



UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE – UERN  
FACULDADE DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS – FANAT  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS NATURAIS – PPGCN  
MESTRADO EM CIÊNCIAS NATURAIS – MCN



ANTÔNIO HELTON DA SILVA BARBOSA

**ESTUDO DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA COBERTURA VEGETAL NA  
REGIÃO SERRANA DE MARTINS E PORTALEGRE/RN POR MEIO DE  
SENSORIAMENTO REMOTO.**

MOSSORÓ-RN  
2017

**ANTÔNIO HELTON DA SILVA BARBOSA**

**ESTUDO DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA COBERTURA VEGETAL NA  
REGIÃO SERRANA DE MARTINS E PORTALEGRE/RN POR MEIO DE  
SENSORIAMENTO REMOTO.**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Naturais, da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Ciências Naturais. Área de Concentração: Diagnóstico e Conservação Ambiental. Linha de Pesquisa: Diagnóstico e Conservação Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Guimarães de Carvalho.

MOSSORÓ-RN  
2017

Ficha catalográfica gerada pelo Sistema Integrado de Bibliotecas e Diretoria  
de Informatização (DINF) - UERN,  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

B238e      Barbosa, Antônio Helton da Silva.

Estudo da distribuição espacial da cobertura vegetal na Região Serrana de  
Martins e Portalegre/RN por meio de sensoriamento remoto

Orientador: Rodrigo Guimarães de Carvalho.

Coorientador: – .

1. NDVI. 2. Caatinga. 3. Áreas Prioritárias. 4. Serra de Martins e  
Portalegre. I. Carvalho, Rodrigo Guimarães de, orient. II. , –, co-orient. III. Título.

**ANTÔNIO HELTON DA SILVA BARBOSA**

**ESTUDO DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA COBERTURA VEGETAL NA  
REGIÃO SERRANA DE MARTINS E PORTALEGRE/RN POR MEIO DE  
SENSORIAMENTO REMOTO.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Naturais, da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciências Naturais.

Aprovada em: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Rodrigo Guimarães de Carvalho – Orientador  
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte – UERN

---

Prof. Dr. Ramiro Gustavo Valera Camacho  
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte – UERN

---

Prof.<sup>a</sup> Dra. Jacimária Fonseca de Medeiros  
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte – UERN

MOSSORÓ-RN  
2017

*Aos meus pais, Raimundo Barbosa Filho e  
Zuleide Araújo, responsáveis pela minha educação.*

*À minha companheira, Camila Saiury,  
por estar sempre ao meu lado.*

**Dedico**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, verdadeiro Doutor de todas as ciências do universo, pela força e coragem a mim concedida para realizar mais uma etapa acadêmica em minha vida.

Aos meus pais, Raimundo Barbosa Filho e Zuleide Araújo da Silva, responsáveis pela minha formação pessoal e pelo incentivo em todos os momentos da minha vida. A minha companheira, Camila Saiury Pereira Silva, pela paciência e dedicação durante esses dois anos juntos, na pós-graduação e fora dela.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Rodrigo Guimarães de Carvalho, pelas contribuições, sugestões e pela atenção dada ao meu trabalho. Agradeço aos Profs. Drs. Ramiro Gustavo Valera Camacho e Jacimária Fonseca de Medeiros, examinadores do meu trabalho, pela atenção prestada e pelas valiosas e engrandecedoras sugestões.

A Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (UERN) por ter me proporcionado conhecimento teórico. Aos Departamentos de Gestão Ambiental e Geografia, em nome do qual agradeço aos funcionários Diego Ezau Pereira de Araujo e Thales Alberto Freitas da Paixão e todos professores que direta ou indiretamente contribuíram para minha formação.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Naturais da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (UERN) e ao secretário, Thiago Mendes Fernandes, pelo auxílio e por sanar minhas dúvidas. Agradeço também a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudo.

Ao Núcleo de Estudos Socioambientais e Territoriais (NESAT) - UERN, em especial ao Prof. Dr. Alfredo Marcelo Grigio, pelo treinamento ministrado do *software* ArcGIS 10.2. Também agradeço a Maykon Targino da Silva, mestre em Recursos Naturais, pela amizade e auxílio nas questões pertinentes a temática de geoprocessamento.

Ao Laboratório de Estudos Costeiros e Áreas Protegidas (LECAP) - UERN, pela oportunidade de ingressar no projeto de contribuições ao planejamento urbano, ambiental e turístico dos municípios de Portalegre e Martins/RN, em especial ao coordenador Prof. Dr. Rodrigo Guimarães de Carvalho, pela disponibilização de informações, materiais cartográficos e documentos referentes às Serras de Martins e Portalegre.

Por fim, agradeço ao Prof. Ms. Luiz Tavernard de Souza Neto que me orientou durante o estágio docência na disciplina de Análise e Zoneamento Ambiental no curso de Gestão Ambiental (UERN). Agradeço também ao colega de estágio Alcigerio Pereira de Queiroz, a turma do 6º período e a todos os amigos que contribuíram com a realização deste trabalho.

*As matas preservadas são de Deus e nelas estão a esperança da humanidade.*

Jonh Muir

## RESUMO

O cenário de degradação e modificação da cobertura vegetal da Caatinga ao longo dos séculos de exploração por atividades antrópicas, fez com que fossem desmatados mais de 45% da sua cobertura original. Nas últimas décadas, essa devastação vem modificando as fisionomias e o revestimento florístico original de forma bastante acelerada, restando poucos remanescentes espalhados pelo Nordeste Brasileiro. Nessa perspectiva, esta dissertação teve como objetivo principal analisar e mapear a distribuição da cobertura vegetal da região serrana de Martins e Portalegre/RN por meio de técnicas sensoriamento remoto, como forma de subsidiar a conservação dos recursos naturais. A metodologia consistiu na aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada em uma imagem do satélite RapidEye com 5 metros de resolução espacial, utilizando sistema de informações geográficas. A resposta espectral foi classificada e espacializada levando em consideração os aspectos observados nas visitas a campo, com identificação da vegetação e demais alvos de superfície e com auxílio de GPS. Além disso, foram identificados e mapeados os tipos de cobertura vegetal por meio do método de classificação supervisionada e realizada uma análise geoespacial das classes temáticas. Os resultados obtidos com a aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada revelaram a existência de padrões de zonação fitogeográfica ao longo dos gradientes altitudinais, influenciados pelo clima, assim como, os gradientes ambientais, influenciados pela presença da umidade no solo em riachos e nascentes perenes. Igualmente, observou-se um padrão linear de vegetação perenifólia, localizado abaixo das linhas de ruptura do relevo plano da serra de Portalegre. As análises do mapa da cobertura vegetal sugerem um percentual de vegetal nativa de aproximadamente 63% e uso antrópico com valores próximos a 36% e 1% dos corpos hídricos. Sobre a configuração geoespacial e fitogeográfica, é possível relatar o predomínio de culturas permanentes e demais área antrópicas na superfície de topo tabular das serras. As altas vertentes das serras são revestidas de caatinga arbórea fechada, com exceção de algumas áreas, onde foram identificadas fitofisionomia florestal classificada como Ecótono. Já nas médias e baixas vertentes predominam a caatinga arbustiva-arbórea. Nas áreas sopedônias que circundam a área de estudo, prevaleceram as áreas antrópicas. Assim sendo, os resultados dessa pesquisa poderão contribuir para iniciativas de proteção a cobertura vegetal, principalmente dos remanescentes florestais do Domínio das Caatingas e Mata Atlântica Nordestina.

**Palavras-chave:** NDVI; Caatinga; Áreas Prioritárias; e Serra de Martins e Portalegre.

## ABSTRACT

The scenario of degradation and modification of the Caatinga vegetation cover over the centuries of exploitation by anthropic activities has caused more than 45% of its original coverage to be deforested. In the last decades, this devastation has been modifying the physiognomies and the original floristic covering in a very fast way, leaving few remnants scattered throughout the Northeast of Brazil. In this perspective, this dissertation had as main objective to analyze and map the distribution of vegetation cover of the mountainous region of Martins and Portalegre / RN through remote sensing techniques, as a way to subsidize the conservation of natural resources. The methodology consisted in the application of the Normalized Difference Vegetation Index in an image of the RapidEye satellite with 5 meters of spatial resolution using a geographic information system. The spectral response was classified and spatialized taking into account the aspects observed in the field visits, with identification of the vegetation and other surface targets and with the aid of GPS. In addition, the vegetation cover types were identified and mapped using the supervised classification method and a geospatial analysis of the thematic classes was performed. The results obtained with the application of the Normalized Difference Vegetation Index revealed the existence of phytogeographic zonation patterns along the climate - influenced altitudinal gradients, as well as the environmental gradients, influenced by the presence of soil moisture in perennial streams and springs . Likewise, a linear pattern of perennial vegetation was observed, located below the lines of rupture of the flat relief of the Portalegre mountain range. The analyzes of the vegetation cover map suggest a percentage of native vegetation of approximately 63% and anthropic use with values close to 36% and 1% of water bodies. On the geospatial and phytogeographic configuration, it is possible to report the predominance of permanent crops and other anthropic areas on the tabular top surface of the saws. The high slopes of the mountains are covered with closed arboreal caatinga, except for some areas, where forest phytophysiology classified as Ecotone was identified. The medium and low slopes predominate the shrub-tree caatinga. In the sopedonial areas that surround the study area, the anthropic areas prevailed. Therefore, the results of this research may contribute to initiatives to protect the vegetation cover, mainly the forest remnants of the Domain of Caatingas and Mata Atlântica Northeastern.

**Keywords:** NDVI; Caatinga; Priority areas; And Serra de Martins and Portalegre.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Comportamento do desmatamento no Bioma Caatinga, de 2002 a 2011, por estado. .....	22
Figura 2 – Variação do NDVI na região do semiárido, destacando a RSMP.....	27
Figura 3 – Mapa de Áreas Prioritárias para o Bioma Caatinga, destacando a RSMP.....	28
Figura 4 – Mapa de localização da Região Serrana de Martins e Portalegre. ....	34
Figura 5 – Valores da razão entre as bandas do Infravermelho e Vermelho (NDVI). ....	38
Figura 6 – Etapas do geoprocessamento dos dados ambientais. ....	39
Figura 7 – Mapa dos pontos coletados na Região Serrana de Martins e Portalegre.....	42
Figura 8 – Distribuição espacial do NDVI da Região Serrana de Martins e Portalegre/RN....	46
Figura 9 – Alvos de superfície enquadrados na Classe 1. ....	47
Figura 10 – Alvos de superfície enquadrados na Classe 2. ....	48
Figura 11 – Alvos de superfície enquadrados na Classe 3. ....	48
Figura 12 – Alvos de superfície enquadrados na Classe 4. ....	49
Figura 13 – Alvos de superfície enquadrados na Classe 5. ....	50
Figura 14 – Alvos de superfície enquadrados na Classe 6. ....	50
Figura 15 – Imagem de NDVI correlacionada aos alvos de superfície. ....	52
Figura 16 – Aspectos e características das tipologias da cobertura vegetal nativa durante o período seco, Serra de Portalegre. ....	53
Figura 17 – Distribuição fitogeográfica da vegetação nativa com maior NDVI, Serra de Portalegre.....	55
Figura 18 – Cultivo de cajueiro, Serra de Martins. ....	56
Figura 19 – Distribuição geoespacial da Vegetação Verde, Serra de Portalegre. ....	57
Figura 20 – Plantas perenifólias durante o período seco em meio a vegetação decídua, Serra de Portalegre.....	58
Figura 21 – Variação sazonal da cobertura vegetal na vertente nordeste da serra de Portalegre. .....	59
Figura 22 – Mapa da cobertura vegetal da RSMP.....	61
Figura 23 – Fitofisionomia dos locais classificados como áreas de Ecótono.....	62
Figura 24 – Fitofisionomia em áreas de Savana-Estépica Florestada, Serra de Martins.....	65
Figura 25 – Aspecto da fitofisionomia de Caatinga durante o período seco, Serra de Portalegre. .....	66

Figura 26 – Pomar de frutíferas permanentes de jaca, caju e coqueiros, Serra de Martins.....	67
Figura 27 – Polígonos de atividades antrópicas nas áreas circunvizinhas da Serra de Portalegre. .....	69
Figura 28 – Açude localizado no sopé da Serra de Portalegre. ....	70
Figura 29 – Vertentes cobertas por áreas contíguas de Caatinga, Serra de Portalegre.....	71
Figura 30 – Intervenções antrópicas em locais de nascentes perenes e vegetação arbórea.....	71

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Informações técnicas gerais da imagem RapidEye. ....	37
Quadro 2 – Nomenclatura da legenda do mapa de cobertura vegetal da RSMP.....	40
Quadro 3 – Alvos de superfície correspondente a suas respectivas classes. ....	43

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Histórico de cálculo de área desmatada na Caatinga por período analisado. ....	22
Tabela 2 – Estimativa preliminar do desmatamento ocorrido na Caatinga até 2014. ....	23
Tabela 3 – Pluviosidade mensal da Região Serrana de Martins e Portalegre, 2012.....	38
Tabela 4 – Intervalos de NDVI correspondente a suas respectivas classes.....	45
Tabela 5 – Intervalos de NDVI correspondente a suas respectivas classes e alvos de superfície. .....	53
Tabela 6 – Classes da cobertura vegetal com suas respectivas áreas. ....	60

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ARIE	Área de Relevante Interesse Ecológico
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CE	Ceará
CPRM	Serviços Geológicos do Brasil
CRN	Centro Regional do Nordeste
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EMPARN	Empresa de Pesquisa Agropecuário do Rio Grande do Norte
ESEC	Estação Ecológica
EUA	Estados Unidos da América
FANAT	Faculdade de Ciências Exatas e Naturais
GPS	Sistema de Posicionamento Global
Ha	Hectares
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICAT	Instituto de Ciências Atmosféricas
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
INSA	Instituto Nacional do Semiárido
IQA	Índice de Qualidade das Águas
Km	Quilometro
LAPIS	Laboratório de Análise de Processamento de Imagem de Satélites
LECAP	Laboratório de Estudos Costeiros e Áreas Protegidas
MCN	Mestrado em Ciências Naturais
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NDVI	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada
NESAT	Núcleo de Estudos Socioambientais e Territoriais
PPGCN	Programa de Pós-Graduação em Ciências Naturais
RIV	Ration Vegetation Index
RN	Rio Grande do Norte
RSMP	Região Serrana de Martins e Portalegre
RVI	Razão Simples
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SR	Sensoriamento Remoto
UERN	Universidade do Estado do Rio Grande do Norte
UFAL	Universidade Federal de Alagoas
UFERSA	Universidade Federal Rural do Semiárido
UMM	Unidade Mínima de Mapeamento
UTM	Universal Transversa de Mercator
VIN	Vegetax Index Number
ZANE	Zoneamento Agroecológico do Nordeste

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	16
2.1 ASPECTOS FISIOGRAFICOS E CARACTERISTICAS GERAIS DO DOMÍNIO DAS CAATINGAS .....	16
2.2 SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO AO MONITORAMENTO DA VEGETAÇÃO/COBERTURA DA TERRA .....	20
<b>2.2.1 Aplicações do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)</b> .....	23
2.3 ESTUDOS AMBIENTAIS NA REGIÃO SERRANA DE MARTINS E PORTALEGRE .....	27
<b>3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS</b> .....	33
3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS GEOAMBIENTAIS DA ÁREA DE ESTUDO .....	33
3.2 METODOLOGIA .....	35
3.2.1 Levantamentos bibliográfico e cartográfico .....	36
3.2.2 Geoprocessamento dos dados ambientais .....	36
3.2.3 Trabalhos de campo para averiguação das características estruturais da cobertura vegetal predominante nas classes de reflectância .....	41
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	45
4.1 APLICAÇÃO DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA NA REGIÃO SERRANA DE MARTINS E PORTALEGRE .....	45
4.2 AVERIGUAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS DA COBERTURA VEGETAL PREDOMINANTE NAS CLASSES DE REFLECTÂNCIA .....	51
4.3 CLASSES TEMÁTICAS DE COBERTURA VEGETAL .....	60
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	73
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	74
<b>APÊNDICE A – FICHA DE CAMPO</b> .....	83

## 1 INTRODUÇÃO

A vegetação é um dos componentes mais importantes da biota, na medida em que seu estado de conservação e de continuidade define a existência ou não de habitats para a fauna, a manutenção de serviços ambientais ou mesmo o fornecimento de bens essenciais à sobrevivência de populações humanas (MMA, 2007a).

No entanto, as pressões crescentes resultantes da urbanização desordenada, do aumento populacional, de atividades agropastoris e das mudanças climáticas, aliado a diversos outros fatores, se constituem em um sério desafio para a manutenção da biodiversidade e dos ecossistemas (SEEHUSEN; PREM, 2011). Assim, a importância de manejar os recursos naturais e de mitigar os impactos do crescimento urbano e expansão agrícola, tem sido cada vez mais reconhecida (SECRETARIAT OF THE CONVENTION ON BIOLOGICAL DIVERSITY, 2012).

Atualmente as geotecnologias, dentre elas o Sensoriamento Remoto (SR), aliado aos Sistemas de Informações Geográficas (SIG), constituem ferramentas essenciais nos estudos sobre conservação e preservação dos recursos naturais, assim como facilita o acompanhamento dos processos dinâmicos da natureza (RIBEIRO *et al.*, 2008).

Nesse sentido, uma das mais importantes contribuições do sensoriamento remoto é a identificação qualitativa e quantitativa da vegetação, que por meio da aplicação de índices de vegetação, torna possível identificar a distribuição espacial e temporal da cobertura vegetal de uma determinada área (OLIVEIRA; CHAVES; LIMA, 2009).

Dentre as diversificadas técnicas de processamento de imagens que possibilitam a exploração dos dados de sensores remotos destaca-se o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), proposto por Rouse *et al.* (1973), no qual permite identificar a presença de vegetação e caracterizar sua distribuição espacial e sua evolução no decorrer do tempo (ROSEMBACK; FRANÇA; FLORENZANO, 2005; LOBATO *et al.*, 2010).

Para atender aos desafios quanto ao uso e conservação dos remanescentes de vegetação nativa, o governo brasileiro apoia ações para a identificação de prioridades regionais que venham a dotar o governo e a sociedade de informações que conduzam à conservação, à utilização sustentável e à repartição de benefícios da diversidade biológica brasileira. Nesse caso, a quantidade de remanescentes de vegetação, assim como o seu grau de integridade, são informações fundamentais no processo de identificação de áreas e ações prioritárias para o uso sustentável.

De acordo com os últimos levantamentos do monitoramento do desmatamento no Bioma Caatinga, já foram desmatados mais de 46% da sua área total, sendo o Rio Grande do Norte o sexto estado a apresentar os maiores índices de desmatamento para os anos de 2010 e 2011 (MMA, 2016c).

