVA; LIMA; MENDONÇA, 2014). A sub-bacia vem passando recentemente por grandes alterações em sua paisagem, causadas principalmente pela expansão de atividades antrópicas, apresentando, em 2010, cerca de 66% de sua área ocupada por essas atividades (SILVA, 2011). Diante do exposto e tendo em vista a carência de trabalhos desenvolvidos dentro da temática proposta, espera-se contribuir para a compreensão da relação existente entre o NDVI e a precipitação, por meio do estudo da sub-bacia hidrográfica do Rio Espinharas, localizada na região semiárida dos estados da Paraíba e Rio Grande do Norte.

O objetivo deste estudo foi verificar o comportamento do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), para a sub-bacia do Rio Espinharas, nos períodos seco e chuvoso dos anos de 2005 e 2015, correlacionando-o à precipitação acumulada por período.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área de estudo

O estudo foi conduzido na sub-bacia hidrográfica do Rio Espinharas, pertencente à bacia hidrográfica do Piranhas-Açu, considerado um dos mais importantes sistemas hídricos da Região Semiárida nordestina e a maior unidade da Região Hidrográfica Atlântico Nordeste Oriental (MMA, 2010).

A sub-bacia do Rio Espinharas possui uma área que se estende por uma superfície de, aproximadamente, 3.289,79 Km², localizada nos estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte, circunscrita nos limites dos paralelos: -6° 25' 50,9" e -7° 21' 48,6" e pelos meridianos de -37° 33' 09,7" e -36° 43' 52,3"(Figura 2).

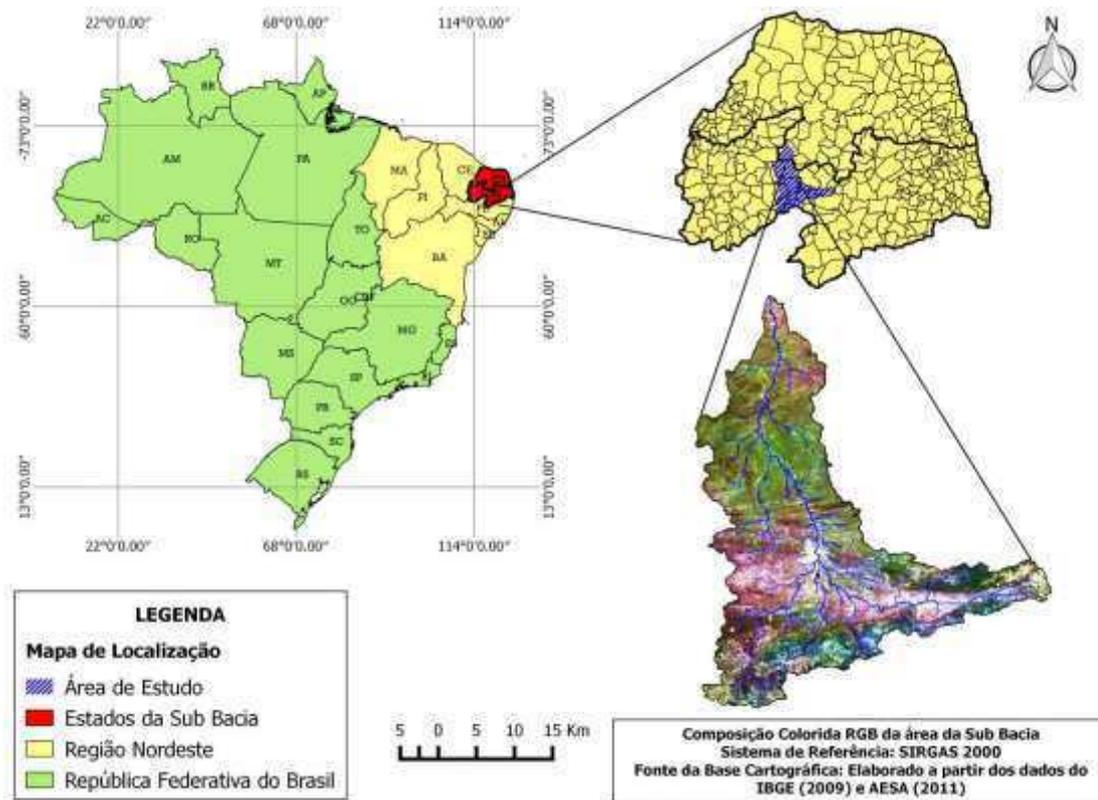


Figura 2 – Localização geográfica da Sub-bacia Hidrográfica do Rio Espinharas.

A sub-bacia do Rio Espinharas é circundada a sudeste pela sub-bacia do Rio Taperoá e, a sudoeste pela sub-bacia do Rio Pajeú, um dos afluentes do Rio São Francisco; a oeste, pela sub-bacia do Rio Piancó e a Região Hidrográfica do Médio Piranhas, e, a leste, pela sub-bacia do Rio Seridó.

A área de estudo encontra-se nos limites das mesorregiões do sertão Paraibano e da Borborema, abrangendo completamente ou parcialmente parte das microrregiões de Patos, Seridó Ocidental, Sousa, Cariris Ocidentais e Serra de Teixeira, na Paraíba (AESA, 2010). Nos limites do estado do Rio Grande do Norte, ocupa parte da microrregião do Seridó Ocidental e mesorregião Central Potiguar (IBGE, 2010). No total, abrange vinte municípios no estado da Paraíba e dois no estado do Rio Grande do Norte.

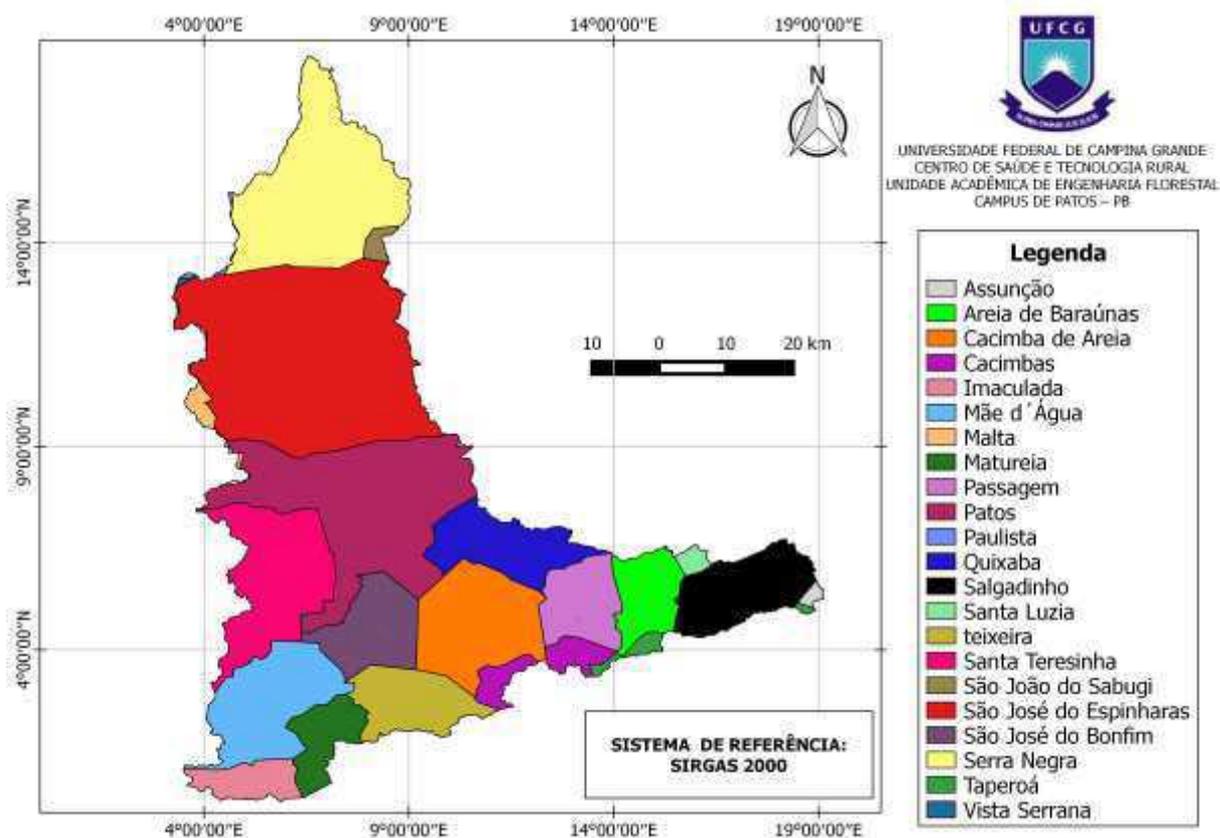


Figura 3 – Limites dos municípios que compõem a Sub-bacia do Rio Espinharas

A área de estudo está situada dentro dos limites do bioma Caatinga e de clima semiárido, com precipitações distribuídas de maneira irregular no espaço/tempo (MEDEIROS, 2003), com solos rasos, pedregosos, cristalinos e susceptíveis à erosão (SILVA; LIMA; MENDONÇA, 2014). Segundo a classificação de Köppen, o clima da porção sudeste da sub-bacia é classificado como Bsh- quente e seco, com ocorrência de chuvas de verão, média pluviométrica de, aproximadamente, 500 mm anuais e temperatura média anual em torno de 26 °C e Aw'. Na porção centro-ocidental da área de estudo, o clima é quente e semiúmido, com presença de chuvas de verão-outono, média pluviométrica anual em torno de 800 mm e temperatura média anual de 27 °C (AESAS, 2010; PARAÍBA, 2011).

2.2 Material, equipamentos e Softwares

Para realização do trabalho, utilizaram-se:

- Softwares Quantum GIS (Versão 2.8.5), Idrisi Andes (Versão 15.0), AutoCAD 2015 e GPS absoluto Garmin Oregon 550;
- Imagens do satélite LANDSAT 5, sensor “TM (Thematic Mapper)”, órbita 215, ponto

065, bandas 2, 3 e 4, para o ano de 2005;

- Imagens do satélite Landsat 8, sensor (OLI)”, órbita 215, ponto 065, bandas 3, 4 e 5, para o ano de 2015;
- Imagem ortorretificada GLS do Landsat 5 a ser empregada no georreferenciamento das imagens;
- Imagens do Google Earth auxiliar na aquisição de pontos de controle geométrico;
- MDE (*Modelo Digital de Elevação*) proveniente de imagens SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), para a delimitação dos divisores topográficos;
- Planilha eletrônica Excel 2010.

2.3 Métodos

A metodologia empregada consistiu das seguintes etapas, podendo as mesmas ser visualizadas no fluxograma da Figura 4:

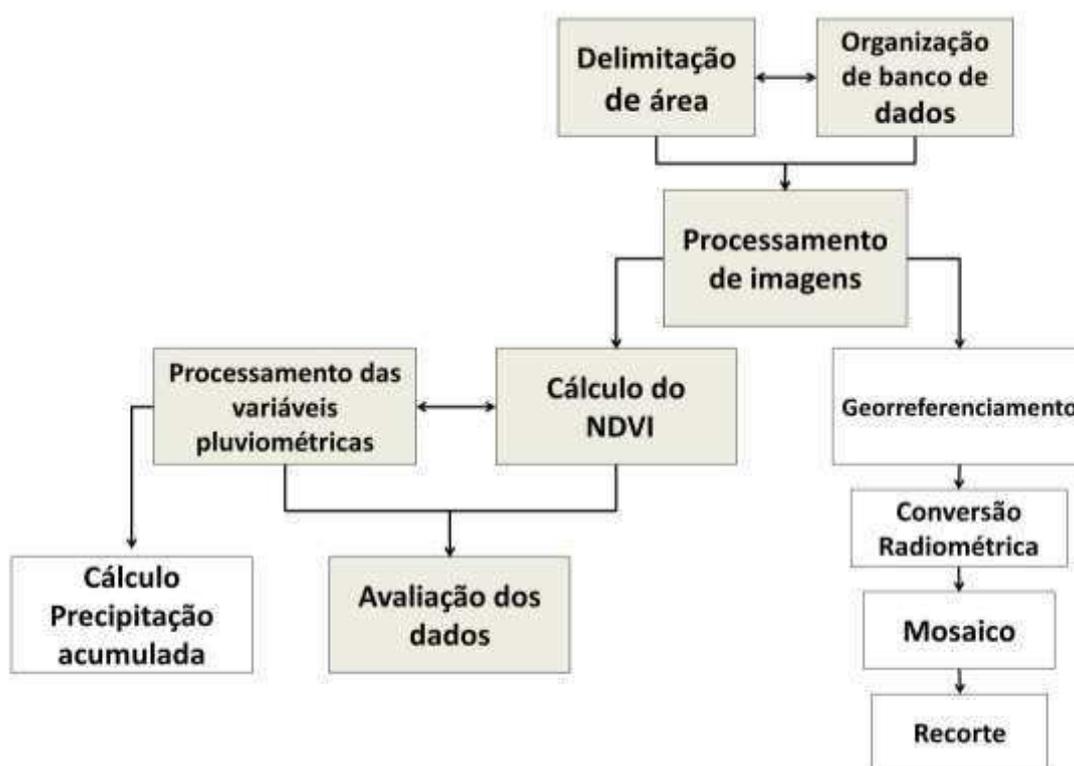


Figura 4 – Fluxograma das etapas metodológicas

2.3.1 Delimitação da área da sub-bacia do Rio Espinharas

A delimitação dos divisores topográficos foi realizada através de um MDE proveniente de imagens SRTM, obtidas junto ao Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), através do endereço earthexplorer.usgs.gov (SOBRINHO et al., 2010). O MDE é um arquivo no formato raster, composto por pixels que possuem coordenadas (x,y) e um valor de elevação (z), que possibilita a representação contínua das superfícies (VALERIANO; ROSSETTI, 2010).