Entendendo a sua importância no contexto ambiental do semiárido brasileiro, a Região Serrana de Martins e Portalegre (RSMP) foi classificada, de acordo com a Portaria nº 223, de 21 de junho de 2016 (MMA, 2016d), como uma área de importância biológica extremamente alta e prioridade de conservação extremamente alta. As principais características apontadas para a região, que justificaram essa classificação, foram devido à mesma apresentar chapadas e serras, possuir cavernas de mármore e ocorrência de espécie de ave ameaçada de extinção (*Picumnus limae*), além da presença de brejos de altitude (MMA, 2007b; MMA, 2016d).

Além disso, cabe salientar que a região constitui ambientes classificados como áreas prioritárias para a conservação da flora, sendo considerada uma região de extrema importância biológica possuindo classificação de prioridade geral extremamente alta (MMA, 2002). Contudo, a distribuição geoespacial das fisionomias vegetais dessa área de grande interesse para a conservação ainda não foram mapeadas com o uso de imagens de satélite de alta resolução.

Diante das características ambientais apresentadas, esta pesquisa busca responder o seguinte questionamento: Como a aplicação de técnicas de sensoriamento remoto em uma imagem de alta resolução espacial podem contribuir para o conhecimento da distribuição espacial da vegetação na Região Serrana de Martins e Portalegre?

Assim, visando contribuir para o conhecimento fitogeográfico, a pesquisa buscou analisar a distribuição da cobertura vegetal da Região Serrana de Martins e Portalegre/RN. Os objetivos específicos foram: analisar a distribuição espacial da cobertura vegetal a partir do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) de uma imagem RapidEye do ano de 2012; verificar a realidade terrestre a partir de pontos amostrais; classificar e mapear a cobertura vegetal da RSMP.

Deste modo, esta pesquisa representa uma contribuição à conservação e ao conhecimento da distribuição espacial da cobertura vegetal da região, das zonas de Caatinga e dos brejos de altitude, que são verdadeiras ilhas de vegetação úmida serrana em meio ao domínio do semiárido, representando refúgios biológicos para várias espécies.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS E CARACTERÍSTICAS GERAIS DO DOMÍNIO DAS CAATINGAS

A região semiárida do Nordeste Brasileiro, província fitogeográfica das caatingas onde predominam temperaturas médias muito elevadas e constantes, é uma das três grandes áreas semiáridas da América do Sul, junto com a região Guajira na Venezuela e Colômbia e a diagonal seca do Cone Sul, ao longo da Argentina, Chile e Equador (AB'SABER, 1999). Segundo o mesmo autor, os atributos que dão semelhança às regiões semiáridas são sempre de origem climática, hídrica e fitogeográfica.

Para Prado (2003) é importante destacar que as províncias fitogeográficas não necessariamente coincidem com as regiões geográficas que podem possuir o mesmo nome. Sendo assim, as áreas geográficas não implicam em uma vegetação homogênea ou equivalente com as províncias fitogeográficas (PRADO, 2003).

A Caatinga é o único bioma restrito ao território brasileiro, ocupando basicamente a Região Nordeste, com algumas áreas no Estado de Minas Gerais. O Bioma estende pela totalidade do estado do Ceará (100%) e mais de metade da Bahia (54%), da Paraíba (92%), de Pernambuco (83%), do Piauí (63%) e do Rio Grande do Norte (95%), quase metade de Alagoas (48%) e Sergipe (49%), além de pequenas porções de Minas Gerais (2%) e do Maranhão (1%) (IBGE, 2004; BARROS, 2003).

Ao analisar as definições e delimitações já realizadas sobre o Bioma Caatinga, Sampaio e Rodal (2000), separaram três atributos básicos de características em comum que poderiam ser considerados em conjunto para delimitar o Bioma, são eles:

- 1) a vegetação que cobre uma área mais ou menos contínua, submetida a um clima quente e semiárido, bordado por áreas de clima mais úmido. Esta área seca está, na sua maior parte, confinada à região politicamente definida como Nordeste. Uma pequena parte pode estar no norte de Minas Gerais, dentro da área também definida politicamente como polígono das secas; 2) uma vegetação com plantas que apresentam características relacionadas a adaptações a deficiência hídrica (caducifólia, herbáceas anuais, suculência, acúleos e espinhos, predominância de arbustos e árvores de pequeno porte, cobertura descontínua de copas); 3) uma flora com algumas espécies endêmicas a esta área semiárida e outras que ocorrem nesta área e em outras áreas secas, mais ou menos distantes, mas não ocorrem nas áreas mais úmidas que fazem limite com o semiárido (SAMPAIO; RODAL, 2000, p. 2).

De acordo com Sampaio e Rodal (2000) as sobreposições desses atributos permitem identificar áreas nucleares, onde um número maior das características consideradas básicas se sobrepõe, e áreas marginais, aonde este número vai diminuindo, até chegar-se aos limites com as áreas onde as características das plantas e do meio definem outro tipo de vegetação e/ou bioma.

Para Ab'saber (2003) não existe melhor termômetro para delimitar o Nordeste seco do que os extremos da própria vegetação da caatinga. Até onde vão os diferentes aspectos gerais de caatingas de modo relativamente contínuo, estaremos na presença de ambientes semiáridos. O mapa de vegetação é mais útil para definir o domínio climático regional do que qualquer outro tipo de abordagem, por mais racional que pareça. Mesmo assim, tudo indica que as isoietas 750 a 800 mm, sejam os limites aproximados, em mapa, dos espaços dominados pela semiaridez (AB'SABER, 2003).

Dentre todos os biomas brasileiros, a Caatinga é um dos menos conhecidos cientificamente e vem sendo tratado com baixa prioridade em relação aos demais biomas. É um dos mais ameaçados, devido ao uso inadequado e insustentável dos seus solos e recursos naturais, e por ter uma menos de 1% protegida em unidades de conservação de proteção integral (FRANCA-ROCHA *et al.*, 2006).

Apesar de estar inserido em uma região de clima semiárido, com uma restrição forte ao crescimento devido à deficiência hídrica, a Caatinga apresenta uma diversidade florística alta. Sua enorme extensão e pluralidades de topografias e solos, junto à diversidade de condições de disponibilidade de água, apresentam ambientes muito distintos: de aquáticos a rupestres, de matas altas a campos abertos, incluindo encaves de matas úmidas e de cerrados (SAMPAIO, 2010).

A prevalência de um clima BSh, caracterizado como clima semiárido quente segundo a classificação climática de Köppen, é bem conhecida da região nordeste do Brasil. Embora não seja o único tipo de clima peculiar para a região, é, no entanto, o clima responsável pela vegetação adjacente. A irregularidade e baixa quantidade de chuvas e as altas temperaturas são as principais razões para esse clima. Nestas circunstâncias, e de ano para ano, a precipitação no Nordeste varia de 259,4 mm / ano, em Cabaceiras, Paraíba, a cerca de 1000 mm no centro-sul da Bahia e norte de Minas Gerais (ANDRADE-LIMA, 1981).

O domínio das caatingas brasileiras é um dos três espaços semiáridos da América do Sul. Esse fato o caracteriza como um dos domínios de natureza de excepcionalidade marcante no contexto climático e hidrológico de um continente dotado de grandes e contínuas extensões de terras úmidas. Na realidade, a maior parte do continente sul-americano é amplamente

dominada por climas quente, subquentes e temperados, bastante chuvosos e ricos em recursos hídricos (AB’SABER, 2003).

O clima do Nordeste é um dos mais complexos do país, devido à grande área, com diferentes formas de relevo, e especialmente a associação de dois sistemas atmosféricos formados pelos alísios do Nordeste e Sudeste, o que propicia chuvas em diversos períodos do ano e em diferentes quantidades (GIULIETTI *et al.*, 2006). Os totais de chuva, distribuídos quase todos em um período de três a seis meses, variam muito de ano para ano e, em intervalos de dez a vinte anos, caem a menos de metade da média, às vezes durante três a cinco anos seguidos, fenômeno conhecido como a “seca” (VELOSSO; SAMPAIO; PAREYN, 2002).

As condições climáticas e os contrastes apresentados pelas Caatingas, nas ocasiões de secas ou de chuvas, são muitos acentuados. Nesse contexto, as variações fisionômicas são verificadas não só de área para área como também num mesmo local. Aliás, as principais características desse tipo de vegetação devem ser atribuídas a uma estreita correlação com o clima tropical quente e semiárido. A perda total das folhas durante a estação mais seca é a mais flagrante dessas características (ROCHA *et al.*, 2011).

Para Araújo filho e Crispim (2002) a distribuição fitossociológica da vegetação, ou seja, a densidade, frequência e dominância das espécies também são determinadas pelas variações topográficas, tipo de solo e pluviosidade.

Tomando-se por base os tipos mais gerais, pode-se dizer que a Caatinga se encontra mais ou menos dispersos sobre um solo, em geral raso e quase sempre pedregoso, pois os solos que compõem o ecossistema da Caatinga são arenosos ou areno-argilosos, pedregosos e pobres em matéria orgânica (ROCHA *et al.*, 2011).

A grande variedade da cobertura vegetal nordestina relaciona-se, assim, com a diferenciação dos demais elementos da paisagem, tais como o embasamento geológico, o clima e a hidrografia (ROCHA *et al.*, 2011), formadas por uma gama de combinações entre tipos edáficos e variações microclimáticas (BARROS, 2003). O clima aliado a outros elementos do meio pelos quais é influenciado e exerce influência, como o relevo, o solo, a vegetação e a hidrografia, apresenta-se como o grande comandante das diferenciações ocorrentes na vegetação de caatinga (NETTO; LINS; COUTINHO, 2008). Esses conjuntos de fatores físicos e climáticos condicionam o aparecimento de diferentes tipos de vegetação, muitas vezes na forma de um mosaico (GIULIETTI *et al.*, 2006).

De acordo com Prado (2003) “A vegetação das Caatingas no nordeste do Brasil compreende uma unidade fitogeográfica bem definida caracterizada pelo seu alto grau de endemismo florístico e particularidades dos diferentes tipos de vegetação”. Deste modo, tratar

da classificação da vegetação de Caatinga implica em reconhecê-la como uma entidade identificável, composta por um conjunto de plantas que a diferencia dos conjuntos que formam os outros tipos de vegetação e/ou biomas (SAMPAIO; RODAL, 2000).

Andrade-Lima (1981) baseado em observações de campo e utilizando critérios fisionômicos e florísticos, classificou a vegetação de caatinga em seis unidades fitofisionômicas e doze tipos de comunidades vegetais de acordo com as espécies marcantes das comunidades, aquelas que primeiro chamam a atenção para o observador, e que podem ser reconhecidas atualmente dentro do bioma Caatinga.

Para Araújo Filho e Crispim (2002) embora, fisionomicamente possam ser identificados 12 tipos de caatingas, além de grande variação na composição florística resultante das atividades antrópicas, dois modelos gerais são representados: a caatinga arbustiva-arbórea, dominante nos sertões semiáridos e a arbórea, característica das vertentes e pés-de-serra e dos aluviões.

Associados à heterogeneidade do relevo, clima e solo no Nordeste do Brasil, dois tipos fisionômicos de vegetação dominam na área semiárida e apresentam três estratos distintos, arbóreo, arbustivo e herbáceo. As fisionomias não florestais e as florestais variam quanto a deciduidade foliar, de perenifólias, semidecíduas a decíduas, havendo predominância de plantas caducifólias que perdem suas folhas entre o final das chuvas e o início da estação seca (ARAÚJO *et al.*, 2005; PEREIRA FILHO; BAKKE, 2010).

De forma geral, a vegetação de caatinga é constituída, especialmente, de espécies arbustivas e arbóreas de pequeno porte. O substrato pode ser composto de cactáceas, bromeliáceas, havendo, ainda um componente herbáceo formado por gramíneas, predominantemente anual (ARAÚJO FILHO; CRISPIM, 2002).

A Caatinga caracteriza-se por sua vegetação predominantemente xerófila, decídua, nanofoliadas, porte e densidade variáveis, grande ramificação desde a parte inferior do tronco, algumas com reservas hídricas, cera sobre a lâmina foliar e espinhos. As folhas permanecem verdes durante a estação das chuvas e perde suas folhas à medida que se acentua o período de estiagem, demonstrado potencial biótico ajustado às condições do meio sendo que a presença das suculentas são alguns dos testemunhos da adaptação das plantas à aridez do clima nordestino (PEREIRA FILHO; BAKKE, 2010; ROCHA *et al.*, 2011; NETTO; LINS; COUTINHO, 2008).

Além disso, as folhas e as flores são produzidas em um curto período de chuvas e a caatinga permanece “dormente” durante a maior parte do ano (LEAL *et al.*, 2005). Desta forma, como as chuvas são desigualmente distribuídas em quantidade e temporalidade ao longo das

caatingas, não existe neste tipo de vegetação um único período de floração para toda região (ANDRADE-LIMA, 1981).

Tendo em vista sua extrema heterogeneidade, é um dos conjuntos de espécies vegetais mais difíceis de ser definido. Essa diversificação se manifesta não só quanto à fisionomia como também quanto à composição florística (ROCHA *et al.*, 2011). Cactos e bromélias terrestres são, também, elementos importantes da paisagem da caatinga. O estrato herbáceo é efêmero e constituído principalmente por gramíneas e outras espécies vegetais que aparecem apenas na curta estação chuvosa (QUEIROZ, 2006).

## 2.2 SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO AO MONITORAMENTO DA VEGETAÇÃO/COBERTURA DA TERRA

O avanço contínuo da tecnologia computacional aliado à complexidade do gerenciamento de recursos naturais, vem estimulando cada vez mais a utilização de processamento e simulações computacionais, tendo como ferramenta para auxiliar nas tomadas de decisões enfrentadas por gestores ambientais (ESPÍNDOLA; SCHALCH, 2004).

Esse avanço, permitiu a criação de metodologias na manipulação de imagens digitais e sensoriamento remoto com a finalidade de obter dados e realizar transformações para aumentar o potencial de extração de informações (RUHOFF, 2004).

Nessa perspectiva, Sensoriamento Remoto (SR) tem se mostrado uma tecnologia importante, firmando-se como uma eficiente ferramenta para o monitoramento, controle e análise de recursos naturais em geral, pois têm a capacidade de fazer a coleta de dados da superfície e também da dinâmica da paisagem, sem perturbar o ambiente (FLORENZANO, 2002). Além disso, ainda é capaz de analisar extensas áreas em menor tempo e com menor custo.

Para Novo (1989) o SR é definido como sendo a utilização conjunta de modernos sensores, equipamentos de transmissão de dados, aeronaves, espaçonaves e etc., com o objetivo de estudar o ambiente terrestre através do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias componentes do planeta terra.

Um dos componentes da superfície terrestre quem vem sendo bastante estudado por meio do SR é a cobertura vegetal. Um exemplo é a pesquisa de Hansen *et al.* (2013) que tem por objetivo quantificar as mudanças na cobertura florestal e uso da terra, desde o ano 2000, por meio do monitoramento global da cobertura florestal por satélite, analisar e identificar os

principais padrões das feições de desmatamento, assim como suas tendências, relacionando-os com as diferentes formas de ocupação humana e os principais usos da cobertura terrestre.

Além disso, o estudo representa um registro globalmente consistente e localmente relevante da mudança das florestas e estima taxas anuais de desmatamento, produzindo grandes quantidades de dados espaciais de todo o planeta. De todos os países a nível mundial, o Brasil exibiu o maior declínio na perda florestal anual, com alta de mais de 40.000 km<sup>2</sup>/ano de 2003 para 2004 e uma baixa de aproximadamente 20.000 km<sup>2</sup>/ano de 2010 a 2011 (HANSEN *et al.*, 2013).

Segundo Hansen *et al.* (2013) o Brasil é uma exceção global em termos de mudança florestal, com uma dramática redução orientada por políticas de combate ao desmatamento na Bacia Amazônica. Até agora, apenas o Brasil produz e compartilha informações espacialmente explícitas sobre a extensão florestal anual e suas mudanças. O uso no Brasil dos dados Landsat para documentar tendências do desmatamento foi crucial para a formulação e implementação da sua política (HANSEN *et al.*, 2013).

No Brasil, a gênese da caracterização e mapeamento da vegetação do território de forma integrada foi iniciada em 1974 com o Projeto RADAMBRASIL, quando foi realizado o levantamento dos recursos naturais dos Estados brasileiros, através do uso de radares e levantamentos em campo (COURA, 2006). Considerando-se os biomas individualmente, apenas a Amazônia e partes da Mata Atlântica tornaram-se objetos de programas permanentes de monitoramento da evolução da cobertura vegetal a partir do final da década de 1980 (MMA, 2007a).

Devido às modificações na forma de ocupação do território brasileiro, ocorridas sobretudo em função da interiorização do uso e ocupação do solo ao longo dos últimos 30 anos, os mapas de vegetação do RADAMBRASIL já não refletiam a realidade. A fim de preencher esta lacuna de informação, o Ministério do Meio Ambiente (MMA), em 2007, apresentou os resultados do Mapeamento de Cobertura Vegetal dos Biomas Brasileiros (MMA, 2007a; MMA, 2010).

No que diz respeito ao semiárido brasileiro, tal mapeamento teve a escala de 1:250.000, de modo que o bioma Caatinga, até 2002, teve os seguintes resultados: a) cobertura vegetal natural – 55,67%; b) cobertura vegetal antrópica – 43,38%; e corpo d'água – 0,95% (MMA, 2010).

Nesse seguimento, os resultados de 2002 até o ano de 2008, que tiveram escala de 1:50.000, obtiveram os valores de: a) cobertura vegetal natural – 53,62%; b) cobertura vegetal antrópica – 45,39 %; e corpo d'água – 0,99 %. Nesse intervalo a Caatinga perdeu, em média,

0,33% de sua cobertura vegetal nativa por ano no período analisado (MMA, 2010). Nas estimativas preliminares do desmatamento ocorrido na Caatinga no período de 2008-2009, o bioma sofreu uma perda aproximada de 0,23%, com valores de: a) cobertura vegetal natural – 53,38%; b) cobertura vegetal antrópica – 45,62%; e corpo d'água – 1,01% (MMA, 2011).

Os últimos relatórios sobre o monitoramento das áreas desmatadas do bioma Caatinga apresentaram uma tendência de redução do desmatamento (TABELA 1), havendo um decréscimo acentuado no percentual de desmatamento anual, considerando os períodos anteriores (MMA, 2016b).

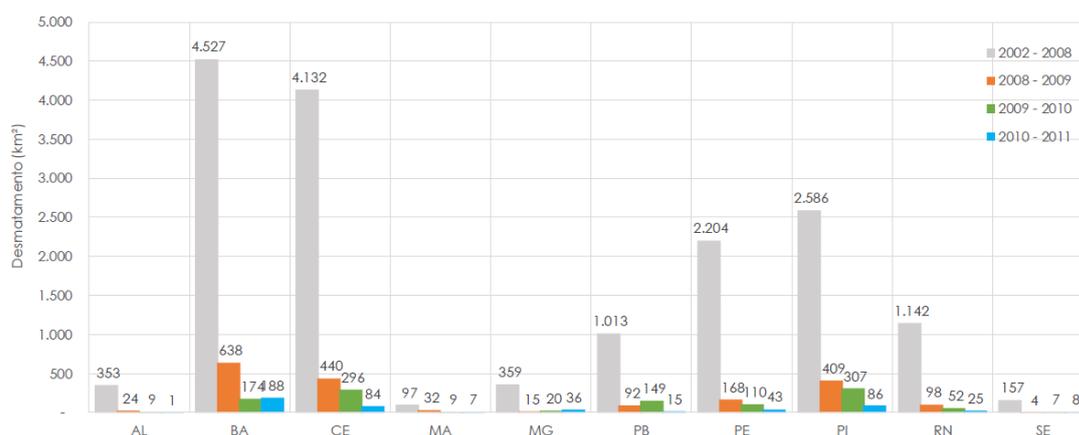
Tabela 1 – Histórico de cálculo de área desmatada na Caatinga por período analisado.

Área original do Bioma (km <sup>2</sup> )	Área desmatada até 2002 (km <sup>2</sup> )	Área desmatada 2002-2008 (km <sup>2</sup> )	Área desmatada 2008-2009 (km <sup>2</sup> )	Área desmatada 2009-2010 (km <sup>2</sup> )	Área desmatada 2010-2011 (km <sup>2</sup> )	Área total desmatada no bioma (km <sup>2</sup> )	Área total desmatada no bioma até 2011 (%)
<b>826.441</b>	<b>358.535</b>	<b>16.570</b>	<b>1.921</b>	<b>1.134</b>	<b>494</b>	<b>378.654</b>	<b>45,82</b>

Fonte: MMA, 2016c.

O histórico de desmatamento na Caatinga por Estado, em termos absolutos, também apresentou uma tendência de redução dos valores (FIGURA 1).

Figura 1 – Comportamento do desmatamento no Bioma Caatinga, de 2002 a 2011, por estado.



Fonte: MMA, 2016c.

Atualmente, os estudos sobre o monitoramento da cobertura vegetal do único Bioma exclusivamente brasileiro, a Caatinga, vêm sendo desenvolvidos pelo grupo de geoprocessamento do Centro Regional do Nordeste (CRN) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), em Natal (RN).

Segundo o INPE (2015), centenas de municípios já foram mapeados. Os estados da Paraíba e Ceará têm mais de 70% de suas áreas mapeadas. O desenvolvimento inicial do monitoramento da Caatinga apresenta os seguintes resultados preliminares, utilizando os anos de 2013/2014 do satélite Landsat-8 (TABELA 2).

Tabela 2 – Estimativa preliminar do desmatamento ocorrido na Caatinga até 2014.

<b>Caatinga Preservada</b>	<b>Caatinga Degradada</b>	<b>Solo Exposto</b>	<b>Lavoura</b>	<b>Água</b>	<b>Urbano</b>
<b>39,98</b>	45,06	7,24	6,45	0,76	0,32

Fonte: Adaptado do INPE (2015).

Com um viés diferente dos projetos de monitoramento do desmatamento da cobertura vegetal, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) realiza desde o ano 2000 o projeto: Mudanças na Cobertura e Uso da Terra que tem como objetivo monitorar as alterações na cobertura e uso da terra do Brasil a cada dois anos. Esse estudo representa importante instrumento de suporte e orientação às ações gerenciais e à tomada de decisão, para a manutenção e o monitoramento da qualidade e da sustentabilidade ambiental (IBGE, 2016).

Com base nos resultados mais recentes, com dados até 2014, o mapa indica de 2012 a 2014, cerca de 4,6% do território brasileiro sofreram algum tipo de alteração em sua cobertura. Esta taxa é ligeiramente maior que a observada no período anterior (2010 a 2012), que foi de 3,5%. O estudo ressalta que, de forma geral, prossegue a expansão da agricultura, das pastagens com manejo, da silvicultura e das áreas artificiais, além de continuarem as reduções nas áreas de vegetação florestal e de pastos naturais (áreas com vegetação natural não-arbórea, predominantes nos biomas cerrado, caatinga e pampa) (IBGE, 2016).

Em linhas gerais, fica evidente a importância do uso do sensoriamento remoto no mapeamento e monitoramento das mudanças da cobertura terrestre. Além disso, os monitoramentos oficiais de desmatamento e cobertura da terra permitem reconhecer as atividades econômicas que influenciam diretamente na dinâmica das várias paisagens dos biomas Brasileiros.

### **2.2.1 Aplicações do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)**

Desde o lançamento do primeiro satélite de recursos terrestres em 1972, esforços notáveis foram realizados para estabelecer uma estreita relação entre a resposta radiométrica e tipos de cobertura vegetal (BANNARI; MORIN; BONN, 1995).

Nesse contexto, os primeiros índices de vegetação foram desenvolvidos por Person e Miller, em 1972, usando os números digitais brutos do satélite, sem transformações para reflectância, correções atmosféricas e calibração de sensor. Esses pesquisadores são os pioneiros na história dos índices de vegetação e desenvolveram os dois primeiros índices na forma de razão entre as bandas do visível e infravermelho - próximo, o Ration Vegetation Index (RIV) e o Vegetation Index Number (VIN) para a estimativa e o monitoramento da cobertura vegetal (BANNARI; MORIN; BONN, 1995).

Segundo Moreira (2003) os índices de vegetação foram criados, entre outras coisas, para tentar diminuir o trabalho de análise de dados orbitais, através da maximização de informações espectrais da vegetação no menor número de bandas de operação dos sensores. Foram criados no intuito de ressaltar o comportamento espectral da vegetação em relação ao solo e a outros alvos da superfície terrestre, realçando o contraste espectral entre a vegetação e o solo. Ainda, segundo o mesmo autor, na literatura são encontrados mais de 50 índices de vegetação; todavia, os dois mais comumente utilizados são: Razão Simples (RVI) e o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada.

O Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) ou Índice de Vegetação por Diferença Normalizada é o índice de vegetação mais comumente empregado em estudos sobre vegetação, sendo uma aplicação dos processos de realce por operações matemáticas entre bandas de sensores de satélites (MELO; SALES; OLIVEIRA, 2011).

O NDVI, foi proposto por Rouse *et al.* (1973), a partir da normalização do Índice de Vegetação da Razão Simples para o intervalo de -1 a +1. A normalização consiste numa relação entre as medidas espectrais de duas bandas, a infravermelho próximo e a vermelha (PONZONI; SHIMABUKURO, 2012).

O NDVI é amplamente utilizado em praticamente todos os biomas terrestres, sendo aplicado para os mais variados estudos ambientais. Uma das primeiras tentativas de classificação de cobertura terrestre derivadas de NDVI em escala global foram realizadas por Defries e Townshend (1994).

Os citados autores, utilizaram onze tipos de cobertura que, de um modo geral, representam grandes biomas do mundo, distinguidos segundo o perfil temporal do NDVI: latifoliada rala sempre verde; floresta de coníferas floresta sempre verde e bosques; alta latitude floresta estacional decidual; tundra; floresta estacional decidual mista e sempre verde e bosques; pastagem arborizada; pastagem; arbustos e solo nu; solo nu; e culturas cultivadas (DEFRIES; TOWNSHEND, 1994).

A relação direta entre a cobertura vegetal e os fatores climáticos levaram Kawabata e Yamaguchi (2001) a investigar as tendências de variação interanuais de NDVI, sazonalmente e anualmente, em uma escala global usando um conjunto de dados a partir de 1982 a 1990.

Em ambientes áridos e semiáridos de todo o mundo, vários são os estudos que utilizaram este importante índice de vegetação para a classificação da cobertura terrestre com base nas variáveis ambientais (clima, solo, geologia) que influenciam a variação das características fenológicas.

Desse modo, Wang, Rich e Price (2003) investigaram as respostas temporais do NDVI à precipitação e temperatura no estado de Kansas, centro das Grandes Planícies, Estados Unidos da América (EUA). Um dos objetivos do estudo foi verificar através da análise sistemática dos dados, como o NDVI responde as variações climáticas para diferentes categorias de cobertura terrestre (prado, lavouras e florestas).

Ainda sob a perspectiva de correlacionar os fatores climáticos e as respostas da vegetação por meio do NDVI, Funk e Brown (2006) utilizaram parâmetros de precipitação, umidade relativa da superfície e NDVI para criar uma modelagem climática capaz de realizar previsões sobre NDVI na África semiárida. Nesse sentido, as projeções estatísticas podem permitir a identificação antecipada dos impactos que afetam as regiões agrícolas e pastoris, podendo se tornar uma ferramenta importante em zonas semiáridas de todo o mundo.

Com relação ao monitoramento da cobertura vegetal em ambientes semiáridos, Schmidt e Karnieli (2000), aplicaram o NDVI para monitorar durante dois anos a cobertura vegetal em dois tipos de ambientes semiáridos - dunas de areia e áreas rochosas – localizadas no deserto de Negev de Israel. As duas áreas são diferentes em termos de geologia e pedologia, bem como cobertura vegetal e composição.

Informações de monitoramento baseadas em período um pouco mais longo foi realizado por Weiss *et al.* (2004), onde utilizou o NDVI para analisar 11 anos (1990-2000) de variabilidade sazonal e interanual no centro de Novo México, EUA. Os pesquisadores utilizaram para esse estudo seis diferentes comunidades vegetais: Grandes Planícies/deserto pastagens, Deserto de Chihuahuan, Pinõn-florestal, Juniper savana, arbusto-estepe do Platô do Colorado e pastagens do Platô do Colorado.

No tocante as regiões semiáridas do Brasil, Barbosa, Huete e Baethgen (2006) analisaram a variabilidade do NDVI na Região Nordeste do Brasil durante 20 anos para caracterizar as respostas da vegetação a variabilidade e identificar variações temporais na dinâmica da vegetação na paisagem do Nordeste Brasileiro.

Nesse contexto, outros estudos de caráter regional e local foram desenvolvidos na região semiárida do Nordeste Brasileiro. Assim sendo, algumas pesquisas utilizaram o NDVI para estudos de análise, monitoramento e mapeamento da cobertura vegetal. Sá *et al.* (2010) utilizou o NDVI para analisar e quantificar a cobertura vegetal da região do Araripe Pernambucano. Ainda no estado de Pernambuco, Santos (2014), realizou estudos para verificar as alterações na composição da cobertura vegetal nos municípios do Agreste Meridional, com o auxílio da aplicação do NDVI.

No que se refere a aplicação do NDVI em unidades de conservação no semiárido brasileiro, Lemos (2006) utilizou valores de NDVI para realizar mapeamento de vegetação de Caatinga na Estação Ecológica (ESEC) de Aiuaba/CE, com o objetivo de estimar a cobertura vegetal. Nesse seguimento, Camacho (2001) também utilizou o NDVI para auxiliar na elaboração de um mapa da vegetação da ESEC do Seridó, Serra Negra do Norte/RN.

Análises de degradação ambiental por meio da aplicação do NDVI em monitoramento fitogeográfico de uma microbacia hidrográfica foi realizada por Melo, Sales e Oliveira (2011) no município de Crateús/CE. Nesse estudo, os autores avaliaram as transformações ocorridas, em termos de cobertura, ocupação e uso do território entre os anos de 1979 e 2006 e concluíram que índices de cobertura vegetal representam as reais condições de conservação e de degradação ambiental dessa área.

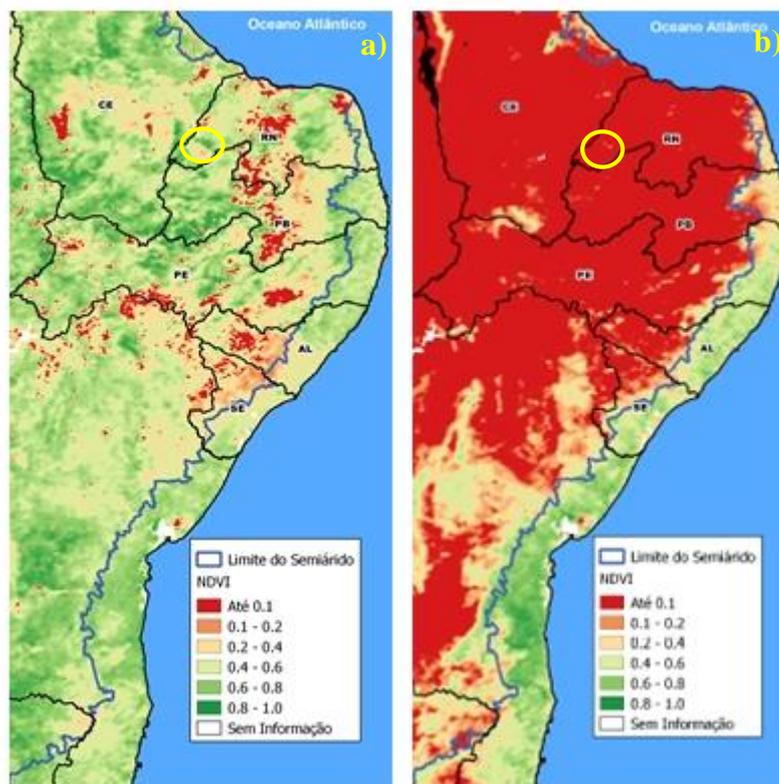
Esses autores apontam que, devido as particularidades fisiológicas das plantas que recobrem o semiárido, o NDVI pode ter respostas muito diferentes entre as estações seca e chuvosa. Portanto, qualquer estudo da vegetação do semiárido por NDVI deve embasar o contexto da precipitação anual do ano da imagem de satélite utilizada, assim como o contexto evolutivo dos últimos anos em relação a precipitação.

Para todo o semiárido brasileiro as estimativas de parâmetros de vegetação foram descritas por Barbosa (1999) ao analisar a resposta dos dados de NDVI para os diferentes tipos de vegetação do Nordeste do Brasil em função da pluviometria, objetivando o monitoramento de eventos climáticos extremos. A análise temporal realizada entre os anos de 1982 a 1985, constatou que os valores de NDVI aumentaram após uma precipitação significativa, apresentando defasagem temporal entre a ocorrência da precipitação e a absorção de água disponível pela vegetação, a qual passa a aumentar suas atividades fotossintéticas, que são registradas pelo aumento dos valores do índice (BARBOSA,1999).

Atualmente, a região semiárida do Nordeste Brasileiro conta com monitoramento a nível institucional do NDVI (FIGURA 2) disponibilizado como resultado da parceria entre o Instituto Nacional do Semiárido (INSA) e o Laboratório de Análise e Processamento de Imagens de

Satélites (LAPIS), unidade de investigação e desenvolvimento integrada ao Instituto de Ciências Atmosféricas (ICAT) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL).

Figura 2 – Variação do NDVI na região do semiárido, destacando a RSMP.



a) Mês de fevereiro, estação chuvosa; b) Mês de setembro, estação seca.

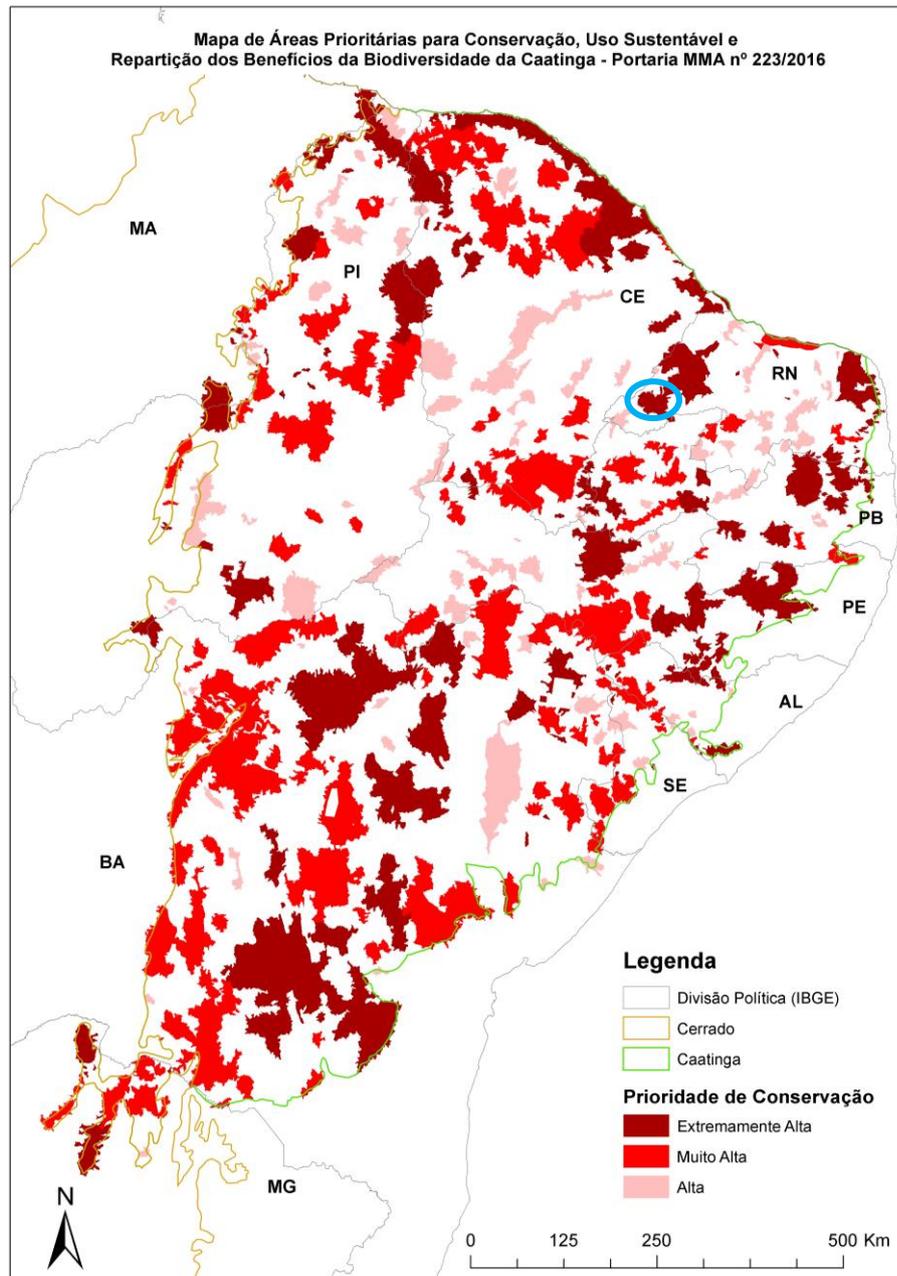
Fonte: LAPIS/INSA, 2016.