Devido à extensão da área de estudo, foram necessárias 4 cenas SRTM, nos quadrantes: 06S375; 06S39; 07S375 e 07S39. Após a obtenção das cenas, as mesmas foram processadas com o emprego do Quantum GIS versão 2.8.5 (www.qgis.org). Logo após, foi gerado um mosaico das cenas, com a finalidade de gerar um único arquivo, com a combinação das quatro imagens. Em seguida, o mosaico foi projetado para o sistema de coordenadas planas Sirgas 2000 zona UTM 24s, para determinação de área e perímetro da sub-bacia. O passo seguinte consistiu na realização do recorte da área que abrange a sub-bacia, com utilização de um retângulo envolvente, com o objetivo de reduzir significativamente o tamanho da imagem, tornando os processamentos posteriores mais rápidos.

A delimitação da área da sub-bacia foi realizada com o emprego da extensão *TauDEM-Terrain Analysis Using Digital Elevation Model*, um conjunto eficaz de ferramentas capazes de delimitar bacias hidrográficas de maneira automática, rápida e objetiva (CARVALHO, 2007).

Os dados topográficos da área de estudo foram determinados a partir do modelo de elevação digital, adquirido a partir das imagens SRTM. Devido à influência da topografia na análise dos resultados, estes foram determinados a partir de técnicas de geoprocessamento a hipsometria e a declividade do terreno (CUNHA et al., 2012).

2.3.2 Organização do banco de dados

Para o estudo das variações do NDVI, nos anos de 2005 e 2015, com imagens de sensoriamento remoto, foi construído um banco de dados geográfico no *software* IDRISI Andes.

Foram utilizadas imagens multiespectrais dos satélites LANDSAT 5-TM e LANDSAT 8 OLI, disponibilizadas pelo site da NASA (www.earthexplorer.com) da órbita 215 e ponto 65. Para o estudo temporal do comportamento do NDVI, em dois períodos distintos (seco e chuvoso), foram utilizadas as bandas 3 (vermelho) e 4 (infravermelho próximo) do sensor TM e bandas 4 (vermelho) e 5 (infravermelho próximo) do sensor OLI/TIRS, especificadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Identificação das imagens orbitais com cobertura para a área de estudo.

SATÉLITE	SENSOR	ÓRBITA/PONTO	DATA
LANDSAT 5	TM	215/065	07/03/2005
LANDSAT 5	TM	215/065	02/11/2005
LANDSAT 8	OLI	215/065	06/05/2015
LANDSAT 8	OLI	215/065	29/10/2015

As datas das imagens de satélite adquiridas para a realização deste trabalho foram selecionadas para os períodos seco e chuvoso dos anos de 2005 e 2015. Foram selecionadas as imagens que apresentassem menor interferência de nuvens. Os anos analisados foram definidos buscando um intervalo de 10 anos, com base em anos considerados representativos do período de déficit hídrico na região, o que proporciona uma melhor avaliação da alteração da fitomassa da vegetação da caatinga, através do contraste entre a vegetação e solo (SILVA, 2011).

2.3.3 Pré-processamento das imagens de satélite

Muitas vezes, as imagens dos sensores remotos são adquiridas com ruídos, que podem afetar análises temporais. Nesse caso, torna-se necessária a aplicação de técnicas de pré-processamento para deixá-las aptas para o uso (SOUSA, 2012).

O pré-processamento de imagens pode ser definido como o conjunto de processamentos pelo qual passa uma imagem, buscando minimizar possíveis distorções, que podem ser geométricas e/ou radiométricas (SANTOS; PELUZIO; SAITO, 2010). Inicialmente foi realizada a correção geométrica das imagens. Essa etapa é fundamental, uma vez que as imagens obtidas apresentam distorções que alteram a distribuição espacial dos elementos da imagem, afetando escala, afinidade, orientação, entre outras (SOUSA, 2012).

O processamento das imagens foi realizado utilizando o programa IDRISI Andes versão 15.0, licenciado pelo Laboratório de Geoprocessamento da Universidade Federal de Campina Grande UFCG. As imagens foram reprojetaadas para o sistema de referência a projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), Datum horizontal Sirgas 2000 – Zona 24 S. Foi utilizado o método polinomial de 1º grau, utilizando como referência uma imagem ortorretificada do Landsat 5 da região. Foram utilizados, aproximadamente, 20 pontos de controle (PCs), com base em pontos de amarração confiáveis e reconhecíveis nas duas imagens, tais como interseções entre estradas, caminhos, rios e etc. Os pontos de controle foram coletados com Erros Médios Quadráticos (RMS) inferiores a 0,5. O método de reamostragem foi a do vizinho mais próximo.

A correção radiométrica é fundamental para correção de eventuais erros de transmissão dos dados e influências atmosféricas das imagens, além de ajustar os dados de vários sensores e plataformas em uma escala radiométrica comum (CHANDER; MARKHAM; BARSİ, 2009). Essa correção consiste na conversão dos números digitais da imagem em valores de radiância ($L\lambda$), que representam a radiação solar que é refletida por cada pixel que compõe a imagem. O cálculo da radiância foi obtido pela equação proposta por Markham e Barker (1987):

$$L\lambda_i = \left[L_{\min} + \frac{L_{\max} - L_{\min}}{255} \right] \times 255 \quad (1)$$

em que:

$L\lambda_i$ = radiância espectral de cada banda (Calibração radiométrica);

L_{\min} , L_{\max} = são as radiâncias espectrais mínimas e máximas;

ND = é a intensidade do pixel (número digital – número inteiro de 0 a 255);

i = são as bandas (1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7) do satélite Landsat 5 sensor TM.

As imagens foram importadas para o banco de dados do QGIS, com a finalidade de se obterem mosaicos das cenas nas bandas do vermelho e infravermelho próximo para o período estudado. Para reduzir a dimensionalidade dos dados e realçar as informações desejadas, os mosaicos foram recortados segundo o limite da sub-bacia do Rio Espinharas.

2.3.4 Cálculo do NDVI

Os valores obtidos pelo NDVI resultaram no estabelecimento das classes de vegetação da área a ser estudada. O índice foi determinado para os anos de 2005 e 2015, nos períodos seco e chuvoso, tornando possível identificar possíveis mudanças ocorridas na cobertura vegetal no período determinado. Para estudo de vegetação caatinga, tomam-se necessários alguns cuidados com os períodos das imagens que serão utilizadas para avaliação desse índice, pois pode-se comparar imagens de sazonalidades diferentes, o que resultaria em uma análise equivocada, visto que a caatinga sofre alteração considerável da sua fitomassa ao longo do ano (MELO; SALES; OLIVEIRA, 2011).

Para o cálculo do NDVI, foi realizada a subtração de imagens para avaliar a dinâmica da cobertura vegetal dos anos estudados. O aumento da vegetação verde é diretamente proporcional à reflexão do infravermelho próximo e inversamente proporcional na banda do vermelho.

Assim, o NDVI pode ser definido pela expressão matemática da razão entre a diferença da reflectância das bandas do infravermelho próximo e vermelho, pela soma dessas mesmas bandas (ROUSE et al., 1974), ou seja:

$$\text{NDVI} = \frac{(p4 - p3)}{(p4 + p3)} \quad (2)$$

Onde:

$\rho4$ = Infravermelho próximo

$\rho3$ = Vermelho

O NDVI foi dividido em classes, criando-se uma categoria temática com o objetivo de facilitar a visualização da modificação ou variação dos valores do NDVI. Para cada classe criada foi atribuída uma cor.

Foi gerada uma malha de pontos correspondente à localização geográfica de 12 plataformas de coleta de dados (PCD), situadas nos municípios de Areia de Baraúnas, Mãe d'Água, Matureia, Passagem, Patos, Quixaba, Salgadinho, Santa Teresinha, São José do Bonfim, São José do Espinharas, Serra Negra e Teixeira. A partir de cada PCD, foi determinado um raio de 5 km, no qual foram marcados aleatoriamente 30 pontos amostrais

para aquisição dos valores de NDVI em áreas de vegetação natural (BACKES, 2010). As distribuições dos pontos de coleta podem ser observadas na Figura 5.

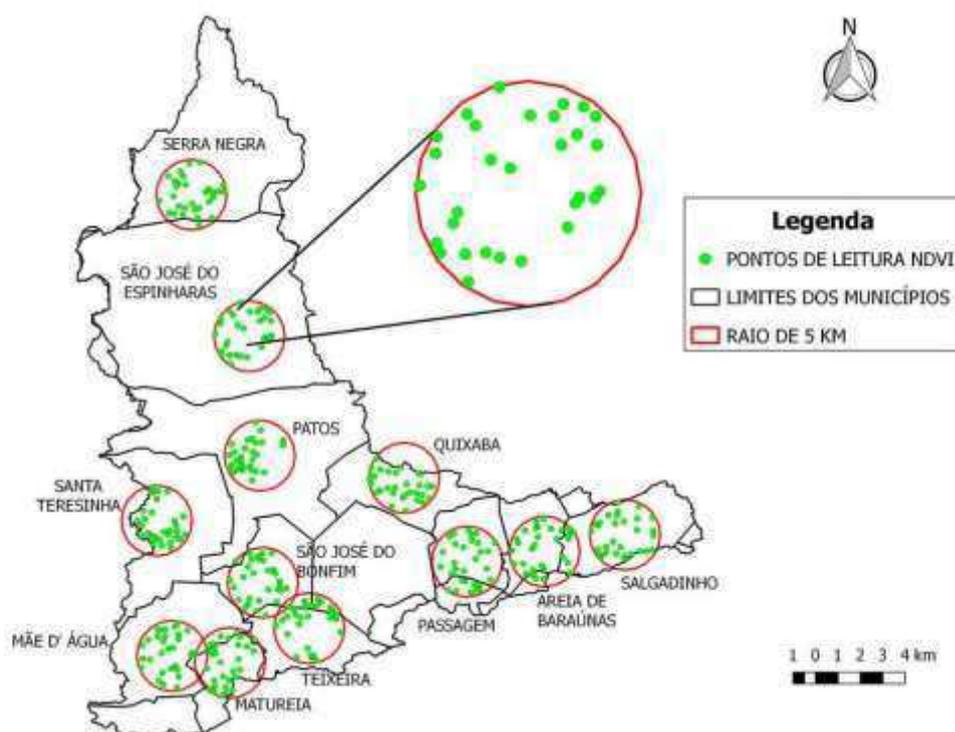


Figura 5 – Localização espacial dos pontos de leitura de NDVI.

As leituras dos valores do NDVI foram realizadas em cada ponto amostral, dentre os 12 municípios avaliados, em cada uma das 4 imagens. A escolha desses municípios foi baseada na localização de cada estação pluviométrica, onde somente os municípios com suas estações dentro dos limites da área de estudo foram selecionados, com exceção da plataforma de Cacimba de Areia, que apresentou falhas nas leituras pluviométricas no ano de 2015. Os valores de NDVI foram organizados em planilha eletrônica Excel.

Para a escolha dos pontos a serem visitados em campo, utilizou-se o programa Google Earth PRO 6.2, do qual foram selecionadas as áreas de interesse. As coordenadas dos pontos foram transferidas para o aparelho GPS para orientar na localização dos pontos no terreno. Após a localização dos alvos terrestres, os mesmos foram registrados com uma câmera digital, com resolução de 12 megapixel.

2.3.5 Processamento das variáveis pluviométricas

Os dados de precipitação referentes ao acumulado em 2005 e 2015, até a data de passagem das imagens dos períodos seco e chuvoso, foram obtidos junto à Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESAs) e Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN).

2.3.6 Avaliação dos dados

Os dados médios de NDVI, obtidos para os meses secos e chuvosos, foram correlacionados com a precipitação acumulada no período até a data imagem. Em seguida, foram realizados testes estatísticos de correlação, com a intenção de verificar a provável relação entre a precipitação e as leituras de NDVI, com enfoque no comportamento da vegetação com a distribuição irregular das chuvas no espaço-tempo.

A correlação entre essas variáveis foi realizada através do índice de correlação de Pearson (R). A relação entre o conjunto de dados quantificado através do grau de correlação entre as amostras resulta em um valor (r) que varia de -1 (correlação negativa perfeita) e +1 (correlação positiva perfeita) (TRIOLA, 2008). Esse estudo seguiu a metodologia apresentada por Backes (2010).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização hidrogeográfica da sub-bacia

A sub-bacia do Rio Espinharas é formada pela confluência do Rio da Cruz e o Rio Farinhas. O Rio da Cruz nasce no município Imaculada-PB, segue no sentido nordeste em direção ao município de Patos – PB. O Rio Farinhas nasce na Serra do Aba, contraforte do planalto da Borborema. Sua principal nascente é o Riacho do Ferro, também conhecido como riacho Acauã localizado no município de Salgadinho – PB (ARAUJO; LIMA; MENDONÇA, 2011). A partir de sua nascente, o Rio Farinhas segue uma distância de aproximadamente 70 Km, no sentido oeste até se encontrar com o Rio da Cruz, no município de Patos-PB, formando, assim o Rio Espinharas (Figura 6). A partir daí, o Rio segue em direção ao município de Serra Negra do Norte, RN, onde deságua no Rio Piranhas-Açu (Figura 7).