A avaliação ecológica do bioma Caatinga às mudanças ambientais é baseada na análise de produtividade e dinâmica fenológica da vegetação (variação sazonal) em relação aos padrões de precipitação, com particular ênfase para os distúrbios e magnitude dos efeitos.

### 2.3 ESTUDOS AMBIENTAIS NA REGIÃO SERRANA DE MARTINS E PORTALEGRE

A Região Serrana de Martins e Portalegre (RSMP) se destaca como uma paisagem de exceção dentro do contexto semiárido do estado do Rio Grande do Norte. Dentro do bioma Caatinga, a região está inserida em um seletor grupo de áreas prioritárias para conservação, uso sustentável e repartição dos benefícios da biodiversidade brasileira (FIGURA 3), de acordo com os critérios de representatividade, vulnerabilidade dos ambientes e insubstituibilidade (MMA, 2007b; MMA, 2016a).

Figura 3 – Mapa de Áreas Prioritárias para o Bioma Caatinga, destacando a RSMP.



Fonte: MMA, 2016a.

A Região foi classificada como uma área de importância biológica extremamente alta e prioridade extremamente alta. As principais características apontadas para região que justificaram essa classificação foram pôr a mesma apresentar chapadas e serras, possuir cavernas de mármore e ocorrência de espécie de ave ameaçada de extinção (*Picumnus limae*), além da presença de brejos de altitude (MMA, 2007b).

Além disso, o MMA (2007b) recomenda a criação de unidade de conservação de 97.000 (ha) na Serra de Martins, na categoria de parque nacional, com interesse na proteção e

conservação da vegetação de brejo de altitude, das belezas cênicas, e também do patrimônio espeleológico, arqueológico e histórico.

Em razão de sua importância local e regional, vários estudos vêm sendo desenvolvidos no intuito de contribuir para o conhecimento e conservação das paisagens serranas e seus atributos físico-naturais.

Nesse sentido, os aspectos relacionados a evolução geomorfológica da região foi objeto de estudo de Maia (2016), onde concluiu que a inversão do relevo nos maciços de Portalegre e Martins ocorreu a partir de dois processos principais: a erosão diferencial do embasamento e a tectônica sin e pós-rifte.

Do ponto de vista geomorfológico, a região forma platôs da ordem de 700 metros de altitude. Trata-se de maciços de topo plano, parcialmente recobertos por arenitos laterizados da Formação Serra do Martins. Esta formação ocorre como chapadas de relevo plano a levemente ondulado, com escarpas abruptas e contornos irregulares (MAIA, 2016).

Esse compartimento montanhoso encontra-se basicamente dividido em dois relevos serranos similares que constituem as serras de Martins e de Portalegre, que são nomes de dois municípios, cujas sedes municipais se localizam nos topos tabulares dessas serras. Com relação à dimensão espacial, a superfície tabular do topo da serra de Portalegre possui cerca de 21km<sup>2</sup>, enquanto que a serra de Martins possui cerca de 12km<sup>2</sup> (BASTOS *et al.*, 2016).

As áreas mais elevadas das serras do Martins e Portalegre são os setores tabulares do topo, morfoestruturalmente condicionados pela Formação Serra do Martins. Já as áreas sertanejas circunvizinhas se encontram em cotas abaixo de 300 m. Os contatos entre as áreas elevadas das serras e os sertões se dão de forma abrupta, com declives acentuados e, em muitos casos, escarpados em vertentes graníticas e/ou cornijas areníticas (BASTOS *et al.*, 2016).

Segundo o mapa geológico do Estado do Rio Grande do Norte, a RSMP encontra-se sobre as seguintes formações geológicas: Formação Jucurutu e Unidade Caicó, composta por rochas metamórficas e ígneas; Complexos Caicó e Jaguaretama, formado por rochas metamórficas e sedimentares; Suíte Poço da Cruz, composta por rochas metamórficas; Suítes Intrusivas Itaporanga e Umarizal, compostas por rochas ígneas; Formação Serra do Martins e Depósitos colúvio-eluviais, compostas por rochas sedimentares e sedimentos inconsolidados (ANGELIM; MEDEIROS; NESI, 2006).

Ainda sobre o contexto geológico da região, cabe destacar o estudo dos depósitos pleistocênicos realizado por Santos (2001) no município de Antônio Martins/RN, visando contribuir com o conhecimento geológico e paleontológico do Estado. A análise dos depósitos fossilíferos, ratificou a importância dos estudos da fauna pleistocênica para o conhecimento dos

aspectos paleoecológicos e paleoambientais da região, assim como, dos processos envolvidos na deposição e preservação dos fósseis (SANTOS, 2001).

Com relação aos solos e levando em conta a interpretação do mapa pedológico do Estado do Rio Grande do Norte (JACOMINE *et al.*, 1971), a RSMP encontra-se sobre quatro domínios pedológicos. Após a atualização das classes e nomenclaturas realizadas por Santos *et al.*, (2013), as quatro classes de solos encontrados na RSMP são os Latossolos no topo dos maciços, associados à Formação Serra do Martins; Neossolos Litólicos nas encostas íngremes esculpidas nos granitóides e arenitos e, por fim, a associações de Argissolos e Luvisolos nas áreas da depressão sertaneja circunvizinha.

Ao pesquisar as relações solo-paisagem associadas aos usos agrícolas no município de Martins/RN, Cavalcante (2016) avaliou os atributos físicos e químicos de dois tipos de solo (Neossolo Flúvico e Neossolo Litólico) e sua classificação em relação a paisagem e usos agrícolas, visando detectar quais desses atributos foram os mais sensíveis na distinção dos ambientes.

Outros estudos locais sobre os tipos de solos, constituindo um componente natural da paisagem e de interação direta com a biosfera, foram realizados por Oliveira Júnior (2016) e Ferreira (2016) no município de Portalegre/RN. Oliveira Júnior (2016) realizou a modelagem espacial dos atributos do solo sob diferentes ocupações em uma microbacia perene, por meio do mapeamento do uso e ocupação do solo juntamente com seus atributos. Dessa forma, sua pesquisa concluiu que dentre os atributos do solo estudados, os químicos sofreram maior interferência dos impactos antrópicos na área da microbacia hidrográfica.

Nesse seguimento, Ferreira (2016) analisou a variação espacial de atributos do solo em uma zona de recarga de nascente, concluindo que os mapas de variabilidade espacial dos atributos do solo, mostrou-se uma poderosa ferramenta de avaliação de impactos ambientais em áreas de recarga, além de contribuírem de forma primorosa para o planejamento racional do uso e ocupação do solo.

A compreensão dos padrões de uso e ocupação do solo também foram objeto de estudo de Souza Neto, Grigio e Carvalho (2016) ao realizarem o mapeamento da cobertura terrestre do município de Portalegre/RN. No citado estudo os autores concluíram que, tomando como base a área total do município, 36,03% já se encontra antropizada e 63,56% ainda conserva a cobertura vegetal nativa.

No tocante a relação existente entre o uso do solo e a qualidade das águas, Neres (2014) analisou o estado de conservação das nascentes na região serrana dos municípios de Martins e

Portalegre. A pesquisa concluiu que nenhuma das 9 nascentes localizadas nos municípios foi considerada com um grau de proteção/conservação “Ótimo”.

Os piores parâmetros responsáveis por incluir as nascentes de Martins e Portalegre nos graus de proteção/conservação “Ruim” e “Péssimo” foram, por importância de degradação, acessibilidade fácil, equipamentos de infraestrutura a menos de 50 metros, sem proteção local, muito lixo ao redor e vegetação degradada ou ausente (NERES, 2014).

Ainda com relação aos estudos sobre os recursos hídricos, Medeiros *et al.* (2016) aplicou o índice de qualidade das águas e balneabilidade no Riacho da Bica, Portalegre/RN, visando contribuir com informações acerca da caracterização da qualidade hídrica do Riacho da Bica, a partir do Índice de Qualidade das Águas (IQA) e da análise de sua balneabilidade.

No que diz respeito ao IQA, os resultados obtidos apontam que a qualidade das águas é prejudicada à medida que desce a vertente, mostrando que a declividade favorece o transporte e o acúmulo de contaminantes para altitudes mais baixas. Quanto à balneabilidade, a Cachoeira do Pinga se enquadrou como excelente no período de estiagem analisado (MEDEIROS *et al.*, 2016)

Sob a perspectiva dos aspectos climáticos, Silveira e Carvalho (2016) realizaram estudos sobre a influência da cobertura do solo na diferenciação do campo térmico local a fim de identificar se a Mata da Bica, município de Portalegre/RN, apresenta um maior conforto térmico para a atração de visitantes. Os autores inferiram que o microclima e conforto térmico na área da Mata da Bica, é um dos fatores responsáveis pela atração de turistas para o local.

Ao analisar dados secundários pluviométricos dos municípios da região, gerados entre os anos de 2003 e 2013, Neres (2014) constatou que as médias pluviométricas de Martins e Portalegre, municípios localizados em maiores altitudes, apresentaram valores muito acima dos municípios localizados nas partes mais baixas do relevo, com 1.200 mm e 650 mm, respectivamente, associando esse fenômeno a influência do relevo local.

Os fatores climáticos, o tipo de solo e o relevo estão diretamente relacionadas as formações vegetais. Nesse sentido, Dantas (2016) realizou estudo fitossociológico em três enclaves florestais na região serrana dos municípios de Portalegre e Martins-RN, visando avaliar a riqueza e a composição florestal destes ambientes. Assim, a pesquisa concluiu que a maioria dos indivíduos identificados nas áreas de estudo tem como domínio fitogeográfico em comum os biomas Mata Atlântica, Caatinga e Cerrado. Esses enclaves estão relacionados a setores com maior umidade no topo das serras de Martins e Portalegre, constituindo, assim, tipos vegetais de maior porte e biomassa.

Deste modo, as áreas de estudo provavelmente são de ambientes remanescentes de diversos biomas, possivelmente, pelo fator climático-hidrológico. Portanto, as áreas de estudo localizadas nos municípios de Portalegre e Martins podem ser caracterizadas pela tipologia de Floresta Atlântica Nordestina (DANTAS, 2016).

A importância dos estudos ambientais locais para subsidiar políticas públicas de proteção e conservação das paisagens serranas da região pode ser ponderado pela pesquisa de Medeiros, Carvalho e Souza (2016), que analisaram a viabilidade socioambiental para a criação de uma unidade de conservação na Mata da Bica, Portalegre/RN.

Os resultados dessa pesquisa fomentaram a criação da primeira unidade de conservação municipal da região, a Área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE) da Mata da Bica de Portalegre, localizada integralmente no município de Portalegre, no estado do Rio Grande do Norte.

Criada pelo Decreto Municipal nº002, de 02 de fevereiro de 2016, é uma importante área de remanescente de Mata Atlântica, caracterizada pela transição entre a Floresta Estacional Semidecidual e a vegetação de Caatinga, abrigando nascentes perenes em meio ao semiárido Potiguar.

Entretanto, apenas a criação desses espaços não garante a conservação e o uso sustentável dos recursos naturais. Nesse contexto, as contribuições decorrentes das pesquisas aqui destacadas são bastante significativas para o desenvolvimento e aplicação das políticas ambientais.

### 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O presente trabalho se propôs a aplicar ferramentas do geoprocessamento como o SR e SIG para a análise e mapeamento da distribuição da cobertura vegetal da região serrana de Martins e Portalegre, localizado no estado do Rio Grande do Norte, utilizando dados primários e secundários, como também pesquisa bibliográfica, documental e cartográfica para embasamento das análises.

As etapas para a coleta e análise dos dados podem ser classificadas em três eixos: a revisão da literatura, que teve como meta o aprofundamento do conhecimento teórico e a análise de trabalhos de pesquisa similares; o geoprocessamento, que auxiliou na produção de informações por meio do sensoriamento remoto e estruturação de banco de dados; por fim, o trabalho de campo que visa o conhecimento da realidade terrestre da área.

#### 3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS GEOAMBIENTAIS DA ÁREA DE ESTUDO

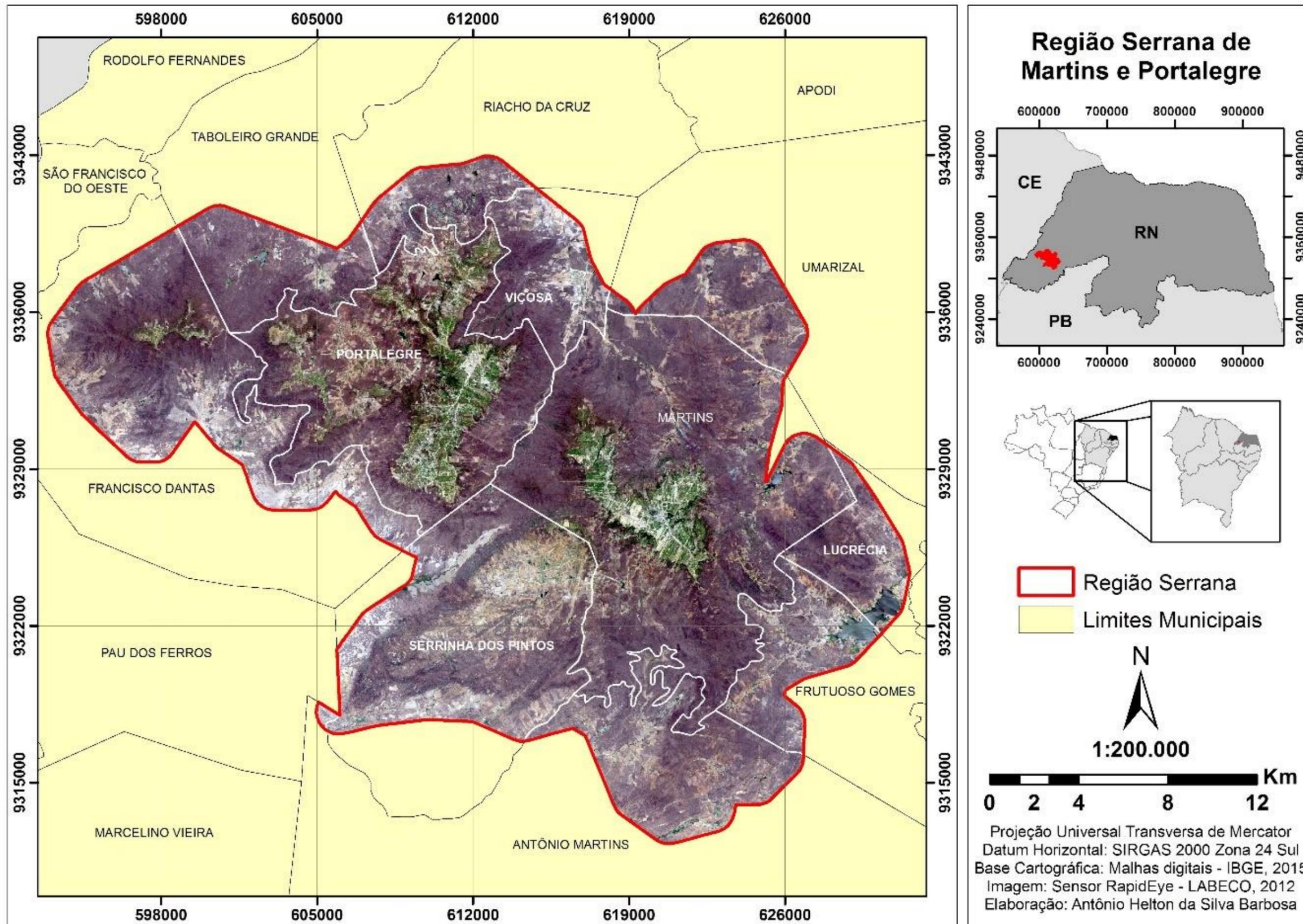
Do ponto de vista político-administrativo a Região Serrana de Martins e Portalegre (FIGURA 4) está localizada na Mesorregião Oeste Potiguar e, especificamente, nas microrregiões Umarizal e Pau dos Ferros. Do ponto de vista de gestão da água, situa-se no médio curso da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró, funcionando como um dispersor de águas. Em linha reta, dista 150 km do litoral setentrional do RN, na foz do rio Apodi-Mossoró no município de Areia Branca (CARVALHO, 2011).

A RSMP está inserida na unidade geoambiental das chapadas altas, de acordo com Zoneamento Agroecológico do Nordeste (ZANE), produzido pela EMBRAPA (2000), e da Ecorregião da Depressão Sertaneja Setentrional, sendo uma das paisagens mais típicas da região semiárida Nordestina e mais impactada pela ação antrópica com poucas áreas protegidas, em termos de número, área total ou categoria de proteção, mas ainda possuem áreas razoavelmente extensas com possibilidade de recuperação (VELOSSO; SAMPAIO; PAREYN, 2002).

Além disso, cabe salientar que a região abriga ambientes naturais classificados como áreas prioritárias para conservação da flora, invertebrados, anfíbios e répteis (MMA, 2002). É considerada uma região de extrema importância biológica possuindo classificação de prioridade geral extremamente alta (MMA, 2016a).

A pesquisa está compreendida em uma área de aproximadamente 64.953 ha, abrangendo parte dos municípios de Antônio Martins, Frutuoso Gomes, Lucrecia, Taboleiro Grande, Riacho da Cruz, Umarizal, Martins, Portalegre, Serrinha dos Pintos, Francisco Dantas e Viçosa.

Figura 4 – Mapa de localização da Região Serrana de Martins e Portalegre.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

O maciço cristalino existente, conhecido popularmente como serras de Martins e Portalegre, foi utilizado para delimitação da área de estudo, não obedecendo os limites políticos e administrativos municipais. Dessa forma, o maciço representa um enclave de exceção ao conjunto das áreas sertanejas adjacentes e, por isso, a delimitação da área de estudo incorpora desde o maciço até as áreas sertanejas do entorno próximo.

Dos aspectos físicos da região, cabe destacar que na Mesorregião Oeste predominam as precipitações com valores entre 600 a 800 mm, com exceção de algumas áreas localizadas nas serras, onde a precipitação ultrapassa 900 mm (PINHEIRO; BRISTOT; LUCENA, 2010).

A variação das cotas altimétricas do relevo serrano e de sua precipitação diferenciada em relação as áreas sopedôneas, condicionam um microclima diferenciado do contexto regional. Esse conjunto de fatores físicos, aliado a outros elementos como solo e hidrografia, condicionam o aparecimento de diferentes tipos de cobertura vegetal.

Nesse sentido, além da vegetação típica do Bioma Caatinga, há para a região o registro de uma cobertura vegetal que se desenvolve nas partes mais elevadas das serras de Martins e Portalegre e são assinaladas popularmente como “brejos” (NETTO; LINS; COUTINHO, 2008).

Para Ab’saber (1999) na cultura popular dos sertões é costume reconhecer-se por brejo qualquer subsetor mais úmido existente no interior do domínio semiárido. O termo se projetou para todo um subconjunto de paisagens e de ecossistemas relacionados às serras úmidas.