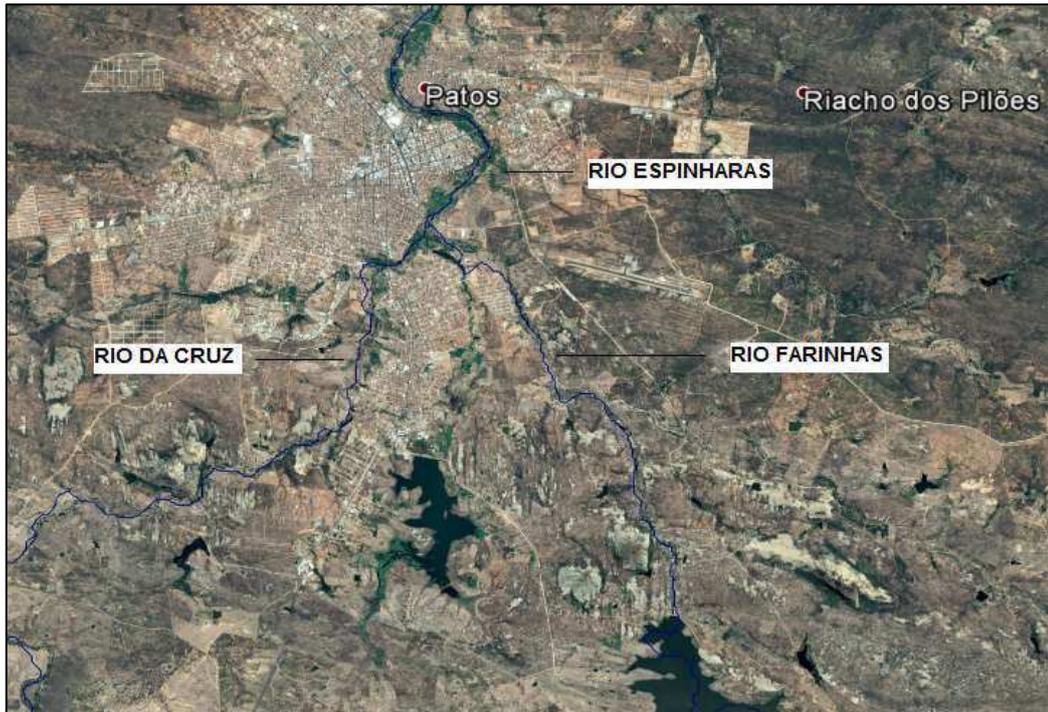


Figura 6 – Encontro do rio da Cruz com o Rio da Farinha, município de Patos – PB



Figura 7– Encontro do Rio Espinharas com o Rio Piranhas-Açu, município de Serra Negra do Norte – RN

A drenagem da sub-bacia se estende, completa ou parcialmente, por vinte e dois municípios. Situa-se nas mesorregiões do Sertão Paraibano e Borborema, envolvendo partes das microrregiões de Patos, Sousa, Serra do Teixeira, Seridó Ocidental e Cariri Ocidental, no estado da Paraíba (AESAs, 2010). No estado do Rio Grande do Norte, está situada em parte da mesorregião Central Potiguar e na microrregião do Seridó Ocidental (IBGE, 2010). Possui cursos d'água de regime de escoamento intermitente, com padrão de drenagem dendrítico (CPRM, 2005).

O estudo da hierarquização dos canais é muito importante nas análises de bacias hidrográficas, pois indica a velocidade com que ocorrem os “outputs” da bacia (LIMA; CUNHA; SANTOS, 2011). Na Figura 8, é apresentada a rede de drenagem e a hierarquização dos canais que compõem a área de estudo. A sub-bacia do Rio Espinharas apresenta canais de até sétima ordem, com destaque ao encontro do Rio Farinhas com o Rio da Cruz (6º ordem), formando o Rio Espinharas (7º ordem).

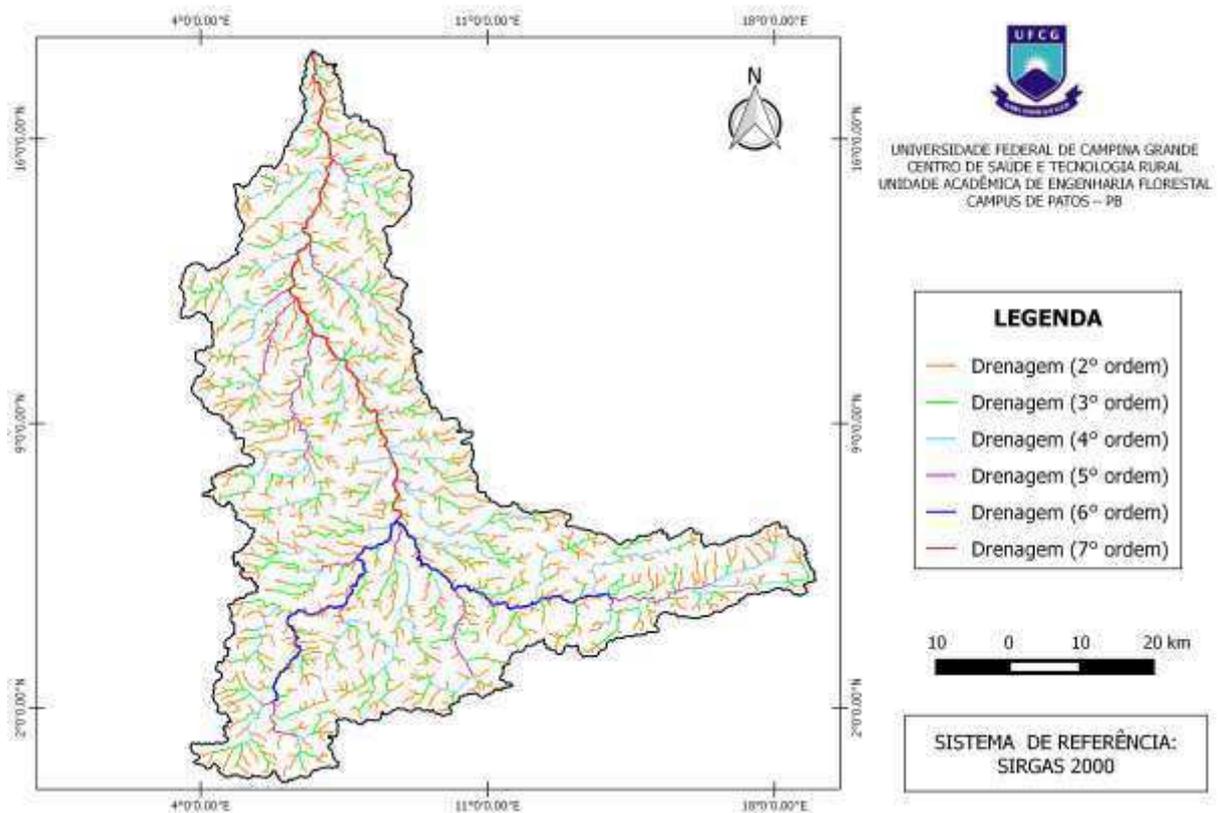


Figura 8 – Rede de drenagem da sub-bacia do Rio Espinharas.

Quadro 3 – Hierarquia e comprimento dos drenos que compõem a sub-bacia do Rio Espinharas.

HIERARQUIA	EXTENSÃO (km)	%
1° Ordem	2433,04	47,87
2° Ordem	1288,7	25,35
3° Ordem	663,84	13,06
4° Ordem	384,78	7,57
5° Ordem	127,87	2,52
6° Ordem	94,22	1,85
7° Ordem	90,19	1,77
Total	5082,64	100

De forma descritiva, após estabelecer a hierarquia fluvial da sub-bacia do Rio Espinharas, verificou-se um amplo domínio dos rios de primeira e segunda ordem, onde juntos, somam uma extensão de cerca de 3.721,74 km de rios, distribuídos ao longo de 3.289,79 Km². Assim, os números significativos de rios de 1° ordem na sub-bacia demonstram o estágio evolutivo do relevo, sendo a área composta especialmente por morros e colinas.

3.2 Características fisiográficas da área de estudo

O Rio Espinharas está inserido na Depressão Sertaneja Setentrional, formado por uma extensa planície pediplanada, com altitudes que variam de 250 a 700m, compostas por elevações residuais, os inselbergues, que são distribuídos na paisagem, caracterizando uma das paisagens mais típicas do semiárido nordestino (VELLOSO; SAMPAIO; PAREYN, 2002; SUDEMA, 2004).

O mapa hipsométrico da área de estudo foi gerado a partir da reclassificação do MDE, (Figura 9), composto por 15 classes, com valores entre 131,2 e 1185,9 m de altura. As áreas mais altas encontram-se na parte superior do Planalto da Borborema, na porção Sudoeste, localizado no Pico do Jabre no município de Matureia-PB. As áreas mais baixas estão situadas nos terrenos de transição entre o Planalto da Borborema e da Chapada do Apodi, localizada no município de Serra Negra-RN, com altitudes variando entre 130 e 200m.

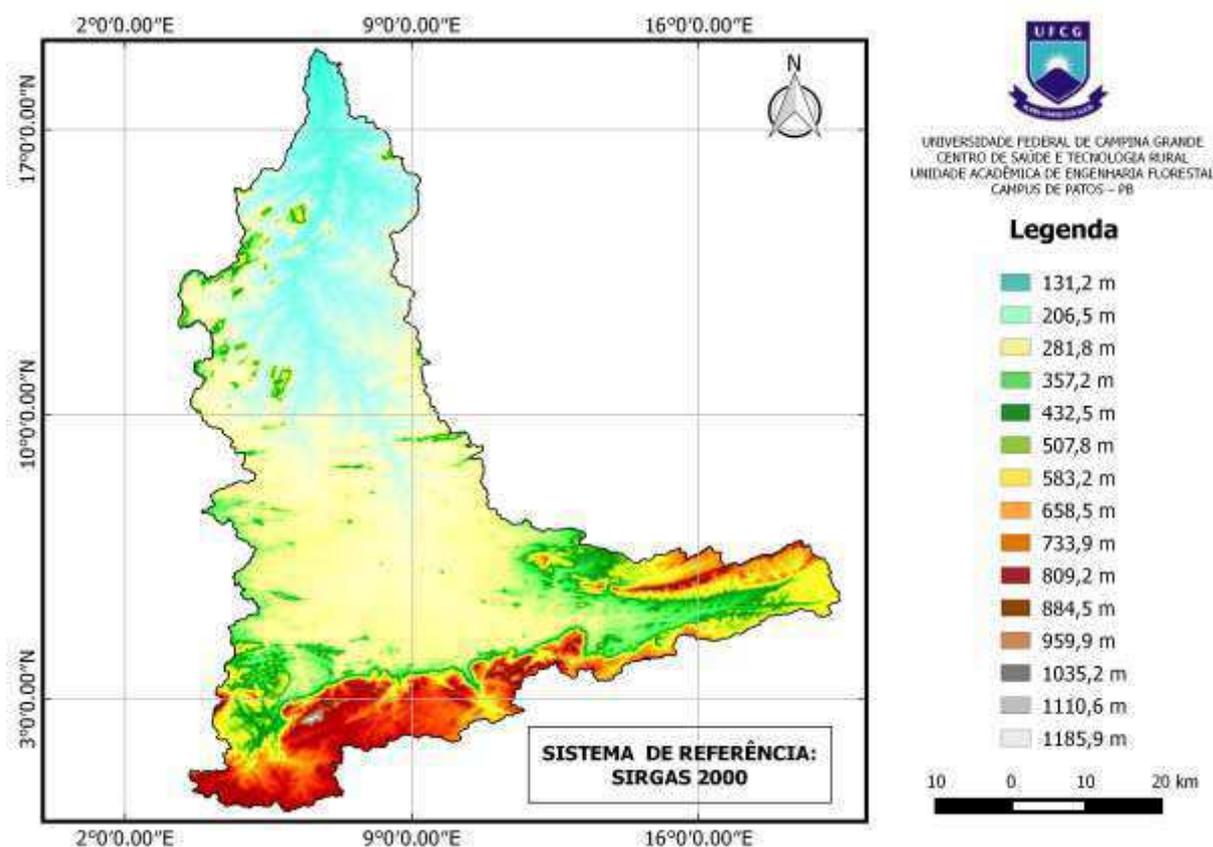


Figura 9 – Hipsometria da Sub-bacia do Rio Espinharas

A declividade do terreno é um atributo facilmente calculado e identificável, além de ser uma variável importante para a avaliação das terras, pois determina os níveis de estabilidade dos seus componentes físico/ químicos e biodinâmicos, servindo também como referência para separar ambientes (FRANCISCO, 2010; FRANCISCO; CHAVES; LIMA, 2012).

As classes de declividade do relevo foram estabelecidas com base nas normas da Embrapa (1979). Foram encontradas seis classes de declividades para a área de estudo (Figura 10). A sub-bacia do Rio Espinharas possui uma extensa superfície, classificada como plano 574,09 km² (16,77%), suave ondulada 1575,49 km² (46,02%), ondulada 701,21 km² (20,48%), forte ondulada 463,7254 km² (13,54%) e, de forma isolada, planícies Montanhosas 101,1276 km² (2,95%) e Forte montanhosas 7,15 km² (0,21%), representadas pelos Inselbergues.