Ab’saber (2003) caracteriza esses ambientes como:

Ilhas de vegetação exótica encontradas dentro das áreas dos diferentes domínios morfoclimáticos e geobotânicos só podem ser explicadas pela existência local de fatores de exceção de ordem litológica, hidrológica, topográfica e paleobotânica. Trata-se de pequenos quadros morfoclimáticos, geopodológicos e hidrológicos, suficientemente capazes de comportar condições ecológicas para a preservação natural de diferentes tipos de redutos ou núcleos de florestas. No Nordeste o fator determinante da gênese dos brejos é de origem climática local (AB’SABER, 2003, p. 28).

### 3.2 METODOLOGIA

O trabalho foi desenvolvido em três eixos principais, a seguir:

- No primeiro, buscou-se apreender pela análise bibliográfica, informações acerca do uso do sensoriamento remoto voltados a cobertura vegetal; as diversas aplicações do NDVI; os aspectos gerais que caracterizam o domínio fitogeográficos das Caatingas, tendo como base metodológica os estudos de Andrade-Lima (1981); assim como ampliar o conhecimento teórico sobre os estudos ambientais realizados na RSMP.

- O segundo eixo, constitui os trabalhos de campo, que visou o conhecimento da realidade terrestre da área de estudo, assim como a coleta de pontos de amostragem correlacionando os alvos na imagem aos tipos de vegetação identificadas e as classes de reflectância do NDVI; e
- No terceiro, foram utilizadas técnicas de sensoriamento remoto para elaboração dos produtos geocartográficos, com as contribuições metodológicas de Rouse *et al.* (1973), bem como dos Manuais Técnicos da Vegetação Brasileira (IBGE, 2012) e Uso da Terra (IBGE, 2013) para realizar o geoprocessamento dos dados ambientais e estruturação de banco de dados coletados em campo. Esses processos, possibilitaram o delineamento da distribuição espacial da vegetação em função do algoritmo de NDVI e também sua classificação pelo algoritmo da Classificação Supervisionada, visando o mapeamento cartográfico da cobertura vegetal na RSMP.

### **3.2.1 Levantamentos bibliográfico e cartográfico**

Inicialmente, foi realizado levantamento bibliográfico, com consulta a livros, artigos científicos, dissertações, teses e outros trabalhos acadêmicos. Para construção do referencial teórico foram pesquisadas as temáticas do uso das geotecnologias aplicadas a geração de índices de vegetação e mapeamento da cobertura vegetal; Aspectos gerais do Domínio das Caatingas e trabalhos científicos realizados na área de estudo.

### **3.2.2 Geoprocessamento dos dados ambientais**

O geoprocessamento é um termo amplo, que engloba diversas tecnologias de tratamento e manipulação de dados geográficos, através de programas computacionais. Dentre essas tecnologias, se destacam: a automação de tarefas cartográficas, a utilização de Sistemas de Posicionamento Global (GPS), os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) e o Sensoriamento Remoto (SR) (SANTOS; PINA; CARVALHO, 2000).

Todos os procedimentos cartográficos foram realizados em ambiente SIG, utilizando o software ArcGis 10.2. Os produtos cartográficos foram elaborados empregando-se coordenadas Universal Transversa de Mercator (UTM), fuso 24S e datum Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS) 2000.

Para elaboração do mapa de NDVI e cobertura vegetal, foi utilizada imagem do satélite sensor RapidEye processada, ou seja, ortorretificada e com correção atmosférica, datada de 13

setembro de 2012, com resolução espacial 5 metros, adquirida pelo Laboratório de Estudos Costeiros e Áreas Protegidas (LECAP) - UERN. O Quadro 1 apresenta as características básicas da imagem do sensor RapidEye.

Quadro 1 – Informações técnicas gerais da imagem RapidEye.

<b>Características</b>	<b>Descrição</b>
Passagem pelo Equador	Aproximadamente 11:00 h em horário local
Altitude da Órbita	630 km, órbita síncrona com o sol
Tipo do Sensor	Multiespectral push broom
Bandas Espectrais	Blue, Green, Red, Red-Edge, Infravermelho-próximo
Tamanho do Pixel (ortorretificada)	5,0 m
Tamanho da Imagem	Aproximadamente 77 km
Tempo de Revisita	Diariamente fora do nadir / 5,5 dias (no nadir)
Resolução	12 bits

Fonte: Adaptado de Planet, 2016.

### *Índice de vegetação*

Para geração do NDVI da RSMP foi utilizado uma imagem RapidEye correspondendo ao período médio da estação seca, com ausência de precipitações para a região nesse período, como mostra a Tabela 3. Nesse sentido, os dados pluviométricos são muito importantes para a análise da cobertura vegetal devido a sua relação direta com a atividade fotossintética e produção de biomassa vegetal, permitindo a comparação da resposta espectral da vegetação entre períodos secos e chuvosos.

Na etapa de geoprocessamento dos dados foram utilizadas as bandas espectrais 3 e 5 onde apresentam, respectivamente, valores de refletância nos comprimentos de onda do vermelho e infravermelho próximo e favorecem a visualização de diferenças entre respostas espectrais para a vegetação.

A relação existente entre o NDVI e as bandas espectrais supracitadas se baseia na assinatura espectral das plantas. Dessa maneira, as porções absorvidas no vermelho e refletidas no infravermelho variam de acordo com as condições das plantas. Quanto mais verdes, nutridas, saudáveis e bem supridas do ponto de vista hídrico for a planta maior será a absorção do vermelho e maior será a refletância do infravermelho. Assim a diferença entre as refletâncias das bandas do vermelho e do infravermelho será tanto maior quanto mais verde for a vegetação.

Tabela 3 – Pluviosidade mensal da Região Serrana de Martins e Portalegre, 2012.

<b>Municípios</b>	<b>Jan</b>	<b>Fev</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>Mai</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Set</b>	<b>Out</b>	<b>Nov</b>	<b>Dez</b>	<b>Total</b>
Antônio Martins	89,7	-	-	40,8	11,3	8,0	-	-	-	-	-	-	149,8
Francisco Dantas	94,0	133,0	97,0	60,0	-	-	-	-	-	-	-	-	384,0
Frutuoso Gomes	102,0	123,0	80,0	10,0	-	25,0	-	-	-	-	-	-	340,0
Lucrécia*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0
Martins	232,0	136,4	75,9	77,0	20,0	29,0	2,0	-	-	-	5,0	-	577,3
Portalegre	312,1	127,2	51,8	117,6	19,3	12,0	-	-	-	-	-	-	640,0
Riacho da Cruz	188,7	171,6	75,1	1,3	11,7	-	-	-	-	-	-	-	448,4
Serrinha dos Pintos	160,5	98,2	52,0	21,0	-	15,0	-	-	-	-	-	-	346,7
Taboleiro Grande	184,0	38,0	60,0	43,0	-	-	-	-	-	-	-	-	325,0
Umarizal	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,0	-	2,0
Viçosa	264,3	101,2	84,6	82,5	-	10,0	-	-	-	-	-	-	542,6
<b>Região Serrana</b>	<b>1627,3</b>	<b>928,6</b>	<b>576,4</b>	<b>453,2</b>	<b>62,3</b>	<b>99,0</b>	<b>2,0</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>7,0</b>	<b>-</b>	<b>3755,8</b>

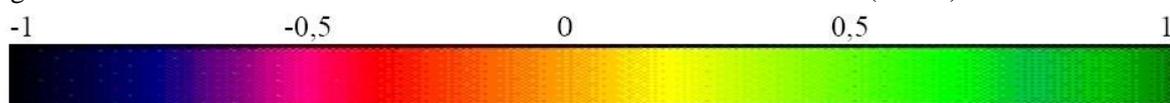
Fonte: EMPARN, 2012. \*Não há dados.

Para obtenção do NDVI, foi aplicado o algoritmo que consiste na diferença da refletância no infravermelho próximo e a refletância no vermelho dividido pela soma dessas duas bandas como mostra a seguinte equação:  $NDVI = \frac{(R_{ivp} - R_v)}{(R_{ivp} + R_v)}$  em que R = reflectância; ivp = espectro eletromagnético infravermelho; e v = espectro eletromagnético vermelho (PONZONI; SHIMABUKURO, 2012).

Os resultados variam de -1 a +1 por pixel, de modo que quanto mais próximo de +1, maior a densidade da vegetação. Na medida em que esse valor diminui, a vegetação vai ficando mais rala, e quanto mais próxima de -1, maior indício de presença de solos descobertos e rochas. Já a água, por sua vez, apresenta valores negativos, próximos a -1, o mesmo ocorrendo com áreas de sombra de nuvem (POELKING; LAUERMANN, DALMOLIN, 2007; MELO; SALES; OLIVEIRA, 2011).

A Figura 5 apresenta a escala de valores e suas cores correspondentes ao NDVI sugeridas por Poelking, Lauermann e Dalmolin (2007) a qual, foi utilizada como base para este trabalho.

Figura 5 – Valores da razão entre as bandas do Infravermelho e Vermelho (NDVI).



Fonte: Poelking, Lauermann e Dalmolin (2007).

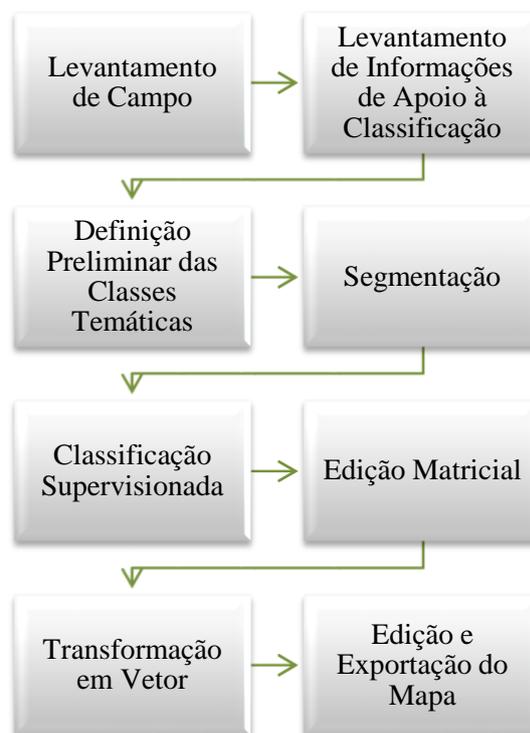
Após a geração do NDVI, foi realizada a interpretação dos dados obtidos no qual foram divididos em 6 intervalos de reflectância, de acordo com a resposta espectral dos alvos. As classes foram agrupadas com o auxílio do algoritmo Natural breaks (Jenks), método de classificação padrão do ArcGIS. Esse método baseia-se em agrupamentos naturais inerentes nos dados. Os recursos são divididos em classes cujos limites são definidos onde existem relativamente grandes diferenças nos valores de dados.

### *Cartografia e mapeamento da cobertura vegetal*

Para elaboração do mapa de cobertura vegetal foi utilizado à imagem georreferenciada do satélite RapidEye com composição colorida em RGB 3-2-1, sendo essa composição a mais próxima das tonalidades de cores apresentadas no mundo real.

A imagem foi submetida ao processo de extração de informações por meio de classificação supervisionada com o uso do software ArcGIS 10.2, de acordo com as etapas do mapeamento digital (FIGURA 6), sugeridas no Manual Técnico de Uso da Terra do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2013), sendo a área de 200m<sup>2</sup> a unidade mínima de mapeamento (UMM) selecionada para essa pesquisa.

Figura 6 – Etapas do geoprocessamento dos dados ambientais.



No tocante a extração de informações da imagem, cabe destacar que a classificação supervisionada é implementada com base no conhecimento do usuário da área, que, a priori, seleciona as classes de interesse, chamadas áreas de treinamento, e fornece ao programa os padrões espectrais típicos destas classes, que nada mais são do que representações do comportamento médio das classes que serão mapeadas automaticamente (NOVO, 1989; IBGE, 2013). É uma técnica que considera a ponderação das distâncias entre as médias dos níveis de cinza das classes, utilizando parâmetros estatísticos, e tem sido utilizado por equipes de instituições como o IBGE e o INPE (IBGE, 2013).

Com relação a definição das classes temáticas de cobertura vegetal, após uma análise conforme os critérios indicados no Manual Técnico de Uso da Terra do IBGE, foi possível criar a legenda, realizando adaptações nas classes do referido manual para as características da localidade em estudo. Para as áreas de vegetação natural foi utilizado como base o Manual Técnico de Vegetação (IBGE, 2012) como forma de complementar as informações contidas no Manual de Uso da Terra.

Ainda com relação a classificação da cobertura vegetal, foram utilizados o estudo fitossociológico dos encaves florestais, realizado por Dantas (2016) nos municípios de Martins e Portalegre, bem como os dados florísticos disponíveis no Herbário Dárdano de Andrade Lima, localizado na Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA), vinculado ao Departamento de Ciências Vegetais, Mossoró - Rio Grande do Norte. O Herbário Dárdano de Andrade Lima, cujo acrônimo internacional é MOSS, possui um acervo temático, com 90% dos 9.800 registros provenientes do Estado (HERBÁRIO MOSS, 2017). Os dados foram acessados de forma virtual por meio da plataforma do herbário *speciesLink*.

Após a compilação de todas as informações citadas acima, foi possível estabelecer a legenda de mapeamento da cobertura vegetal, conforme o Quadro 2.

Quadro 2 – Nomenclatura da legenda do mapa de cobertura vegetal da RSMP.

Classes Temáticas					
Áreas Antrópicas	Frutíferas Permanentes Diversificadas	Ecótono (Tensão Ecológica)	Savana-Estépica Florestada	Savana-Estépica Arborizada	Corpos D'água

Fonte: Adaptado do IBGE, 2013.

Com relação a classe de Áreas Antrópicas e sua definição, foram considerados os setores onde havia predominância de alvos com comportamentos espectrais característicos de ocorrências de áreas urbanas, sítios, áreas de urbanização incipiente, comunidades rurais, vias

de acesso, agricultura de sequeiro e/ou itinerante, bem como outras áreas modificadas com exposição de solo/rocha.

Desta forma, as informações supracitadas foram utilizadas como parâmetros para definição de áreas efetivamente modificadas por atividades antrópicas, levando em consideração como principal critério a ausência total ou parcial da cobertura vegetal. Assim, não foram estabelecidas uma tipologia de uso definida para essa unidade de mapeamento, pois a pesquisa priorizou a temática das coberturas vegetais.

Ao final do processo, foi realizado a edição matricial das classes temáticas com seis classes temáticas, das quais quatro são classes de cobertura vegetal, agrupadas segundo as suas características florísticas e fisionômicas-ecológicas, tendo em vista o objetivo da pesquisa. Essas informações foram transformadas em dados vetoriais e realizado a exportação do mapa.

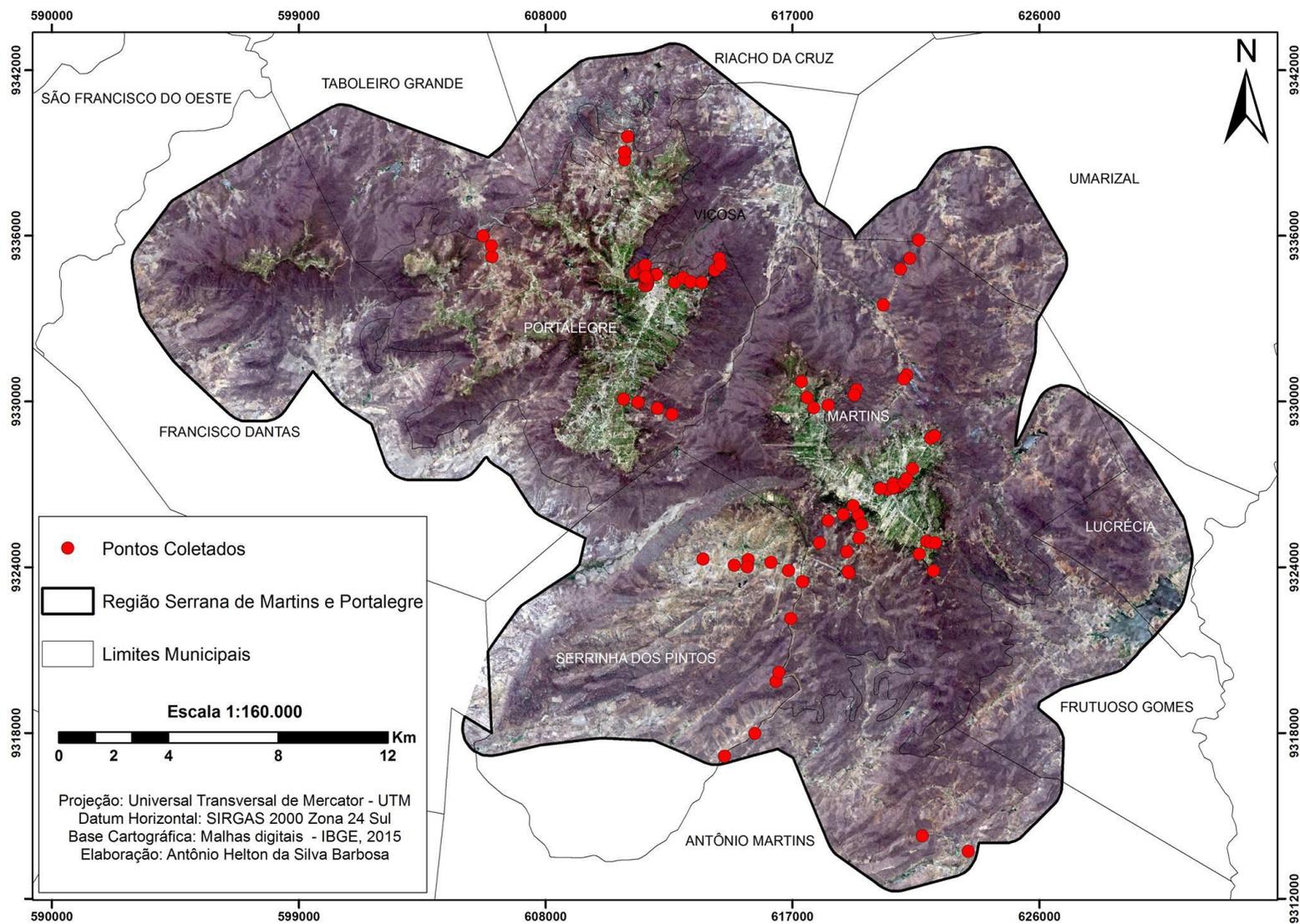
### **3.2.3 Trabalhos de campo para averiguação das características estruturais da cobertura vegetal predominante nas classes de reflectância**

Para subsidiar uma análise mais precisa das informações, foram realizadas visitas in loco para reconhecimento da verdade terrestre, correlacionando os dados digitais com os de campo. Para essa etapa da pesquisa foi utilizado uma ficha de campo para apoio na coleta de dados apresentada no Apêndice A, assim como registros fotográficos, checagem dos produtos cartográficos elaborados e coleta de pontos utilizando Sistema de Posicionamento Global (GPS). Ao todo foram coletados 103 pontos.