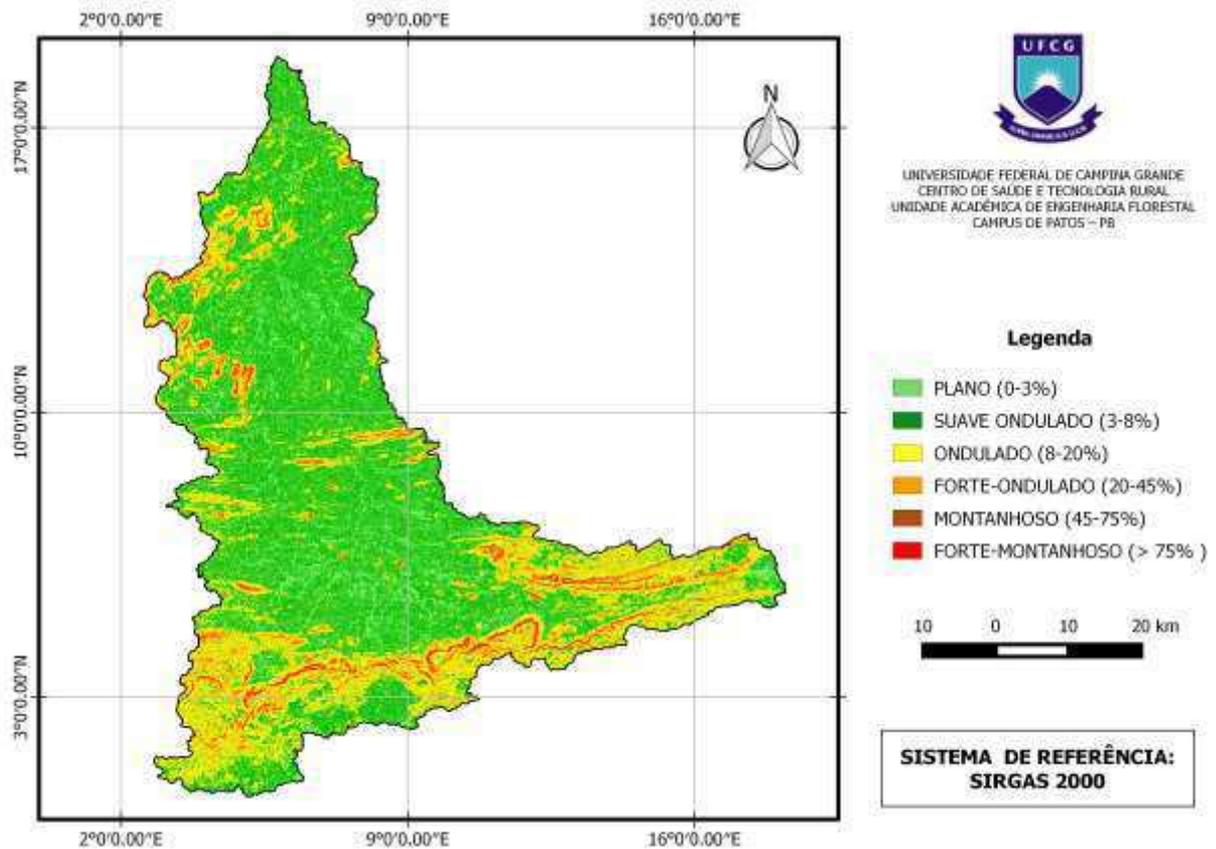


Figura 10 – Mapa de declividade da área de estudo.

3.3 Distribuição espaço-temporal da precipitação na Sub-bacia do Rio Espinharas

Os dados pluviométricos são indispensáveis para a escolha das imagens de satélite na região, pois a resposta espectral da caatinga sofre bastante influência do regime pluviométrico local, devido aos mecanismos fisiológicos que as espécies da caatinga possuem que lhes permitem se adaptar às condições de seca na região (FREIRE; PACHECO, 2005).

Analisou-se a distribuição pluviométrica média anual de cada município, bem como sua distribuição espaço-temporal da área de estudo. Para isto, foram utilizados os dados de precipitação média anual de cada PCD, disponibilizados pela AESA e pela EMPARN.

O período chuvoso na região inicia-se no mês de janeiro e estende-se até meados de maio, período em que a vegetação da caatinga se encontra exuberante. Portanto, o mês de julho, neste estudo, pode ser considerado representativo da estação chuvosa na região, quanto ao caráter de vegetação, devido à precipitação acumulada nos meses anteriores. A partir de julho, devido à caducifolia, a vegetação caatinga sofre várias modificações que permitem sobrevivência à deficiência hídrica na região. Os meses de outubro e novembro são os meses

com menores índices pluviométricos, caracterizando bem o período seco na região. Na Figura 11, encontra-se a distribuição da precipitação observada na área de estudo nos anos de 2005 e 2015.

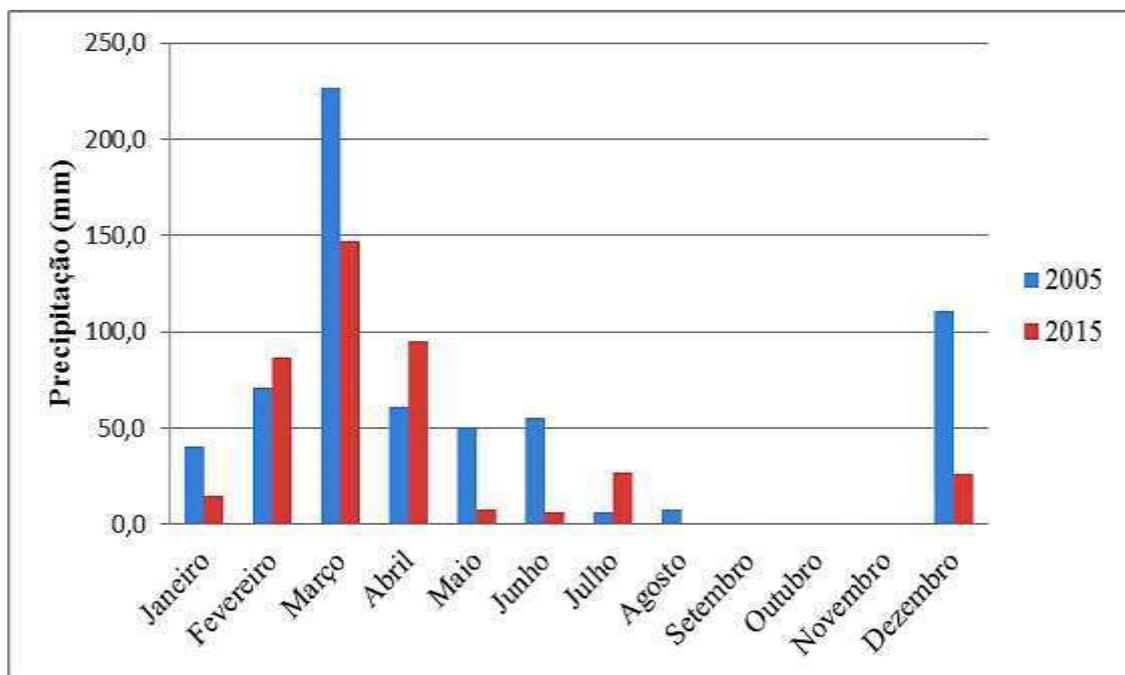


Figura 11 – Precipitação acumulada da sub-bacia do Rio Espinharas, nos anos de 2005 e 2015.

Através da análise da distribuição da precipitação ao longo dos anos estudados, verificam-se picos de precipitação no mês de março, que normalmente estão associados à Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (ALVES, 2012).

As regiões de clima semiárido possuem uma vegetação mais susceptível a mudanças, respondendo rapidamente à presença ou à falta de chuvas (CUNHA et al., 2012). As Figuras 12 e 13 mostram a média espacial da precipitação acumulada para cada ano estudado, onde é possível verificar a distribuição da precipitação ao longo dos anos sobre a área de estudo.

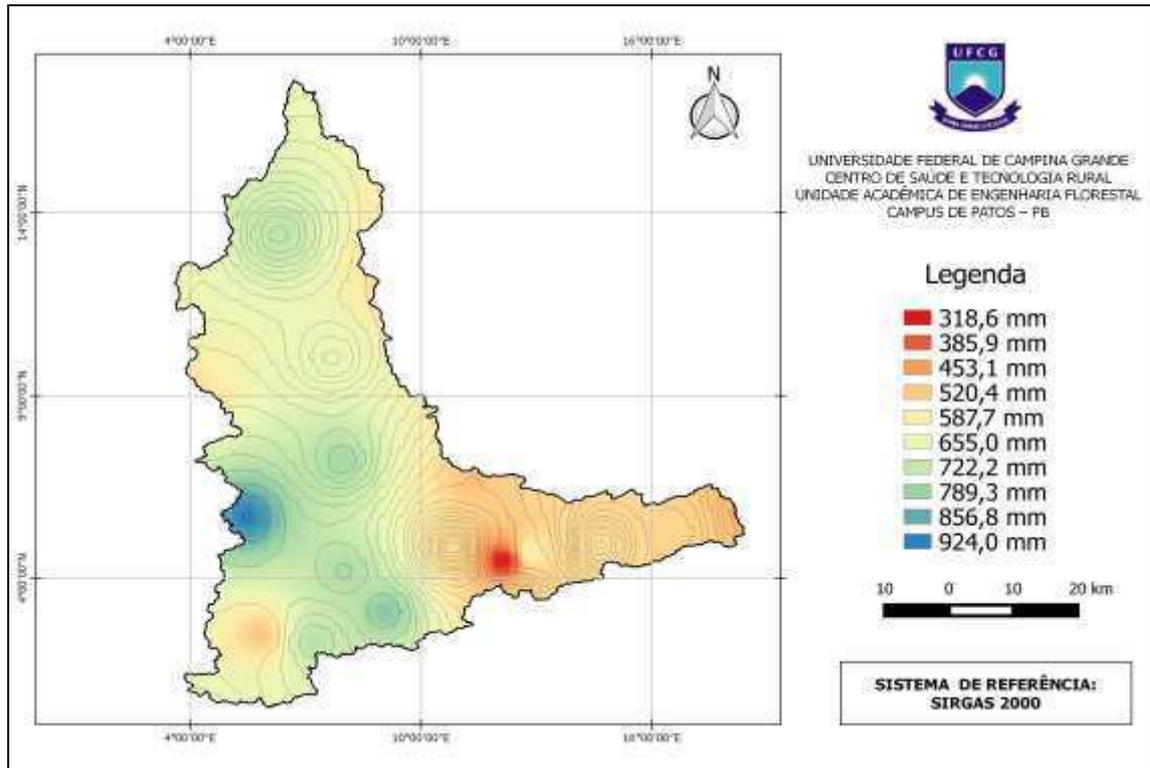


Figura 12 – Mapa de precipitação média anual para o ano de 2005 da Sub-bacia Hidrográfica do Rio Espinharas, PB/RN.

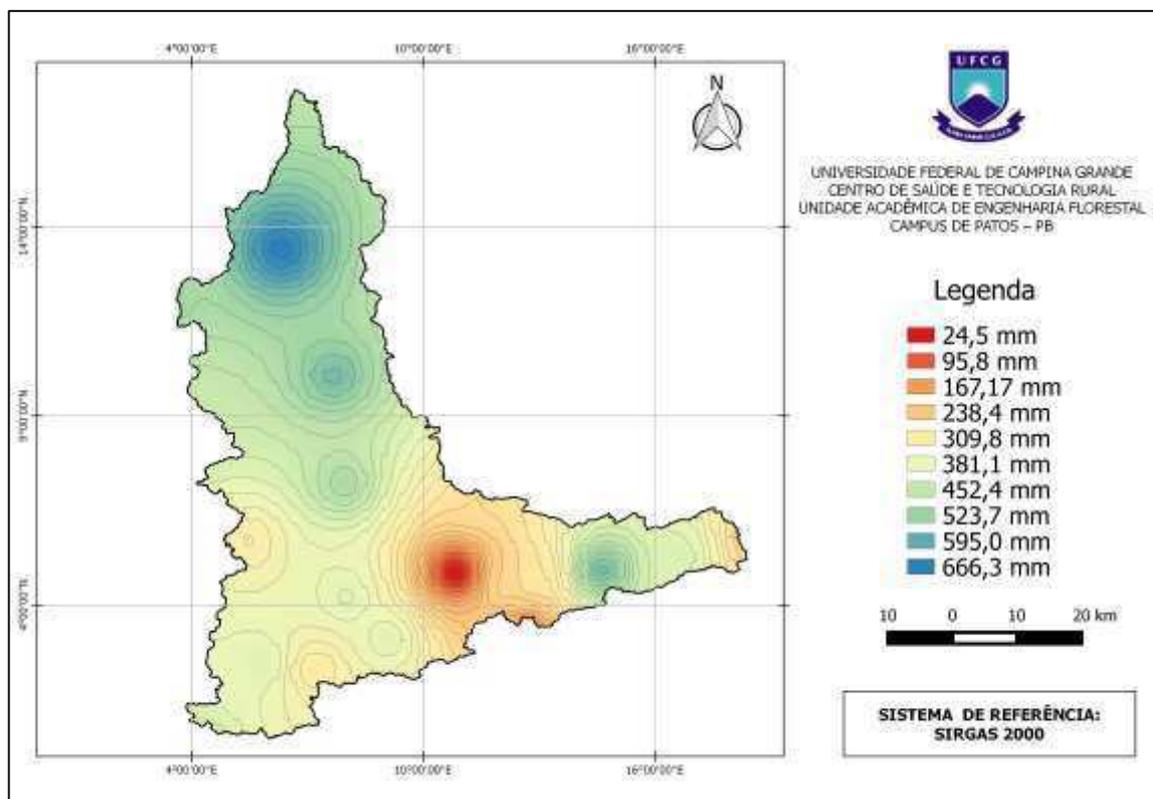


Figura 13 – Mapa de precipitação média anual para o ano de 2015 da Sub-bacia Hidrográfica do Rio Espinharas, PB/RN.