Os pontos de amostragem (FIGURA 7) têm suas coordenadas determinadas no terreno com o uso de GPS e servem para referenciar geograficamente esses padrões, descritos pelo observador durante os trabalhos de campo onde contém a descrição da paisagem, além de fotos referentes aos padrões de imagem que eles representam (IBGE, 2013).

A articulação do trabalho de gabinete e das visitas a campo no intuito de reconhecer a verdade terrestre, permitiram uma reinterpretação da imagem de satélite por meio da resposta espectral do NDVI, das classes de reflectância e dos seus respectivos alvos de superfície. Cabe destacar também o uso das imagens de alta resolução disponibilizadas pelo software Google Earth PRO para subsidiar as análises dos pontos coletados em campo e seus respectivos alvos.

Figura 7 – Mapa dos pontos coletados na Região Serrana de Martins e Portalegre.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Tendo em vista que o tamanho da área impossibilita a realização de trabalhos de campos em toda região, foi necessário selecionar áreas para realização dos trabalhos de campo, visando conferir a realidade das informações. Sobre as áreas selecionadas para os trabalhos de campo, foram priorizados os locais mais altos, nas chamadas “pontas” das serras, pois oferecem uma visão panorâmica da paisagem e facilitam as observações sobre a cobertura vegetal e uso/ocupação do solo.

Os trabalhos de campo tiveram início no mês de fevereiro de 2016, com o intuito de observar a cobertura vegetação durante a estação chuvosa e se estenderam até o mês de novembro, período que marca o final da estação seca, quando é possível distinguir os aspectos que envolvem a cobertura vegetal no que concerne as características da estacionalidade foliar das plantas quanto a perda de folhas na estação seca.

Sobre a dinâmica do atributo folhagem no bioma Caatinga, influenciada pelos fatores de pluviosidade e umidade do solo, foram utilizadas para caracterizar a cobertura vegetal da região e auxiliar a sua classificação.

A classificação, com particular ênfase para a cobertura de folhas, utilizou as terminologias de Perenifólia, Semidecídua e Decídua, para correlacionar as classes de NDVI aos seus respectivos alvos de superfície (QUADRO 3), tendo em vista a pouca relação deste índice com o atributo fisionômico.

Quadro 3 – Alvos de superfície correspondente a suas respectivas classes.

<b>Alvos de Superfície</b>	<b>Nº de Pontos por Alvo</b>	<b>Classes de NDVI</b>
Vegetação ciliar arbórea-arbustiva semidecídua	11	Classe 5 e 6
Vegetação arbórea, perenifólia	13	Classe 5 e 6
Cultivo permanente diversificado	10	Classe 5 e 6
Cultivo Permanente de Cajueiro	7	Classe 5 e 6
Afloramento rochoso	2	Classe 2
Solo exposto	10	Classe 2
Caatinga arbustiva, decídua	12	Classe 3
Caatinga arbustiva-arbórea, decídua	10	Classe 3 e 4
Caatinga arbórea-arbustiva, semidecídua	15	Classe 4
Caatinga arbórea, semidecídua	7	Classe 5
Corpos d'água	1	Classe 1
Área urbana	5	Classe 2
<b>TOTAL</b>	<b>103</b>	

Fonte: Dados da Pesquisa, 2017.

O uso das terminologias aplicadas na pesquisa, foram baseadas no sistema de classificação da vegetação brasileira de Fernandes (1998), da Universidade Federal do Ceará - UFC, no qual considera a fitofisionomia da vegetação com relação ao porte e à influência climática/edáfica.

O sistema Fernandes, descreve a vegetação perenifólia (perenifólio) como uma vegetação que apresenta uma natural durabilidade foliar como resposta biológica direta ao ambiente. Essa condição é alcançada quando a total permanência da cobertura vegetal ou queda de até 10% do sistema foliar (FERNANDES, 2007).

A vegetação semidecídua (semicaducifólio) é descrita como uma vegetação que apresenta alguma deciduidade foliar, nos limites de 10%-60% da cobertura de folhas. Já a vegetação decídua (caducifólio), caracteriza-se por apresentar uma caducidade acima de 60% de queda foliar (FERNANDES, 2007). Segundo o mesmo autor, quando a deciduidade da cobertura florística é total, salienta-se o contraste fisionômico, bem acentuado, entre os extremos vegetativos assumidos na estação chuvosa e no período de estiagem.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados da pesquisa. Para melhor entendimento e organização o capítulo foi subdividido. Inicialmente são demonstrados os resultados da aplicação do NDVI, em seguida são apresentados os trabalhos de campo e, por fim, um esboço do mapeamento da cobertura vegetal, baseado nas análises do NDVI e nos trabalhos de campo.

### 4.1 APLICAÇÃO DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA NA REGIÃO SERRANA DE MARTINS E PORTALEGRE

Diante da necessidade de compreender a estrutura atual da cobertura vegetal da RSMP, foi aplicado o NDVI e, posteriormente, o agrupamento de classes de reflectância, tornando possível a visualização da distribuição espacial do índice na área de estudo.

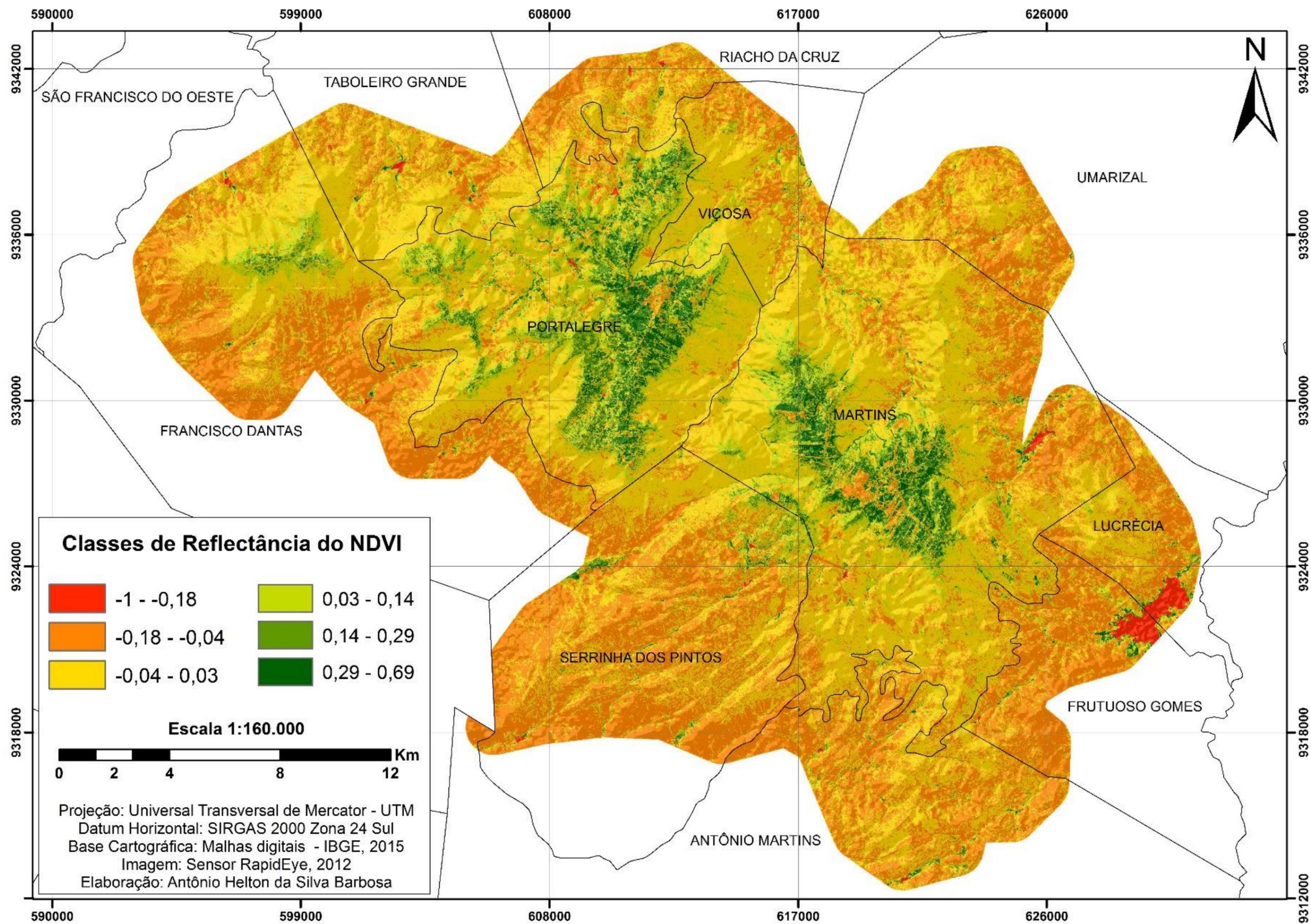
A Figura 8 apresenta valores de NDVI obtido com a imagem RapidEye, com resolução espacial de 5 metros do dia 13/09/2012, período seco na região. Ao todo, os valores de NDVI foram agrupados em seis classes (TABELA 4), onde posteriormente foram descritos de acordo com o intervalo de reflectância indicativa para os respectivos alvos de superfícies, tendo como base o índice proposto por Rouse *et al.* (1973).

Tabela 4 – Intervalos de NDVI correspondente a suas respectivas classes.

<b>Intervalos NDVI</b>	<b>Classes</b>
<b>-1 – -0,18</b>	Classe 1
<b>-0,18 – -0,04</b>	Classe 2
<b>-0,04 – 0,03</b>	Classe 3
<b>0,03 – 0,14</b>	Classe 4
<b>0,14 – 0,29</b>	Classe 5
<b>0,29 – 0,69</b>	Classe 6

Fonte: Dados da Pesquisa, 2017.

Figura 8 – Distribuição espacial do NDVI da Região Serrana de Martins e Portalegre/RN.



Fonte: Dados da Pesquisa, 2017.

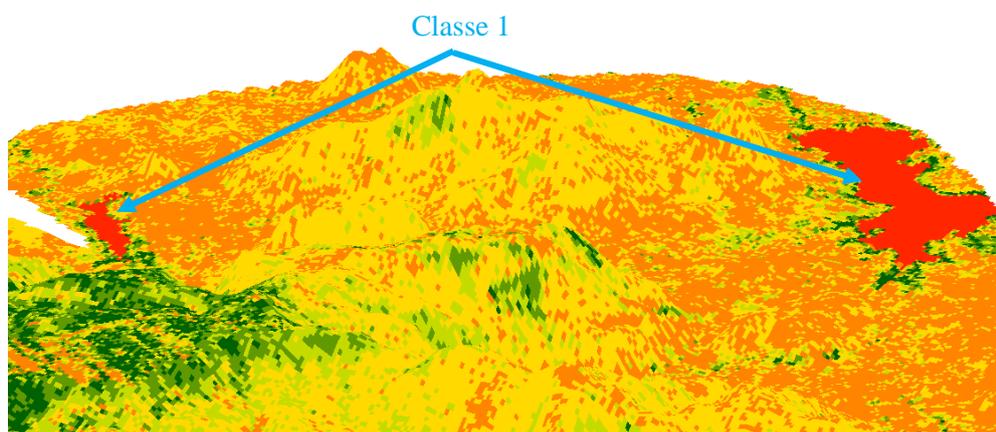
Os intervalos de reflectância do NDVI distribuídos espacialmente na imagem acima, revelam que os elementos visuais mais representativos são os de valores positivos, o que sugere a presença de cobertura vegetal. As áreas com coloração variando entre os tons de verde claro e escuro, são indicativas de vegetação de maior atividade fotossintética e mais densa. Nesse seguimento, a coloração amarela é indicativa de vegetação de baixa atividade fotossintética e menos densa.

Os alvos de superfície representados pela cor laranja são indicativos de ausência de cobertura vegetal. Já os alvos exibidos na coloração vermelha são indicativos para a existência de corpos d'água, de acordo com este índice.

### **Classe 1**

A classe temática 1 apresentaram valores de NDVI negativos, bem próximos a -1. Os valores de reflectância dessa classe variam entre (-1 – -0,18) e são indicativos da presença de corpos d'água (FIGURA 9) por essa razão, assim como pelas geformas desses alvos. Estão localizadas principalmente nas áreas circunvizinhas as serras de Martins e Portalegre, nas áreas de superfícies aplainadas retocadas da unidade geomorfológica da Depressão Sertaneja.

Figura 9 – Alvos de superfície enquadrados na Classe 1.



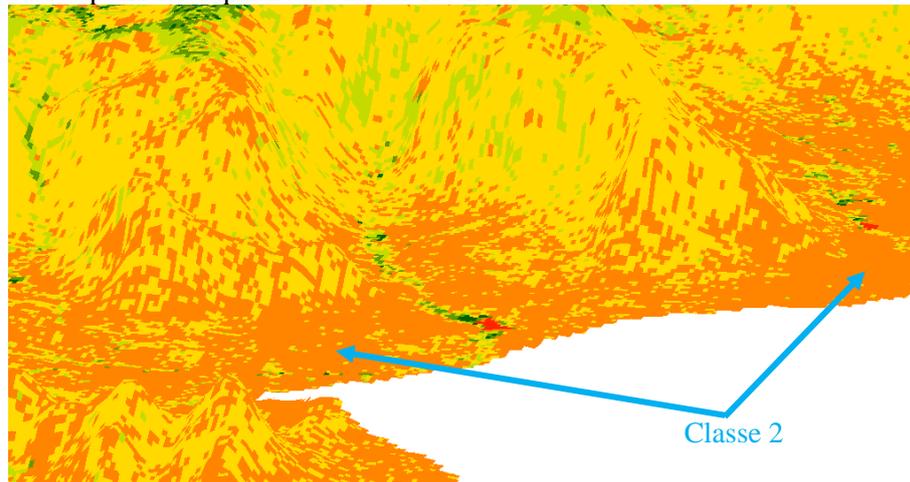
Fonte: Autor, 2017.

### **Classe 2**

Esta classe de reflectância é indicativa de superfícies sem vegetação (FIGURA 10). Os valores de reflectância dessa classe variam entre (-0,18 – -0,04), exibindo comportamento espectral correspondente a presença de solos descobertos, rochas, áreas urbanizadas e outras

áreas sem vegetação. Além disso, a geoforma poligonal desses alvos também reforça essa ideia. A distribuição espacial desta classe ocorre de forma dispersa ou agrupada, localizadas principalmente na unidade geomorfológica Depressão Sertaneja, região circunvizinha dos platôs de Martins e Portalegre.

Figura 10 – Alvos de superfície enquadrados na Classe 2.

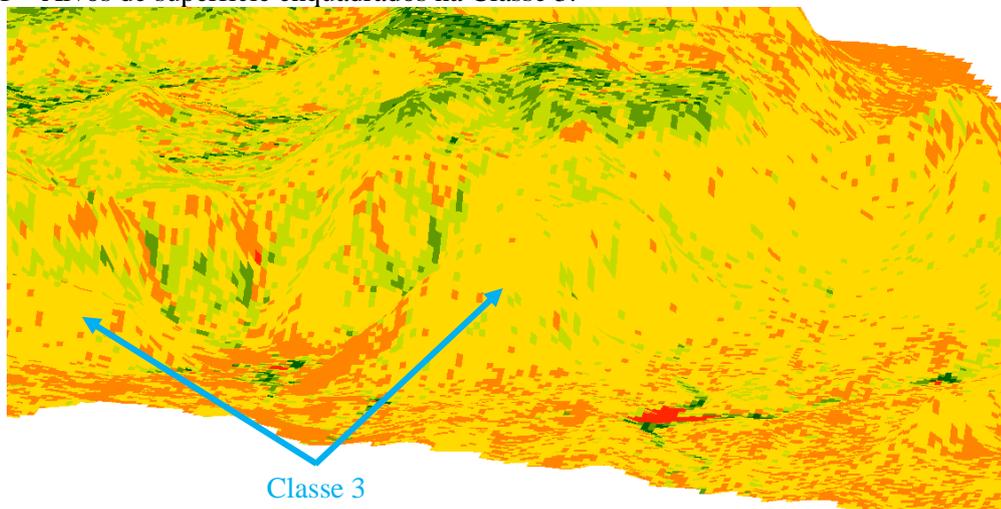


Fonte: Autor, 2017.

### Classe 3

Nessa classe estão agrupados os intervalos de reflectância de transição de NDVI (-0,04 - 0,03). Essa transição entre valores positivos e negativos são indicativos da presença de baixa atividade fotossintética, com alvos de superfície (FIGURA 11) onde ocorrem a mistura espectral das áreas sem vegetação com áreas de cobertura vegetal menos densa.

Figura 11 – Alvos de superfície enquadrados na Classe 3.

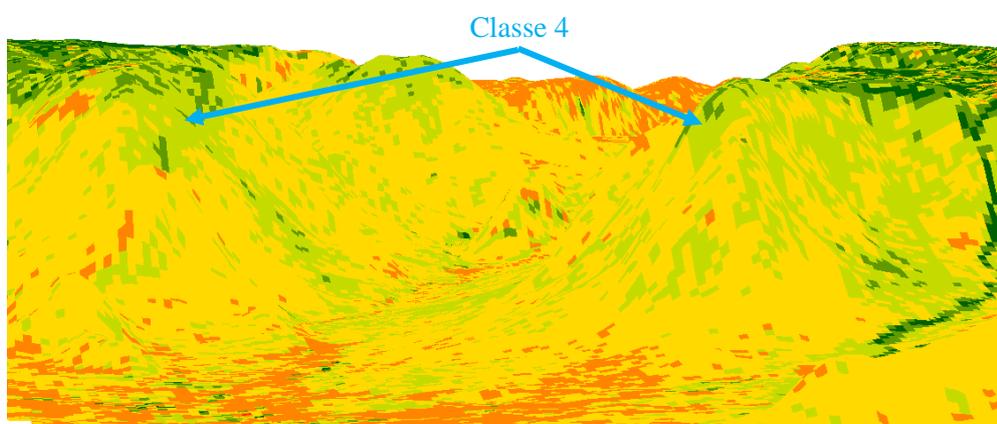


Fonte: Autor, 2017.

#### Classe 4

A classe temática 4 apresentam valores de NDVI inseridos totalmente na escala de valores positivos, variando entre (0,03 – 0,14), indicando um nível de cobertura vegetal superior a classe 3, porém ainda incipiente no que diz respeito a atividade fotossintética e presença de clorofila (FIGURA 12), de acordo com os parâmetros deste índice. Estão distribuídas espacialmente por todas as feições do relevo, principalmente nas vertentes das serras.

Figura 12 – Alvos de superfície enquadrados na Classe 4.