Conforme os mapas temáticos, os menores valores para ambos os anos foram observados na porção leste da sub-bacia, principalmente os municípios de Areia de Baraúnas, Passagem, Cacimbas, Cacimba de Areia e Salgadinho, com destaque para o posto pluviométrico do município de Cacimba de Areia, que, em 2015, apresentou precipitação inferior a 25 mm, o que, de acordo com os funcionários da AESA, trata-se de uma falha ocorrida no equipamento de coleta dos dados. Os maiores valores para ambos os anos foram encontrados nos municípios de Santa Teresinha, Teixeira, Patos e Serra Negra.

3.4 NDVI da Sub-bacia do Rio Espinharas

Os índices de vegetação são representados como razões entre reflectâncias das bandas do vermelho e do infravermelho próximo. Estes servem como bons indicadores do desenvolvimento e vigor da vegetação, podendo ser associados a vários parâmetros biofísicos da vegetação (BACKES, 2010). Entre os índices, podemos destacar o NDVI, o mesmo é considerado como um dos melhores estimadores espectrais da vegetação (SILVA, 2009).

Realizou-se a comparação nos valores de NDVI, adquiridos com o emprego de imagens orbitais dos meses de julho e novembro de 2005, com imagens de maio e outubro de 2015. Os resultados obtidos com a aplicação da equação do NDVI para a sub-bacia do Rio Espinharas, nos períodos analisados, podem ser observados nas figuras 14 e 15.

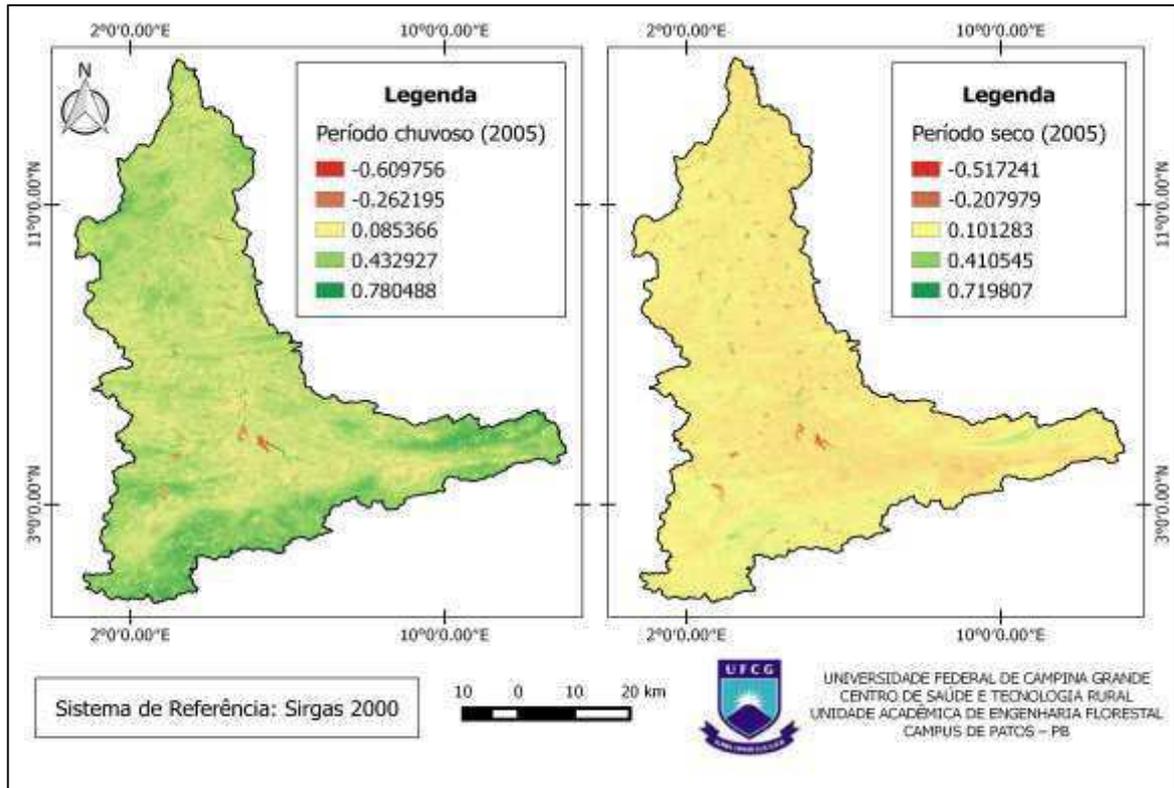


Figura 14 – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada - NDVI, da Sub-bacia do Rio Espinharas, para os períodos chuvoso e seco de 2005

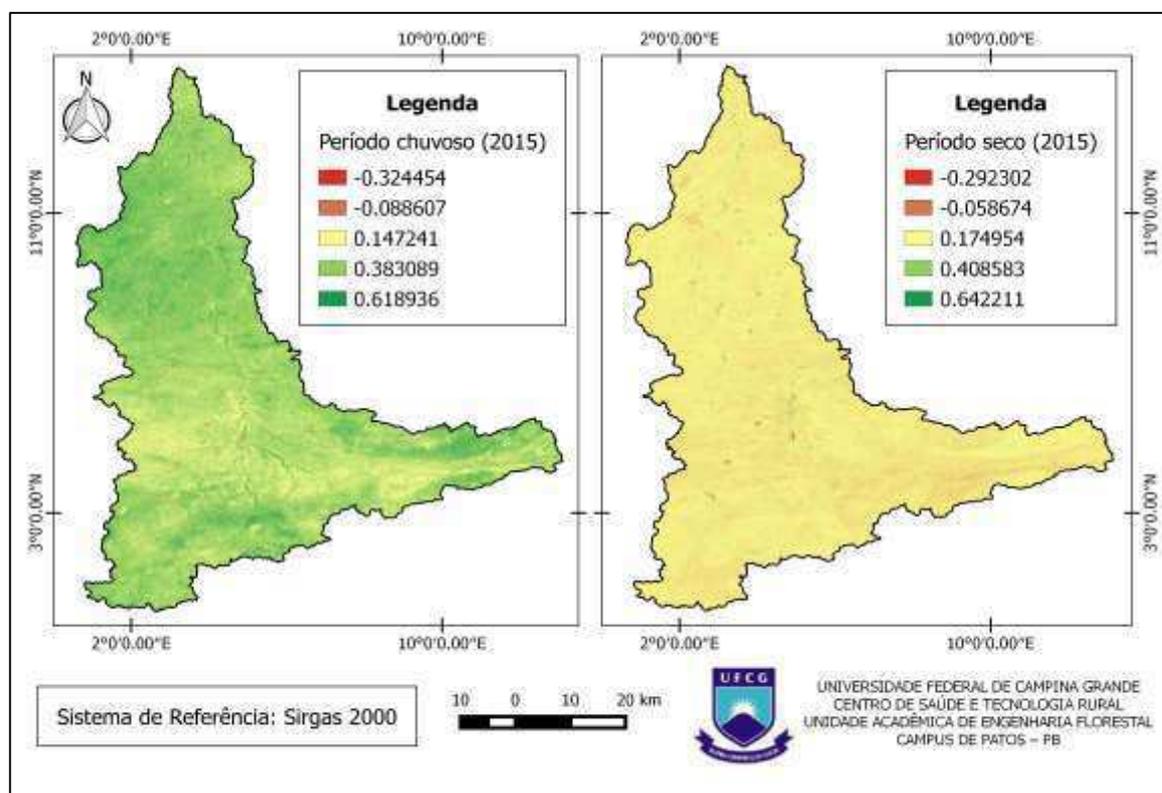


Figura 15 – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada - NDVI, da Sub-bacia do Rio Espinharas, para os períodos chuvoso e seco de 2015

Os valores de NDVI foram relacionados aos níveis digitais da imagem. Para facilitar a visualização e análises, foi aplicada uma composição colorida “falsa cor” para as cenas. Assim, a cor verde-escura no mapa representa os maiores valores do índice de vegetação, ou seja, maior quantidade de vegetação fotossinteticamente ativa (BACKES, 2010). Essa vegetação mais vigorosa ocorre nas margens dos cursos de água, devido à maior disponibilidade de água ao longo do ano, e nas áreas de maior declividade da região (JÚNIOR, 2011). A conservação e a intensificação da cobertura vegetal nas áreas mais declivosas do terreno, é reflexo do menor impacto causado pela pressão antrópica ao ambiente, por serem geralmente áreas remotas e difícil acesso (CUNHA et al., 2012).

A intensidade de vegetação presente em cada pixel da imagem é representada pelos valores positivos de NDVI. No entanto, solos expostos, rochas e áreas urbanas (construções e asfalto) refletem na banda do vermelho (0,63 μm a - 0,69 μm) e no infravermelho próximo (0,76 μm a 0,90 μm), basicamente na mesma intensidade, e isso explica os valores próximos de zero desses alvos (CUNHA et al., 2012). Os valores negativos de NDVI (cores vermelho e marrom) representam os corpos de água, sombras e nuvens na imagem. Esses alvos refletem de forma mais intensa na banda do vermelho do que na banda do infravermelho próximo, por isso possuem valores negativos.

Os menores valores positivos de NDVI entre os períodos estudados estão representados pela cor amarela, com valores situados entre 0,08 e 0,14, para o período chuvoso, e 0,10 e 0,17, para o período seco. Rodrigues et al. (2009) obtiveram, em estudo realizado na bacia hidrográfica do Rio Trussu, semiárido cearense, valores de NDVI entre 0,003 e 0,20. Para os autores, este intervalo de classe é característico de áreas com vegetação rala e/ou solo exposto. Na região semiárida do Rio Grande do Norte, Bezerra et al. (2013) encontraram valores na ordem de 0 a 0,2 para áreas com solo exposto e vegetação caducifolia rala. De acordo com Gurgel (2000), valores de NDVI inferiores a 0,3 são alusivos de áreas secas, de baixo regime pluviométrico. Valores de NDVI menores que 0,4, para o período seco, são mais compatíveis para respostas da vegetação de Caatinga hiperxerófila (FRANCISCO, 2013; LOPES et al., 2010; PAIXÃO; VALE; LOBÃO, 2009).

Considerando a variação do NDVI na área de estudo, durante os períodos analisados, podem-se observar mudanças significativas na concentração da vegetação caatinga do período chuvoso para o período seco. Para o ano de 2005, foram observados valores máximos de reflectância, para os períodos seco e úmido, de 0,71 e 0,78, respectivamente. Esses resultados indicam a presença de uma vegetação com mais folhas no período chuvoso, decorrência de

uma boa disponibilidade de água presente no perfil do solo, que proporciona condições mais favoráveis para o desenvolvimento da vegetação.

A deciduidade e o desenvolvimento de novas folhas da vegetação caatinga é fortemente influenciada pela quantidade de chuva na região, pois as espécies da caatinga são, em sua totalidade caducifólias, liberando suas folhas durante o período seco para reduzir a perda de água para a atmosfera por transpiração (AMORIM; SAMPAIO; ARAÚJO, 2009). No período chuvoso, ocorre renovação das copas das árvores, coincidindo com a época em que as espécies do bioma encontram-se mais exuberantes (FERREIRA et al., 2012). O NDVI possui alta correlação com a quantidade de clorofila encontrada na vegetação (PONZONI; SHIMABUKURO, 2010). Os valores do NDVI tendem a aumentar em períodos com alta atividade fotossintética, o oposto ocorre nos períodos em que as espécies da caatinga perdem as suas folhas (FERREIRA et al., 2012).

Segundo Santos e Negri (1997), existe uma forte correlação das variáveis climáticas com o NDVI, principalmente a precipitação. Oscilações entre os períodos secos e úmidos, durante o ano e entre anos diferentes, influenciam diretamente no comportamento fenológico das plantas. Os mesmos autores relatam que, na região de caatinga, as mudanças ocorridas na vegetação estão associadas a variações na precipitação, ou seja, na estação chuvosa, os valores de NDVI apresentam valores positivos próximos a 1 e valores inferiores na estação seca.

No ano de 2015, os valores máximos foram de 0,64 e 0,61, para os períodos seco e úmido, respectivamente. Tais aumentos das leituras no período seco correspondem às áreas formadas por agricultura irrigada, bosques de algaroba (*Prosopis juliflora*) e vegetação ciliar, que estão localizadas, principalmente, ao longo dos cursos de água e nas margens das barragens e açudes (Figura 16).



Figura 16 – Áreas antropizadas na Sub-bacia do Rio Espinharas, (A) Área de Pastagem no município de Serra Negra-RN, (B) Agricultura irrigada às margens da barragem da Farinha, no município de Patos-PB, (C) Agricultura irrigada nas proximidades do açude do Jatobá, no município de Patos-PB

De acordo com Bezerra (2013), os valores de NDVI acima de 0,4, no período de estiagem, são referentes à mata ciliar situada às margens dos rios, aproveitando a água disponível para prover suas necessidades fisiológicas, e às culturas irrigadas, como capim elefante, frutíferas e hortas, contrastando com áreas de agricultura em pousio e de pastagens que permanecem secas nesse período (CUNHA et al., 2012).

Para melhor analisar as respostas espectrais das imagens, foram utilizados os histogramas de frequência de NDVI. Os histogramas permitem comparar valores de índices de vegetação através de técnicas estatísticas, sendo que quanto maior a distribuição dos níveis digitais, maior o contraste da imagem (RODRIGUES; RIBEIRO; VAZ, 2013). Os histogramas dos índices de vegetação podem ser visualizados na Figura 17.

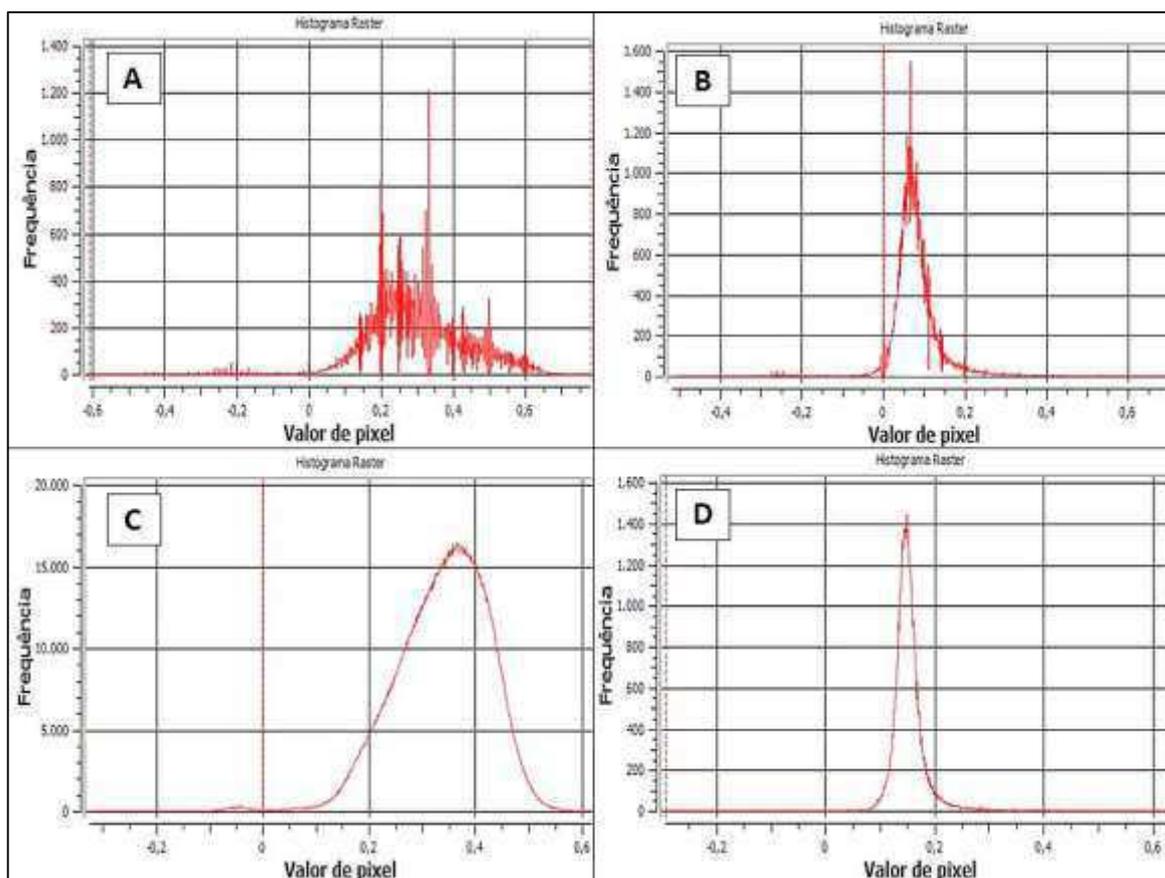


Figura 17 – Histogramas de frequência do NDVI da sub-bacia do Rio Espinharas, nos períodos chuvoso (A) e seco (B) de 2005 e períodos chuvoso (C) e seco (D) de 2015

Os histogramas confirmam os resultados exibidos nos mapas índices. Pode-se observar no período chuvoso de 2005 (Fig. 17A), que a frequência dos pixels encontra-se entre os 0,2 - 0,5. No período seco (Fig. 17B), os valores concentram-se entre intervalos de 0,04 - 0,15. Observa-se um comportamento semelhante para 2015, com valores de NDVI, para o período úmido, entre 0,2 - 0,5 e, para o período seco, de 0,13 - 0,18. Pode-se observar que, no período chuvoso, as frequências dos pixels aumentaram significativamente no período chuvoso. Isso se deve ao maior vigor apresentado pela caatinga nesses períodos, elevando os valores de NDVI da vegetação e, conseqüentemente, deslocando a distribuição das frequências desses valores para outras classes de leituras de NDVI (BEZERRA, 2013). No período seco, ocorre uma redução na amplitude das frequências, devido à redução do contraste de cores, provocadas pela ausência de folhas da maioria das espécies da caatinga no período seco.

3.5 NDVI para as diferentes regiões estudadas

Os valores médios do NDVI de cada plataforma pluviométrica foram calculados com base na leitura de 30 pontos, distribuídos de forma aleatória nas áreas de vegetação. As médias foram organizadas de acordo com as estações meteorológicas de cada município entre os períodos analisados, onde foi verificado o comportamento das curvas de reflectância para os valores médios de NDVI (Figura 18).

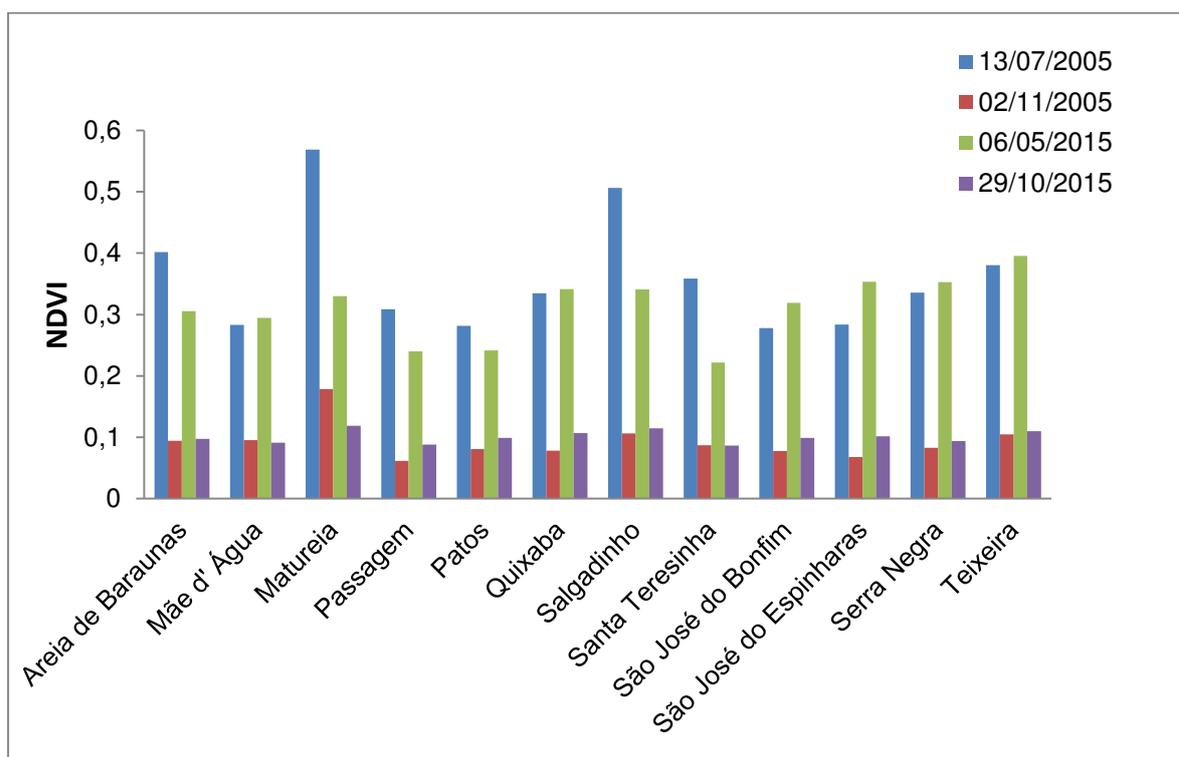


Figura 18 – Valores médios de NDVI para as áreas dos municípios que compõem a sub-bacia do Rio Espinharas. As barras em azul e vermelho correspondem a valores de NDVI dos períodos chuvoso e seco de 2005, respectivamente. As barras em verde e roxo correspondem ao período chuvoso e seco de 2015.

O gráfico ressalta uma diferença significativa em relação ao comportamento deste índice, visto que as médias variam bastante de uma plataforma para outra, principalmente no período chuvoso. De maneira geral, pode-se observar que os maiores valores foram observados no período chuvoso de 2005, nas estações meteorológicas de Matureia, Salgadinho e Areia de Baraúnas. Essas áreas são marcadas pela presença de uma vegetação nativa densa, encontrada nas áreas mais elevadas do terreno, como encostas de morros. Nessas áreas, foi verificada a baixa frequência de indivíduos herbáceos e cactáceas, sendo

mais frequente a presença de arbustos e árvores que estão inseridos em áreas de caatinga arbustiva arbórea fechada (T3), corroborando os dados apresentados por Silva (2011) e Santos (2011).

Essas áreas são compostas basicamente por bacias e chapadas, com predominância de uma flora e fisionomia bem distintas da formação vegetacional da caatinga, apresentando vegetação caducifólia e/ ou perenifólia (GOMES; RODAL; MELO, 2006). Segundo Lemos (2002), as vegetações presentes nas chapadas sedimentares do semiárido possuem um padrão fisionômico geralmente arbustivo, devido às condições edafoclimáticas locais, diferente do encontrado em áreas de vegetação caducifólia espinhosa e nas áreas de solo cristalino.

Em relação ao período seco, nota-se a baixa variabilidade dos valores de NDVI, sendo as maiores leituras observadas nas plataformas de Matureia, Salgadinho e Teixeira, em ambos os anos estudados. Conforme já mencionado, os altos valores encontrados nessas plataformas são reflexos do tipo de relevo que apresentam essas regiões, com declividades variando de forte ondulado a forte montanhoso.

Além dos fatores topográficos, esses valores podem estar associados à distribuição temporal da precipitação nesses municípios, com ocorrência de chuvas em 2005 até meados de agosto e no final de julho em 2015, que, embora apresentado alguns meses de seca, esta não foi consecutiva, contribuindo de maneira expressiva na elevação do NDVI. Isto indica que as modificações nos valores do NDVI podem ser mais expressivas em função da umidade do solo do que da precipitação. De acordo com Nicácio et al. (2009), há uma defasagem temporal entre a precipitação e a resposta espectral da vegetação, devido ao tempo necessário para o acúmulo de água no solo e absorção pela planta, possibilitando um melhor vigor vegetativo.

A variabilidade pluviométrica e as condições limitantes do solo refletem nas características fisionômicas da vegetação, interferindo de maneira significativa na regularização da atividade fotossintética e transpirativa, notadas através da variabilidade nos valores do NDVI. Essa defasagem temporal entre precipitação e acúmulo de biomassa verde é fundamental para a recuperação da capacidade fotossintética e na produção de carboidratos estruturais designados à formação das folhas (BARBOSA; KUMAR; SILVA JUNIOR, 2011).

Os valores para o período chuvoso são os que mais se distinguem dos demais. Nesse cenário, verifica-se que alguns municípios apresentaram maiores alterações nos valores de um ano para outro, implicando, na prática, incremento ou redução da cobertura vegetal. Os maiores incrementos entre os anos estudados foram verificados nas plataformas de São José do Espinharas (19,7%) e São José do Bonfim (12,98%).

As plataformas que apresentaram as maiores reduções nos valores de NDVI de um ano para outro, no período chuvoso, foram Matureia, Santa Teresinha e Salgadinho, com reduções de 41,9%, 38,2% e 32,7%, respectivamente. Estes decréscimos foram provocados pela expansão de atividades antrópicas nessas áreas e, principalmente pelos baixos índices pluviométricos registrados no ano de 2015, no qual as plataformas de Santa Teresinha e Matureia tiveram uma redução, respectivamente, de 514 mm e 408 mm, em relação a 2005. Em Salgadinho, a diferença do índice pluviométrico entre os anos de 2005 e 2015 foi apenas de 84 mm, o que sugere que a diminuição dos valores de NDVI pode estar relacionada principalmente pela expansão da extração de caulim na região, provocando suspensão das partículas desse minério e retenção das mesmas pelas folhas das árvores, implicando a redução dos valores desse índice (Figura 19).



Figura 19 – Áreas de extração de caulim no município de Salgadinho

A cobertura vegetal em regiões semiáridas está diretamente correlacionada com a precipitação, portanto é de se esperar que os anos que apresentem maior índice pluviométrico antes da passagem do sensor, sejam justamente os que apresentam maiores incrementos de cobertura vegetal. Porém, algumas atividades antrópicas, como a extração de madeira sem

manejo adequado, podem ser mais significativas do que a resposta da vegetação ao regime pluviométrico (CUNHA et al., 2012).