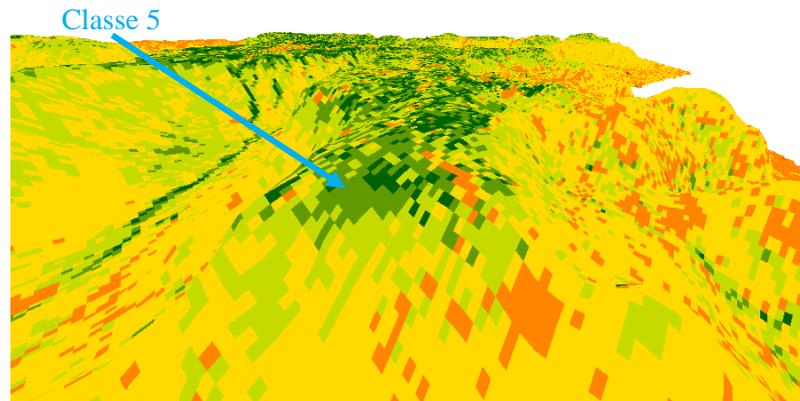


Fonte: Autor, 2017.

#### Classe 5

Essa classe refere-se às áreas que obtiveram intervalos de NDVI entre (0,14 – 0,29), indicando valores de reflectância demonstrativos de alvos de superfície onde podem ser encontrados vegetação verde. A distribuição geoespacial dessa classe temática ocorre de forma dispersa ou agrupada, principalmente nas áreas mais elevadas da região serrana e circundando as drenagens (FIGURA 13).

Figura 13 – Alvos de superfície enquadrados na Classe 5.

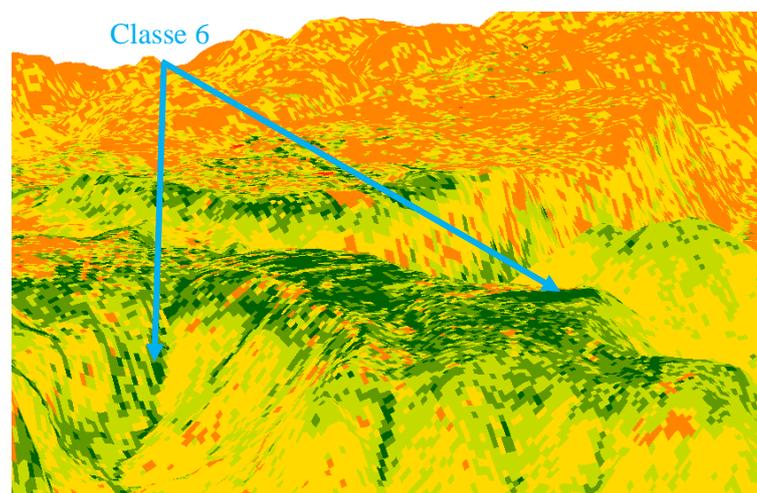


Fonte: Autor, 2017.

### Classe 6

Esta classe obteve os valores mais altos de NDVI, com valores de reflectância agrupados entre (0,29 - 0,69), indicando locais de alta atividade fotossintética, com presença de vegetação verde de forma mais densa que a Classe 5. Está distribuída principalmente nas áreas de maior altitude, no topo do terço superior dos platôs e vertentes, bem como ao redor de algumas drenagens (FIGURA 14).

Figura 14 – Alvos de superfície enquadrados na Classe 6.



Fonte: Autor, 2017.

Conforme já exposto acima, o valor máximo para a área de estudo foi de 0,69 para a vegetação verde de maior atividade fotossintética e densa, conforme sugere o índice. Esse valor corrobora com os valores máximos de NDVI encontrados por Espig, Soares e Santos (2006) ao estudarem as variações sazonais de seis áreas no Semiárido Brasileiro (Pernambuco, Paraíba e

Rio Grande do Norte) por meio desse índice, entre os anos de 2003 e 2004. Segundo os autores, os valores máximos para essas áreas foram estimados em 0,87 para Área 1; 0,78 para Área 2; 0,70 para Área 3; 0,91 para Área 4; 0,81 para Área 5; 0,69 para Área 6, sendo que a Área 3 está localizada no RN.

Tendo como referência estudos locais, o valor máximo da vegetação para a pesquisa foi superior ao encontrado por Guedes (2016), que registrou o valor de 0,44 ao aplicar o NDVI no município de Martins/RN para o mapeamento de cobertura da terra, com o uso de imagens do satélite Landsat 8, com resolução espacial de 30 metros, de 15 de setembro de 2014.

Essa discrepância pode ser explicada pela diferença existente entre os anos das imagens, assim como, a diferença entre os satélites e suas respectivas resoluções espaciais, apesar de datadas do mesmo mês. Além disso, fatores relacionados a variação mensal e anual de precipitação para uma mesma área tem bastante influência sobre os valores deste índice.

Nesse sentido, a análise da dinâmica fenológica da vegetação (variação sazonal) do bioma Caatinga às mudanças ambientais é baseada em relação aos padrões de precipitação (BARBOSA, 1999), sendo esse um fator de interferência direta sobre a variação anual e intra-anual do NDVI.

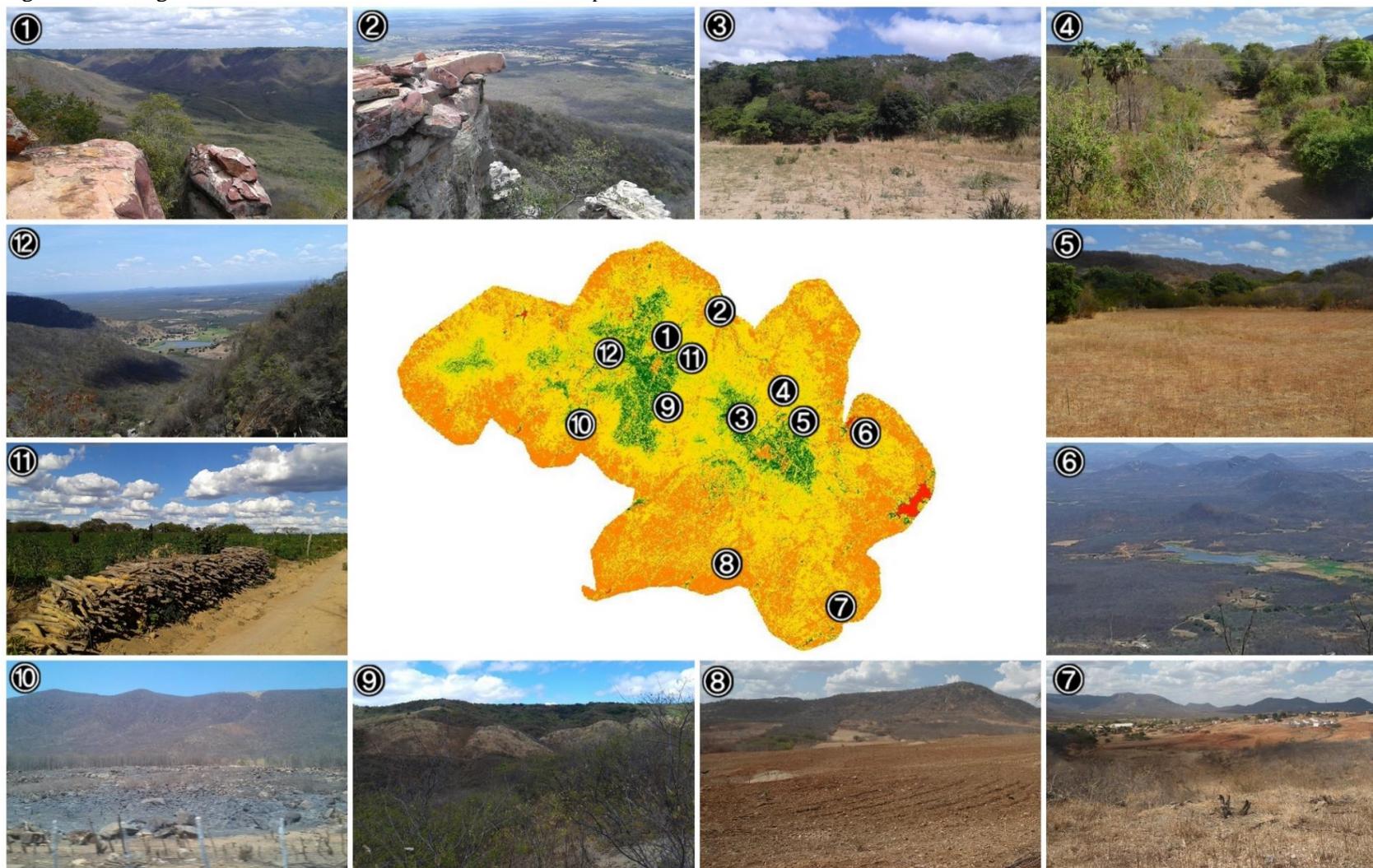
#### 4.2 AVERIGUAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS DA COBERTURA VEGETAL PREDOMINANTE NAS CLASSES DE REFLECTÂNCIA

Com o intuito de subsidiar uma análise mais precisa das informações geradas por meio da aplicação do NDVI e sua categorização em 6 classes de reflectância, foram realizadas visitas in loco para reconhecimento dos padrões da distribuição geoespacial da vegetação e verdade terrestre dos alvos de superfície, correlacionando os dados digitais agrupados em classes com os pontos observados em campo.

A Figura 15 apresenta alvos de superfície correlacionados a imagem do NDVI. Já o Tabela 5 exibe os intervalos de NDVI, as seis classes de reflectância e seus respectivos alvos de superfície identificados em campo. Conforme sugerido pelo índice, os valores negativos agrupam as áreas sem vegetação, representados pelos corpos d'água (Classe 1) e áreas sem vegetação (Classe 2).

As demais classes, que correspondem aos valores positivos para o índice e são indicativos para a presença de cobertura vegetal, foram baseadas na vegetação fotossinteticamente ativa e de sua relação com a ausência e presença de folhas verdes, uma vez que o NDVI é muito sensível a atividade da clorofila.

Figura 15 – Imagem de NDVI correlacionada aos alvos de superfície.



As Figuras de 1 a 12 destacam os alvos de superfícies, representados por áreas vegetadas, sem vegetação e corpos d'água.  
 Fonte: Autor, 2017.

Tabela 5 – Intervalos de NDVI correspondente a suas respectivas classes e alvos de superfície.

<b>Intervalos NDVI</b>	<b>Classes</b>	<b>Alvos de superfície</b>
<b>-1 – -0,18</b>	Classe 1	Corpos d'água
<b>-0,18 – -0,04</b>	Classe 2	Áreas sem Vegetação
<b>-0,04 – 0,03</b>	Classe 3	Vegetação decídua menos densa
<b>0,03 – 0,14</b>	Classe 4	Vegetação decídua mais densa
<b>0,14 – 0,29</b>	Classe 5	Vegetação Semidecídua
<b>0,29 – 0,69</b>	Classe 6	Vegetação Perenifólia

Fonte: Autor, 2017.

A terminologia empregada na classificação dos alvos de superfície (Decídua, Semidecídua e Perenifólia), que correspondem a presença ou ausência de folhas, de acordo com o NDVI, foram adaptadas do sistema de classificação da vegetação brasileira desenvolvido por Fernandes (1998), no qual considera a fitofisionomia da vegetação com relação ao porte e à influência climática/edáfica, que levam em conta as diferenças provocadas pela influência das diferentes estações climáticas na relação solo/planta.

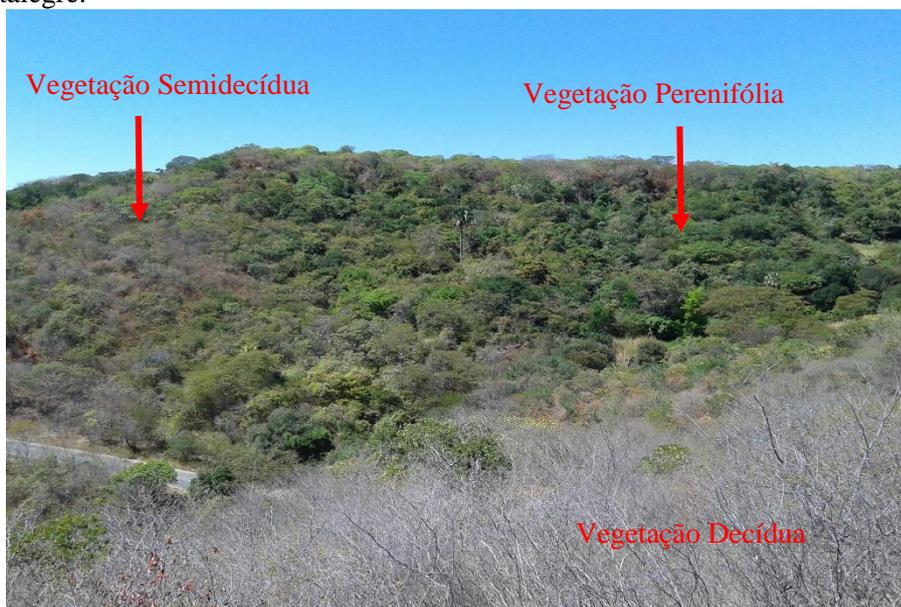
Os corpos d'água apresentaram intervalos negativos para o NDVI, variando de (-1 – -0,18), distribuídas de forma dispersa e agrupada, com os corpos hídricos mais representativos localizados nas áreas que circundam o sopé das serras e demais áreas de acumulação fluvial.

Em relação aos valores deste índice encontrado para os demais alvos, as áreas construídas e de pequenos núcleos urbanos obtiveram os mesmos intervalos de NDVI das áreas de solo exposto, provocado pelas atividades agropastoris. Esses alvos apresentaram valores negativos com intervalos variando entre (-0,18 – -0,04).

No tocante as áreas com cobertura vegetal, a discriminação dos limites entre as classes de vegetação foi facilitada pela aplicação do NDVI no período seco, simplificando as correlações existentes entre as classes de NDVI e as tipologias de vegetação identificadas em campo (FIGURA 16).

A diversidade dos tipos de cobertura vegetal apresentada na Figura 16, podem ser explicadas pela presença de espécies botânicas pertencentes a distintos domínios fitogeográficos. O estudo fitossociológico feito por Dantas (2016) nesses enclaves florestais indicam que esses ambientes têm como domínio fitogeográfico em comum os biomas Mata Atlântica, Caatinga e Cerrado. Portanto, trata-se de um ambiente de transição entre formações vegetais.

Figura 16 – Aspectos e características das tipologias da cobertura vegetal nativa durante o período seco, Serra de Portalegre.



Fonte: Autor, 2016.

Além dos aspectos do relevo, também devem ser considerados os fatores edafoclimáticos como fomentadores dessa diversidade, tendo uma forte influência na variação do NDVI para um determinado lugar. Nos locais de altitude superior a 600 metros em áreas de relevo plano, são encontrados solos mais desenvolvidos e profundos, com boa capacidade de armazenamento de água. Ademais, existência de nascentes perenes nesses locais também contribuem para a manutenção ecológica de ambientes mais úmidos e influenciam diretamente na conservação da folhagem verde, interferindo nos valores de NDVI.

Conforme apontado acima, a distribuição fitogeográfica identificada nessa época do ano (período seco) para a região, podem estar associadas tanto a aspectos que envolvem o domínio florístico de comunidades vegetais específicas, bem como a fatores ligados a umidade do solo. A vinculação entre os fatores ambientais de umidade do solo, clima e aspectos da cobertura vegetal (Perenifólia, Semidecídua e Decídua) podem ser analisados com base na espacialização dos valores de NDVI para a região de estudo.

Em comparação com outros ambientes semiáridos, essa relação entre NDVI e umidade do solo também foram descritas por Farrar, Nicholson e Lare (1994) ao estudarem a resposta do NDVI a umidade do solo no semiárido de Botsuana. Os autores verificaram que embora a correlação entre NDVI e precipitação seja maior para vários meses, o NDVI é controlado pela umidade do solo do mês seguinte. Para Wang, Rich e Price (2003) a umidade do solo é reconhecida como um parâmetro chave que liga precipitação, temperatura e NDVI.

Com base na reflectância apresentada pelos alvos e também nas visitas in loco, os maiores valores de NDVI para a região de estudo apresentaram os intervalos de (0,14 – 0,29) e (0,29 - 0,69), que representam a cobertura vegetal de característica foliar semidecídua e perenifólia, respectivamente. Elas ocorrem de forma agrupada, principalmente nas áreas mais elevadas, sobre os Latossolos da formação geológica Serra do Martins e ao longo de alguns cursos de água (FIGURA 17), formando linhas tênues de vegetação ciliar, também verificada nos açudes e barramentos.

Figura 17 – Distribuição fitogeográfica da vegetação nativa com maior NDVI, Serra de Portalegre.



Fonte: Autor, 2016.

Ainda com relação aos maiores valores de NDVI, cabe destacar que para as áreas de agricultura permanente e fotossinteticamente ativas, representados principalmente pelo cultivo do caju (FIGURA 18), mostraram resultados de NDVI que se confundiram com o amplo espectro de respostas da vegetação nativa de características semidecídua e/ou perenifólia.

Assim, a reflectância de coberturas vegetais distintas (nativas e plantadas) obtiveram respostas espectrais muito semelhantes em termos de capacidade fotossintética, fato que impossibilitou a separação entre essas coberturas vegetais de forma mais precisa por meio do NDVI. Nesse contexto, observações semelhantes foram feitas por Chaves *et al.* (2013) ao analisar índices espectrais e diagnóstico da vegetação de Caatinga da bacia do Rio Taperoá/PB.

Figura 18 – Cultivo de cajueiro, Serra de Martins.