3.6 Correlações entre a precipitação e os valores de NDVI

Buscando compreender a variação deste índice durante o ano, procedeu-se uma análise de correlação entre os valores de NDVI e a precipitação acumulada. Os diagramas de dispersão foram calculados para cada período, com valores de NDVI no eixo x e os da precipitação no eixo y (Figura 20).

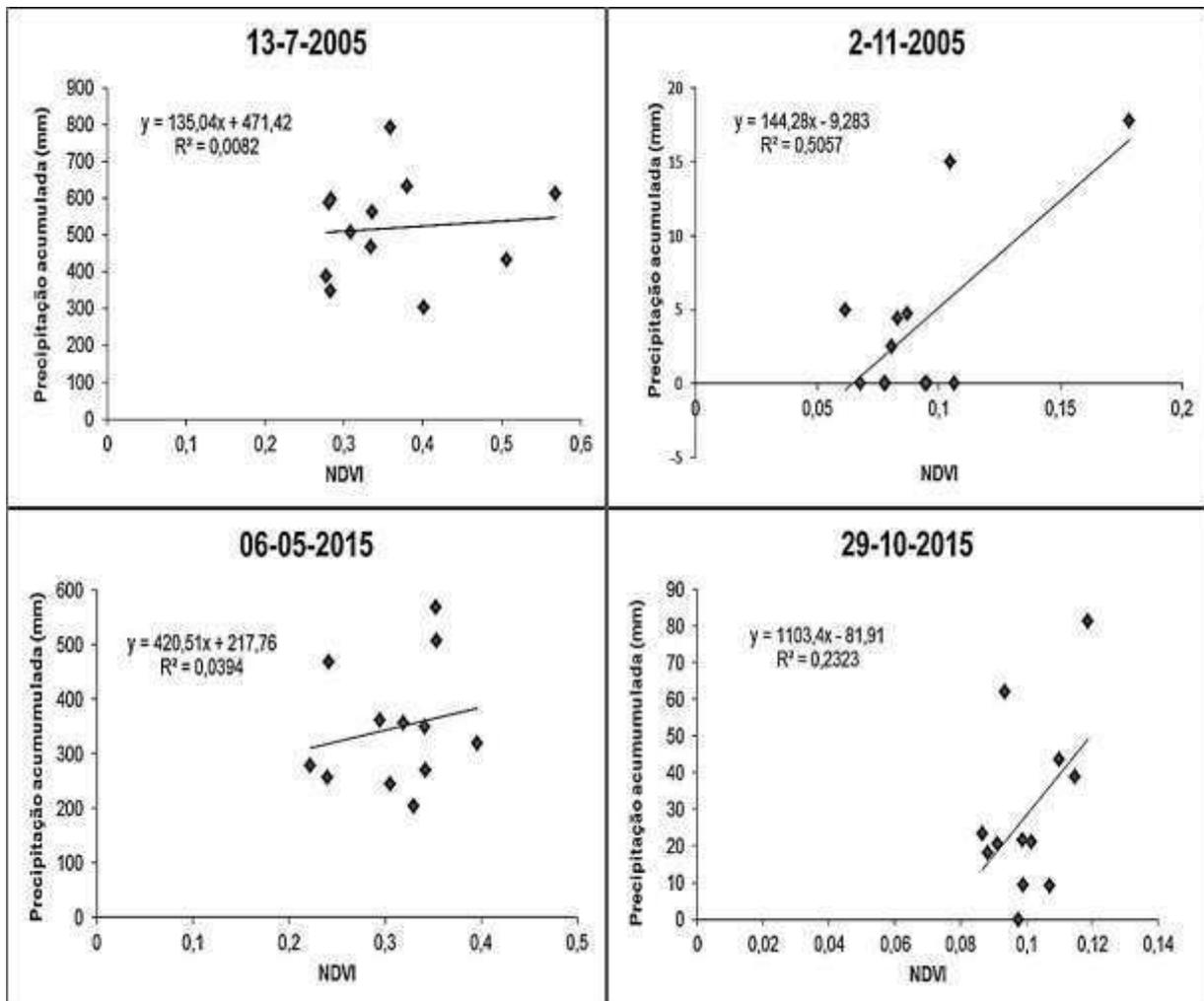


Figura 20- Gráfico de dispersão de NDVI sobre a Sub-bacia do Rio Espinharas, no período chuvoso de 2005 (A), e 2015 (B), e seco de 2005 (C) e 2015 (D), de acordo com a precipitação acumulada em cada ano até a data da coleta de dados

Os resultados exibidos até então demonstram existência de diferenças entre os valores do NDVI nos períodos das imagens selecionadas, visto que eles refletem na condição da vegetação. Além disso, a precipitação anual acumulada afeta o NDVI mais claramente nos períodos secos do ano, pois as correlações entre o NDVI e a precipitação acumulada se mostraram mais fortes (Fig. C e D).

As correlações mais significativas para as variáveis analisadas foram estabelecidas para os períodos secos, com coeficientes de correlação de Pearson de 0,71, em 2005 e 0,48, para 2015, indicando uma relação progressiva entre as variáveis com a diminuição dos totais pluviométricos. As menores correlações foram verificadas no período chuvoso, com valores de 0,09, em 2005 e 0,19, para o ano de 2015.

A baixa correlação no período chuvoso de 2005 é decorrente da maior dispersão dos valores em torno da média, visto que esse o ano foi marcado pela alta variabilidade pluviométrica na região, com totais pluviométricos de 793 mm em Santa Teresinha e, em Areia de Baraúnas, de 303,1 mm, para esse período. Tais resultados foram influenciados principalmente pelos valores encontrados nos municípios de Areia de Baraúnas e Salgadinho, apresentando as maiores amplitudes entre os totais pluviométricos e as leituras de NDVI para a região. Em suma, pode-se dizer que os valores de NDVI, para essas regiões, estão mais relacionados a outros fatores como relevo, solo e tipo de vegetação presentes nessas áreas do que propriamente na quantidade pluviométrica registrada nesses períodos. Estas plataformas contribuíram de forma significativa para a redução dos resultados apresentados, com uma redução de aproximadamente 81% para a correlação calculada para esse período.

O ano de 2015 registrou menores índices pluviométricos (378 mm), em relação a 2005 (520 mm), no entanto as chuvas em 2015 foram mais distribuídas na região, com os menores índices registrados em Areia de Baraúnas (245 mm) e os maiores valores em Serra Negra (568 mm). O resultado da correlação entre a chuva e o NDVI, para esse período, foi influenciado negativamente pelo município de Patos, que, apesar de apresentar um regime pluviométrico acima da média para a região (468 mm), obteve também um valor abaixo da média para o NDVI, apenas 0,24. Esta plataforma sozinha colaborou para a redução do resultado apresentado no gráfico de dispersão, com redução de 51,2% no valor de R para esse período.

A região onde se encontra a estação pluviométrica de Patos é uma área bastante antropizada, marcada pela presença de uma vegetação do tipo Caatinga Arbustiva Arbórea Aberta, com predominância de ervas, arvoretas e árvores esparsas. As espécies arbóreas encontradas na área são *Mimosa tenuiflora* (Willd) (jurema preta), *Combretum leprosum* Mart (mufumbo), *Croton sonderianus* Muell. Arg. (marmeleiro), *Poincianella pyramidalis*

(catingueira) e *Aspidosperma pyrifolium* Mart (pereiro). Portanto, a baixa correlação verificada nesse período pode estar associada à predominância de espécies com baixa resposta espectral, devido principalmente às características anatômicas de suas folhas, que são, em geral, pequenas, compostas, alternas e bipinadas.

De acordo com Russel (2001), a estrutura geométrica dos dosséis das florestas contribui de forma significativa nos padrões de resposta espectral da cobertura vegetal de uma imagem. No estudo realizado por Yanagi (2006), foram constatadas mudanças nos valores de refletância, nas bandas do visível e do infravermelho próximo, em função das modificações arquitetônicas da vegetação (disposição das folhas) e parâmetros ópticos (refletividade das folhas).

Os resultados demonstraram que o aumento dos níveis pluviométricos na região não implicou o aumento progressivo nos valores de NDVI. Observa-se que, até determinado nível de precipitação a correlação se mantém normal, no entanto, ao se atingir em níveis elevados de precipitação, ocorre redução da atividade fotossintética (GOULART, 2013). O estudo realizado por Yuan e Roy (2007), no estado de Minnesota, demonstrou uma relação linear entre precipitação e o NDVI, quando a precipitação foi inferior a aproximadamente 500 mm/ano ou 50-100 mm/mês. Resultados semelhantes foram encontrado por Wang et al. (2003), que examinaram as respostas temporais do NDVI à precipitação e temperatura Central das Grandes Planícies, EUA, em Kansas, e concluíram que a relação entre precipitação e NDVI é forte e previsível quando visualizada na escala espacial apropriada. Uma avaliação da relação entre o NDVI e a chuva mostrou bons coeficientes de correlação para o período seco, com maior valor encontrado para o ano de 2005 ($R= 0,71$). Tal resultado se deve à resposta dada pela vegetação à presença de chuva ocorrida em torno de 3 meses de antecedência em algumas plataformas. Resultado semelhante foi verificado no ano de 2015 ($R = 0,48$), porém com chuvas mais distribuídas no espaço e tempo, com ocorrência de chuvas até meados de julho em todas as plataformas, exceto em Areia de Baraúnas.

Esses resultados são semelhantes ao encontrado por Barbosa; Kumar e Junior (2011), que, no estudo temporal do NDVI nos Biomas Caatinga e Savana Africana, constataram uma relação de dependência entre NDVI e precipitação, com maiores correlações verificadas na ocorrência de chuvas com defasagem temporal de 2 a 3 meses. Nicácio et al. (2009) estudaram a variação espaço-temporal do NDVI e sua relação com o índice pluviométrico da região da Bacia do Rio Coxim (MS). Os resultados indicaram que a resposta da vegetação à redução pluviométrica ocorre com uma defasagem de aproximadamente quatro meses. Segundo Vicente-Serrano et al. (2012), os resultados do NDVI auxiliam na identificação de

períodos de escassez hídrica, confirmando a potencialidade desses dados na identificação de padrões na vegetação utilizando imagens de satélites.

Essa defasagem ocorre, principalmente, pela interação entre solo e planta, considerando o solo como o principal fornecedor de água e nutrientes para as plantas. Cada tipo de solo possui sua capacidade de água disponível, ou seja, mesmo após a drenagem da água, ocorre a sua permanência nas partículas do solo, estando disponível para ser utilizada pelo vegetal. Além disso, as áreas com solos profundos permitem que a vegetação natural apresente adaptações fisiológicas, em virtude das condições climáticas e edáficas, com raízes profundas, troncos corticosos e folhas coriáceas, que são capazes de aproveitar a água presente nas superfícies mais profundas do solo e também impedir as perdas da mesma. (NICÁCIO et al., 2009)

4 CONCLUSÃO

A variação espaço temporal do NDVI mostrou-se bastante eficiente e precisa para a identificação das alterações da cobertura vegetal ocorridas na sub-bacia do Rio Espinharas, entre os anos analisados.

Os maiores valores de NDVI foram encontrados nas plataformas dos municípios de Matureia, Salgadinho, Areia de Baraúnas e Teixeira, para ambos os anos analisados, demonstrando a influência da altitude e declividade do terreno nos valores desse índice.

As maiores correlações para as variáveis analisadas foram verificadas para os períodos secos, com coeficientes de correlação de Pearson de 0,71, em 2005, e 0,48, para 2015, indicando uma relação progressiva entre as variáveis, com a diminuição dos totais pluviométricos.

A elevação dos níveis pluviométricos na região não implicou o aumento progressivo nos valores de NDVI, indicando que o aumento da atividade fotossintética se dá até determinado nível de precipitação, no entanto, ao se atingirem níveis elevados de precipitação, ocorre redução do desenvolvimento foliar. Isso explica as baixas correlações apresentadas nos períodos úmidos.

Sugere-se, para futuros estudos na região, que seja estudado um período maior de observação durante os anos, visando minimizar o efeito de situações extremas. Além da precipitação acumulada, outros fatores podem ser relacionados, como declividade do terreno, temperatura e tipo de solo, que são importantes fatores a serem considerados, sugerindo-se uma análise conjunta dos mesmos.

5 REFERÊNCIAS

- AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. Mapa interativo. AESA, 2010. Disponível em:<<http://www.aesa.pb.gov.br/geoprocessamento/geoportal/sigaesaweb.html>>. Acesso em: 11. jan. 2017.
- ALVES, K. M. A. S. **Modelagem conceitual agroclimática do município de Buíque**. 2012. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2012.
- AMORIM, I. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; ARAÚJO, E. L. Fenologia de espécies lenhosas da caatinga do Seridó, RN. **Revista Árvore**, v.33, n.3, p.491-499. 2009.
- AQUINO, C. M. S; OLIVEIRA, J. G. B. Estudo da dinâmica do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) no Núcleo de São Raimundo Nonato-PI. **GEOUSP - Espaço e Tempo**, São Paulo, Nº 31, pp. 157 - 168, 2012. ISSN: 1414-7416.
- ARAÚJO, I. P; LIMA, J. R; MENDONÇA, I. F. C. Uso e degradação dos recursos naturais no semiárido brasileiro: estudo na Microbacia Hidrográfica do Rio Farinha, Paraíba, Brasil. **Caminhos de Geografia**, v. 12, n. 39, 2011.
- BACKES, K. S. **Variações do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) do sensor modis associadas a variáveis climáticas para o estado do Rio Grande do Sul**. 2010. 66 p. Dissertação Mestrado (Engenharia florestal). - Universidade Federal de santa maria. 2010.
- BARBOSA, H.A.; HUETI, A.R.; BAETHGEN, W.E. A 20 - year study of NDVI variability over the Northeast Region of Brazil. **Journal of Arid Environments**, London, v.67, p.288-307, 2006.
- BARBOSA, H. A.; KUMAR, T. V. L.; SILVA JUNIOR, I. W. Analysis of the NDVI Temporal Dynamics in Semi-arid Ecosystems: Brazilian Caatinga and African Western Sahel. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.02, p. 300-306, 2011.
- BEZERRA, J. M., MOURA, G. B. A., SILVA, B. B., LOPES, P. M. O. SILVA, E. F. F. Parâmetros biofísicos obtidos por sensoriamento remoto em região semiárida do estado do Rio Grande do Norte, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 1, p. 73-84, 2013.
- BRINKMANN, K.; DICKHOEFER, U.; SCHLECHT, E.; BUERKERT, A. Quantification of aboveground rangeland productivity and anthropogenic degradation on the Arabian Peninsula using Landsat imagery and field inventory data. **Remote Sensing of Environment**, v.115, p.465-474, 2011.
- CARVALHO, P. R. S. **Análise comparativa de métodos para delimitação automática das sub-bacias do alto curso do rio preto**. 2007. 58 p. Brasília: DF, 2007. Dissertação Mestrado (Geografia). - Universidade de Brasília/ Programa de Pós-Graduação em gestão ambiental e territorial. 2007.

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**, v.113, p.893-903, 2009.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. **Diagnóstico do município de Patos, estado da Paraíba** / Organizado [por] João de Castro Mascarenhas, Breno Augusto Beltrão, Luiz Carlos de Souza Junior, Franklin de Moraes, Vanildo Almeida Mendes, Jorge Luiz Fortunato de Miranda. Recife: CPRM/ PRODEEM, 2005.

CUNHA, J. E. D.B.L., RUFINO, I.A.A., SILVA. B. B., CHAVES, I. D. B. Dinâmica da cobertura vegetal para a Bacia de São João do Rio do Peixe, PB, utilizando-se sensoriamento remoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 5, p. 539-549, 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos** (Rio de Janeiro, RJ). Súmula da 10. Reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro, 1979. 83p. (EMBRAPA-SNLCS. Micelânea, 1).

FERREIRA, S. M. J., FERREIRA, F. S. H., SILVA, A. H., SANTOS, M. A., GALVÍNCIO, D. J.. Análise Espaço-Temporal da Dinâmica da Vegetação de Caatinga no Município de Petrolina-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 4, p. 904-922, 2012.

FOODY, G. M. Assessing the accuracy of land cover change with imperfect ground reference data. **Remote Sensing of Environment**, v.114, p.2271-2285, 2010.

FRANCISCO, P. R. M. **Classificação e mapeamento das terras para mecanização do Estado da Paraíba utilizando sistemas de informações geográficas**. 122 p. Dissertação (Manejo de Solo e Água). Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba. Areia, 2010.

FRANCISCO, P. R. M.; CHAVES, I. B.; LIMA, E. R. V. Mapeamento das Terras para Mecanização Agrícola - Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.5, n.2, p.233-249, 2012.

FRANCISCO, P. R. M. **Modelo de mapeamento da deterioração do Bioma Caatinga da bacia hidrográfica do Rio Taperoá, PB**. 97f. 2013. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande. 2013.

FREIRE, N. C. F; PACHECO, A. P. Aspectos da detecção de áreas de risco à desertificação na região de Xingó. **Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil**, p. 16-21, 2005.

GOMES, A. P. D. S; RODAL, M. J. N; MELO, A. L. D. Florística e fitogeografia da vegetação arbustiva subcaducifólia da Chapada de São José, Buíque, PE, Brasil. **Acta bot. bras**, v. 20, n. 1, p. 37-48, 2005.

GOULART, A. C. D. O. **Relação entre índices de vegetação e a precipitação pluviométrica no município do Rio de Janeiro**. 2013. 47 p. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, RJ, 2013.

GURGEL, H. D. C. **Variabilidade espacial e temporal do NDVI sobre o Brasil e suas conexões com o clima**. Tese de Doutorado. Tesis de Maestría INPE. 2000.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo, 2010**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em 11/02/2017.

JÚNIOR, S. C. **Análise de uso e cobertura do solo no município de Parelhas/RN**. 2011. 80 p. Dissertação de Mestrado (Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente) -. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, RN, 2011.

LEMONS, J. R.; RODAL, M. J. N. Fitossociologia do componente lenhoso de um trecho da vegetação de caatinga no Parque Nacional Serra da Capivara, Piauí, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, 16(1): 23-42, 2002.

LIMA, K. C.; DA CUNHA, C. M. L.; DOS SANTOS, J. M.; Análise geomorfológica da bacia hidrográfica do rio bom sucesso (semiárido da Bahia) através da aplicação de parâmetros morfométricos da rede de drenagem. **Revista de Geografia (Recife)**, v. 27, n. 2. Esp, p. 31-44, 2011.

LOPES, Helio L. et al. Parâmetros biofísicos na detecção de mudanças na cobertura e uso do solo em bacias hidrográficas. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v. 14, n. 11, p. 1210-1219, 2010.

LUIZ, S.; OLIVEIRA, C. G.; OKIDA, R. Comparação entre diferentes métodos de correção geométrica em imagem RADARSAT-1 no Flona Tapajós. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2003. Belo Horizonte **Anais...** São José dos Campos: INPE, p. 325-332, 2003.

MARKHAM, B.L.; BARKER, L.L. (1987). Thematic mapper bandpass solar exoatmospherical irradiances. **International Journal of Remote Sensing**, v.8, n.3, p.517-523.

MEDEIROS, Y. D. P. Análise dos impactos das mudanças climáticas em região semi-árida. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.8, p.127-136, 2003.

MELO, E. T.; SALES, M. C. L.; OLIVEIRA, J. G. B. Aplicação do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) para análise da degradação ambiental da microbacia hidrográfica do riacho dos cavalos, Crateús – CE. **RA'E GA**, v.23, p.520-533, 2011..

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. **Termos de referência para a elaboração do plano de recursos hídricos da bacia do rio Piranhas-Açu**. Versão aprovada pela CTPI em 27 de setembro de 2010. Disponível em: <<http://piranhasacu.ana.gov.br/termo/TDR.pdf>>. Acesso em: 12/08/2015.

MOURA, MSB de et al. **Clima e água de chuva no semiárido**. BRITO, LTL; MOURA, MSB Água de Chuva no Semi-Árido brasileiro. Petrolina, PE: Embrapa Semi-Árido, v. 13, 2007.

NICÁCIO, R. M.; ARAUJO, L. L.; GONZAGA, E. P.; LIBOS, M. I. P. de C.; OLIVEIRA, L. M. T. de. Relação NDVI e Precipitação na Bacia do Rio Coxim – MS. **Geografia**, Rio Claro, v.43, p.667-680, dez. 2009.

OLIVEIRA, W. M. de; CHAVES, I. de B.; LIMA, E. R. V. de. Índices espectrais de vegetação de caatinga em um neossolo litólico do semiárido paraibano. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14, 2009, Natal. **Anais...** Natal: INPE, 2009. p.2103-2110.

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

PARAÍBA. Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia e do Meio Ambiente – SECTMA. PERH-PB: Plano estadual de recursos hídricos: Resumo executivo & atlas/Governo do Estado da Paraíba; Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia e do Meio Ambiente, SECTMA; Agência Executiva de Gestão de Águas do Estado da Paraíba, Brasília: Consórcio TC/ BR – Concremat, 2006. 112p.

PARAÍBA. Programa de ação estadual de combate à desertificação e mitigação dos efeitos da seca no estado da Paraíba: PAE-PB. João Pessoa: Secretaria de Estado dos Recursos Hídricos, do Meio Ambiente e da Ciência e Tecnologia. Superintendência de Administração do Meio Ambiente, 2011. 137p.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. A imagem como fonte de dados radiométricos (abordagem quantitativa). PONZONI, FJ, SHIMABUKURO, YE **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos: PARÊNTESE, p. 68-102, 2010.

PONZONI, F.J.; SHIMABUKURO, Y.E.; KUPLICH, T.M. **Sensoriamento remoto da vegetação**. 2. ed. atual. ampl. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. 176p.

RODRIGUES, J. O.; ANDRADE, E.; TEIXEIRA, A. S.; SILVA, B. B. da. Sazonalidade de variáveis biofísicas em regiões semiáridas pelo emprego do sensoriamento remoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.29, p.452-465, 2009.

RODRIGUES, T. S., RIBEIRO, S. R. A., VAZ, M. S. M. G. Avaliação do desempenho de dois Índices de Vegetação (NDVI e SAVI) por meio de Índice de Qualidade de Imagens. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 18, 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** INPE, 2013. p.4195-4200.

ROUSE, J. W.; HASS, R. H.; DEERING, D. W.; SCHELL, J. A. **Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation**. Austin: Texas A. M. University, College Station, 1974.

RUSSELL, M. Monitoring regional vegetation change using reflectance measurements from multiple solar zenith angles, 2001. **Environment International**. V.27, p.211 –217. PII: S0160-4120(01)00089-7.

SAMPAIO, E.V.S.B. Caracterização da caatinga e fatores ambientais que afetam a ecologia das plantas lenhosas. p. 129-142. In: V.C. Sales (ed.). **Ecossistemas brasileiros: manejo e conservação**. Fortaleza, Expressão Gráfica e Editora. 2003.

SANTOS, A.R.; PELUZIO, T.M.O.; SAITO, N.S. **SPRING 5.1.2: passo a passo: aplicações práticas**. Alegre, ES: CAUFES, 2010. 155 p.

SANTOS, H. C. M. **A aplicação de geotecnologias na gestão espacial da microbacia do Rio Farinha – PB consoante a legislação ambiental brasileira PB**. 2011. 37 p. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Campina Grande “UFCG”, Patos-PB, 2011.

SANTOS, P.; NEGRI, A. J. A comparasion of the normalized difference vegetation index and rainfall for the Amazon and northeastern Brazil. **Journal of applied meteorology**, Washington, v. 36, nº 7, 1997, p. 958-965.

SILVA, M. K. A. **Análise geoambiental das bacias hidrográficas federais do cerrado mineiro**. 200 f.: il.. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2009.

SILVA, R. M. P. **Alteração da cobertura vegetal na sub-bacia do Rio Espinharas no período 2000-2010: o geoprocessamento como ferramenta para o gerenciamento ambiental**. 2011. Dissertação. (Programa de Pós Graduação em Ciências Florestais). CSTR/UFCG, Patos - PB, 2011. 143p.:il.

SILVA, R.M.P.S. LIMA, J.R.; MENDONÇA, I.F.C. Alteração da cobertura vegetal na sub-bacia do Rio Espinharas no período 2000 – 2010. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n.2, p. 202–209, 2014.

SOBRINHO, T. A., OLIVEIRA, P. T. S.; RODRIGUES, D. B.B.; AYRES, F. M. Delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 1, p. 46-57, 2010.

SOUSA, W.R.N. **Estimativa de Tendência de Séries Temporais de Imagens de Sensoriamento Remoto para Análise de Evolução de Processos de Desertificação**. 2012. Dissertação (Mestrado) – Programa de Mestrado em Ciência da Computação, Universidade Federal Rural do Semiárido e Universidade do Estado do Rio Grande do Norte. 2012.

SUDEMA – Superintendência de Administração do Meio Ambiente. **Atualização do diagnóstico florestal do Estado da Paraíba**. João Pessoa: SUDEMA, 2004. 268p.

TRIOLA, M. F. **Introdução a estatística**. Tradução: Flores, V. R. L. de F. 10. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2008.

VALERIANO, M. M.; ROSSETTI, D. F. TOPODATA: **Seleção de coeficientes geoestatísticos para o refinamento unificado de dados SRTM**. São José dos Campos: INPE, 2010.

VELLOSO, A. L.; SAMPANHO, E.V.S.B; PAREYN, F.G.C. **Ecorregiões propostas para o bioma da caatinga**. Recife: UFPE; PE, 2002. 176p.

VICENTE-SERRANO et al. Response of vegetation to drought time-scales across global land biomes. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, 2013, vol. 110, no. 1, pp. 52–57.

WANG, J; RICH, P. M.; PRICE, K. P. Temporal responses of NDVI to precipitation and temperature in the central Great Plains, USA. **International journal of remote sensing**, v. 24, n. 11, p. 2345-2364, 2003.

YANAGI, S. N. M. **Meling Radiative Transfer in Tropical Raing Forest Canopies: Sensitivity of Simulated Albedo to Canopy Architectural Parameters**. 2006. Tese (Doutorado em Meteorologia Agrícola) - Viçosa, Minas Gerais- Brasil. 2006.

YUAN, F.; ROY, S. S., Analysis of the Relationship Between NDVI and Climate Variables in Minnesota Using Geographically Weighted Regression and Spatial Interpolation. ASPRS 2007. **Annual Conference**. Tampa, Florida. 2007.

XIAOLIN, Z.; DESHENG, L. Improving forest aboveground biomass estimation using seasonal Landsat NDVI time-series. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, 2014. .