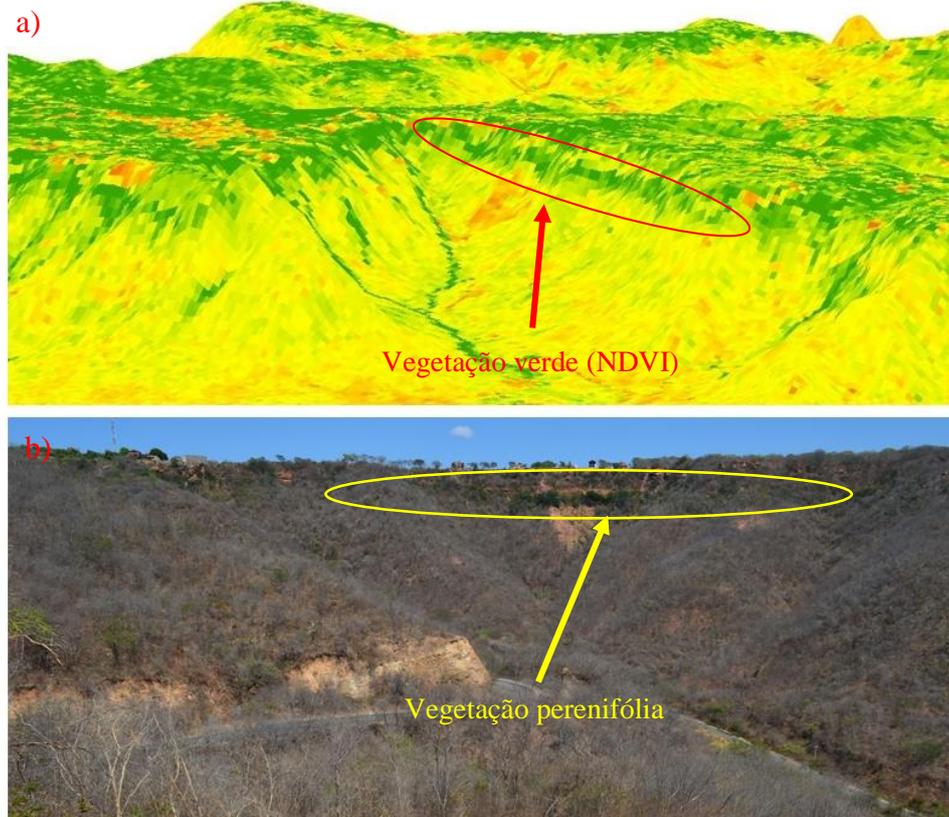
Fonte: Autor, 2016.

A análise das informações pertinentes a distribuição geográfica das classes de NDVI e visitas a campo, permiti inferir a ocorrência de padrões espaciais na distribuição dos tipos de cobertura vegetal, de acordo com as variáveis ecológicas. Assim, foi destacado a existência de um gradiente climático, influenciado pela altitude, assim como, os gradientes ambientais de umidade do solo, influenciados pela presença de riachos, açudes e nascentes perenes.

Nesse sentido, foi dado ênfase as linhas de vegetação verde, dispostas de forma paralela as linhas de ruptura das bordas sedimentares da Serra de Portalegre, entre o limite inferior do capeamento sedimentar e o início dos depósitos de tálus (FIGURA 19).

A formação dessas linhas de vegetação com características perenifólia, mesmo durante a estação seca, sugere a existência de um ambiente com condição ecológica capaz de proporcionar a vegetação a manutenção de sua cobertura foliar. Essas condições são semelhantes as verificadas nas margens dos cursos de água perenes e/ou intermitentes da região onde, mesmo as espécies de Caatinga de característica decídua, mantem sua folhagem verde durante o período de estiagem.

Figura 19 – Distribuição geoespacial da vegetação verde, Serra de Portalegre.



a) Resposta espectral do NDVI; b) Configuração da vegetação verde na interface geológica-geomorfológica.  
Fonte: Autor, 2016.

Sob a perspectiva da distribuição espacial da vegetação mais densa e levando em consideração os maiores valores de NDVI, foi observado grande similaridade entre a RSMP e as observações relatadas por Cosme Junior (2011) ao aplicar este índice no município de Parelhas-RN, obtendo intervalos variando entre (0,40 – 0,50) e (0,50 – 0,77); e Dantas (2013) ao aplicar o NDVI no município de Cerro Corá-RN, região da serra de Santana, obtendo resultados de (0,09 – 0,45) e (0,45 - 0,82). É importante destacar que os estudos citados foram aplicados em locais que possuem características ambientais de relevo, clima e vegetação bastante semelhantes às encontradas na área de estudo.

Outro aspecto a ser considerado, e não menos importante, são as datas referentes aos estudos citados acima. As imagens de satélite são datadas de 09/06/2010 para o estudo de Cosme Junior (2011), e 19/06/2008 para a pesquisa de Dantas (2013), período referente ao final da estação chuvosa. O NDVI realizado durante o período chuvoso pode apresentar valores de reflectância maiores em relação ao período de estiagem e significativas diferenças entre a mesma área podem ser encontradas.

Essa observação se apoia ao analisar o estudo realizado por Coura (2006), com o objetivo de mapear os diferentes biomas e fitofisionomias do estado de Minas Gerais. O autor analisou a dinâmica espectral da vegetação do final da estação chuvosa até a seca e observou que, de todas as fitofisionomias estudadas, a Floresta decídua (vegetação de Caatinga) mostrou-se a mais sensível e apresentou o maior decréscimo do NDVI.

De forma geral, a vegetação de característica decídua da RSMP, típica do bioma Caatinga, apresentou intervalos variando entre (-0,04 – 0,03) para a caatinga menos densa e (0,03 – 0,14) para a caatinga mais densa, ocorrendo de forma dispersa nas vertentes dos maciços serranos e nas áreas mais baixas de relevo plano e suavemente onduladas.

Além da densidade de árvores e arbustos, que influenciam na mescla dos espectros de solo e vegetação, a variação do NDVI da vegetação de caatinga encontrada na área de estudo no mesmo período (estação seca), pode ser explicado em função da presença de espécies de caatinga que ainda apresentavam alguma folhagem verde no período de captura da imagem, seja por características das espécies (círculo vermelho) ou por condições ambientais mais favoráveis a esse comportamento (seta vermelha) (FIGURA 20).

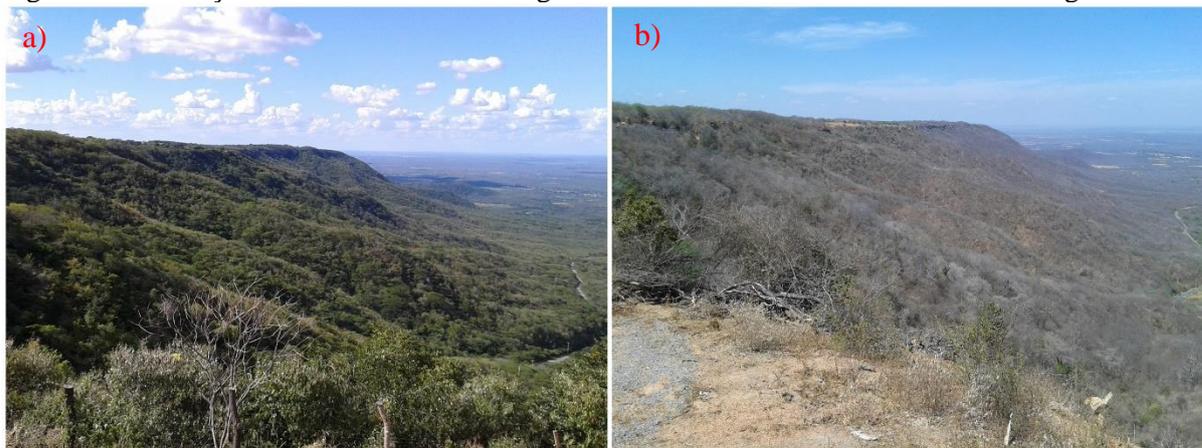
Figura 20 – Plantas perenifólias durante o período seco em meio a vegetação decídua, Serra de Portalegre.



Fonte: Autor, 2016.

Além da variação deste índice para um mesmo período em vegetação de Caatinga, cabe destacar a variação da cobertura vegetal apresentada entre os períodos secos e chuvosos (FIGURA 21).

Figura 21 – Variação sazonal da cobertura vegetal na vertente nordeste da serra de Portalegre.



a) estação chuvosa, fevereiro de 2016; b) estação seca, setembro de 2016.  
Fonte: Autor, 2016.

Ferreira (2016) e Oliveira Junior (2016) observaram a alta variabilidade apresentada pelo NDVI ao aplicarem este índice em vegetação de Caatinga entre as estações seca e chuvosa em uma microbacia hidrográfica no município de Portalegre/RN. Ferreira (2016) observou que o NDVI sofreu acréscimo de aproximadamente 68,46% da estação seca para a chuvosa. Já Oliveira Junior (2016) relatou valores de acréscimo de aproximadamente 56% entre a estação seca e chuvosa, evidenciando a alta variação no percentual de cobertura da vegetação de Caatinga, decorrente da mudança no regime de chuvas e variação fenológica da vegetação de característica decídua.

É importante ressaltar que a diferença existente entre características fitofisionômicas não florestais e florestais, assim como os distintos estratos verificados em campo, não foram identificadas por meio do NDVI. Esse fato impossibilitou a classificação da vegetação de Caatinga em classes menores e de maior detalhe, tendo em vista que a cobertura vegetal de caatinga apresenta diferentes fisionomias.

Insucesso semelhante foi relatado por Silva (2015), que utilizou o NDVI no município de Mossoró-RN, região de vegetação de caatinga, na tentativa de realizar a separabilidade entre a vegetação arbórea da vegetação rasteira, as quais foram confundidas no processo de classificação. Mesmo assim, não se obteve resultado satisfatório na diferença entre os alvos, culminando assim, em respostas semelhantes para duas classes distintas.

Nesse sentido, considerando que este índice de vegetação revela predominantemente a vegetação de folhas verdes por área e a grande maioria das espécies de caatinga perdem as folhas no período seco, data da imagem utilizada, a provável explicação para a dificuldade encontrada na distinção entre as diferentes fitofisionomias e estratos da vegetação de caatinga

da RSMP, podem estar relacionados a estacionalidade foliar da vegetação, fazendo com que apresentem resposta espectral semelhante, independentemente do porte e densidade.

#### 4.3 CLASSES TEMÁTICAS DE COBERTURA VEGETAL

Neste tópico são apresentados e discutidos os resultados obtidos no processamento dos dados das classes temáticas. Em relação ao mapeamento das classes de cobertura vegetal, a Figura 22 mostra o mapa da distribuição espacial das unidades de mapeamento gerado a partir da categorização dos dados.

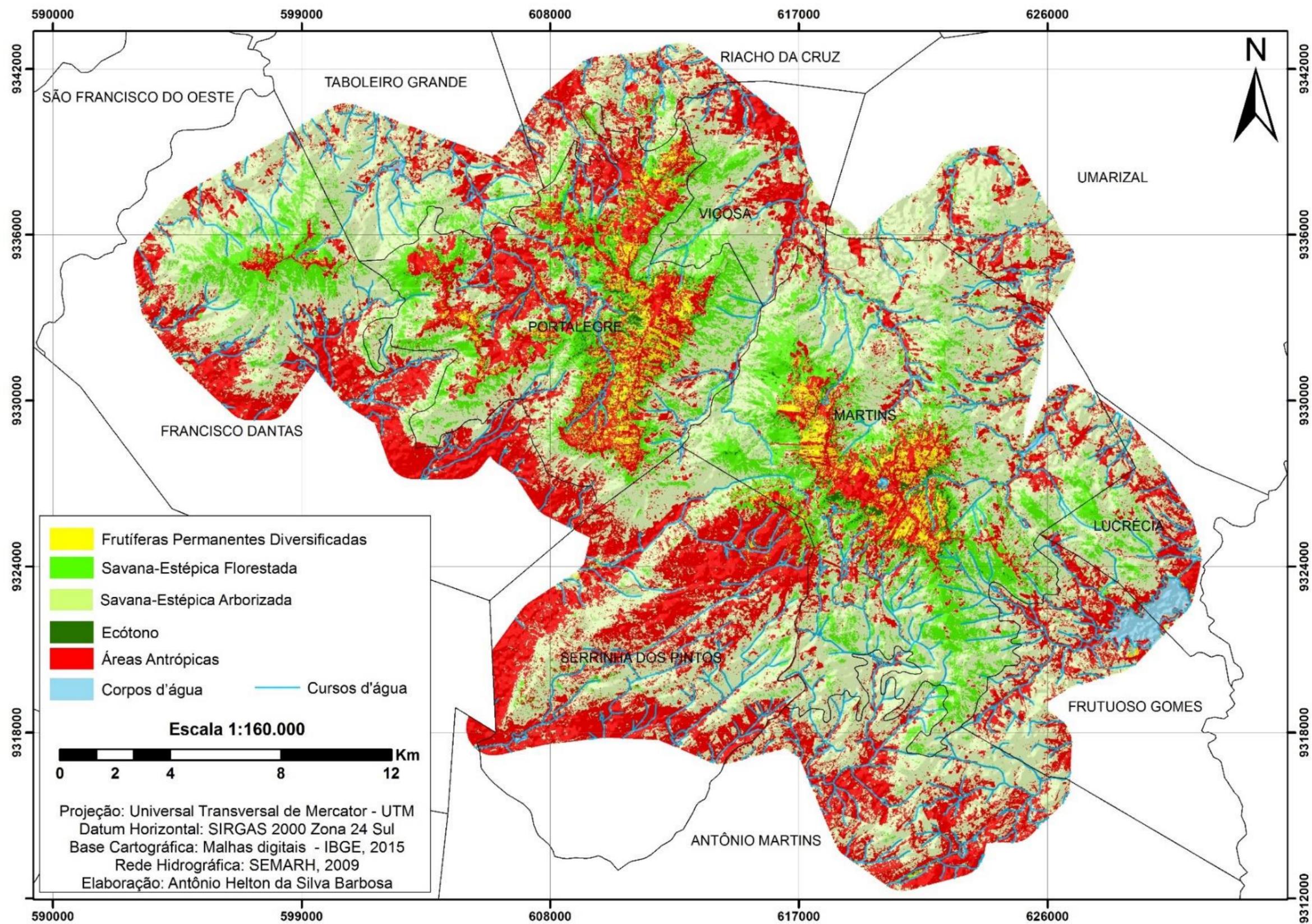
A interpretação e análise da imagem de satélite, bem como o mapeamento da cobertura vegetal, permitiu que fossem dimensionadas e espacializadas as formas de ocupação do espaço, possibilitando a obtenção das áreas referentes a cada classe mapeada, como pode ser visualizado na Tabela 6.

Tabela 6 – Classes da cobertura vegetal com suas respectivas áreas.

<b>Classes Temáticas</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Área %</b>
Ecótono (Tensão Ecológica)	394,24	0,61
Savana-Estépica Florestada	8.638,66	13,30
Savana-Estépica Arborizada	31.984,14	49,24
Frutíferas Permanentes Diversificadas	1.781,9	2,74
Áreas Antrópicas	21.539,22	33,16
Corpos D'água	615,4	0,95
<b>Total</b>	<b>64.953,56</b>	<b>100,00</b>

Fonte: Dados da Pesquisa, 2017.

Figura 22 – Mapa da cobertura vegetal da RSMP.



### *Ecótono (Tensão Ecológica)*

Esta unidade de formação vegetal, onde as floras se misturam, é estruturada em estratos arbóreo-arbustivo, apresentando contato entre tipos de vegetação com estruturas fisionômicas semelhantes. É formada pela mistura florística entre tipos de vegetação onde os elementos que se misturam são indivíduos isolados e dispersos, constituindo conjuntos geralmente muito homogêneos (FIGURA 23).

Figura 23 – Fitofisionomia dos locais classificados como áreas de Ecótono.



a) Mata do Hotel Serrano, Martins; b) ARIE Mata da Bica, Portalegre.  
Fonte: Autor, 2016.

Na sua composição florística, merecem destaque as seguintes espécies do estrato arbóreo-arbustivo: Podói (*Copaifera langsdorffii*), Jacarandá (*Jacaranda sp.*), Angico (*Anadenanthera spp.*), Jatobá (*Hymenaea stigonocarpa*), Araçá (*Psidium spp.*), Ingazeira (*Inga laurina*), Oiti (*Licania tomentosa*), Timbaúba (*Enterolobium contortisiliquum*), Pitombeira (*Talisia esculenta*), Maria Preta (*Vitex polygama*), Gameleira (*Ficus doliaria*), Trapiá (*Crateva tapia*), Freijó (*Cordia goeldiana*), Jenipapo-Bravo (*Tocoyena sellowiana*), Camuzé (*Pithecolobium polycephalum*), Jurubeba (*Solanum ssp.*), e etc.

Com relação ao estrato herbáceo podem ser encontradas a orquídea (*Oeceoclades Maculata*), bem como algumas espécies vegetais indicadoras de ambientes terrestres úmidos como as briófitas, colonizando o substrato rochoso, e as pteridófitas (samambaias e avenca) ao redor das nascentes e cursos d'água perenes.

Em comparação com outros ambientes serranos de exceção e que se destacam dentro de um contexto hidroclimático e fitoecológico no semiárido brasileiro, essa classe temática apresentou em seus aspectos florísticos, descritos acima, numerosa semelhança com o ambiente

fitoecológico da Mata Seca do Maciço de Baturité, relatado por Fernandes, Silva e Pereira (2011) ao caracterizarem a vegetação e a fitogeografia da serra do Baturité/CE.

Quanto ao seu grau de conservação, encontra-se descaracterizada e fragmentada pelo cultivo de frutíferas permanentes e demais atividades agrícolas, que ocupam quase todo o platô das serras, restando apenas pequenos núcleos isolados e dispersos nas altas vertentes.

Nesse contexto de pressões antrópicas e levando em consideração a necessidade de proteção do ambiente de Brejo de Altitude, bem como sua fauna e flora, foi criada pelo Decreto Municipal nº002, de 02 de fevereiro de 2016, a Área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE) da Mata da Bica de Portalegre, localizada integralmente no município de Portalegre, no estado do Rio Grande do Norte. É uma importante área de remanescente de Mata Atlântica, caracterizada pela ecótono entre a Floresta Estacional Semidecidual e a vegetação de Caatinga, abrigando nascentes perenes em meio ao semiárido Potiguar.

Esse conjunto de condições ambientais bastante atípicas com relação a umidade, temperatura, vegetação e presença de nascentes perenes em plena a região semiárida, cercadas por vegetação de caatinga, foram relatadas em várias pesquisas realizadas na região, Viana e Nascimento (2009), Medeiros e Medeiros (2012), Neres (2014), Souza Neto (2015), Dantas (2016), Medeiros, Carvalho e Souza (2016), Maia (2016), Cavalcante (2016), Bastos *et al.* (2016), sempre destacando a existência de uma cobertura vegetal de características perenifolia e/ou semidecidual que difere da vegetação circundante e predominantemente típica da região semiárida, a Caatinga.

Com relação ao mapeamento dessa classe temática, cabe destacar que, além do auxílio do Manual Técnico da Vegetação Brasileira (IBGE, 2012), esta etapa teve como base fundamental o estudo fitossociológico de espécies florestais realizado por Dantas (2016) nas áreas mais elevadas dos municípios de Martins e Portalegre, concluindo que esses locais são compostos pela mistura de indivíduos de características florísticas de domínio fitogeográfico em comum os biomas Mata Atlântica, Caatinga e Cerrado. São provavelmente remanescentes de diversos biomas, possivelmente, pelo fator climático, podendo ser caracterizadas pela tipologia de Floresta Atlântica Nordestina (DANTAS, 2016).

Estabelecendo uma relação com o NDVI, esta classe obteve os valores mais altos de NDVI para as coberturas vegetais nativas, com valores de reflectância agrupados entre (0,29 - 0,69). De forma Quantitativa, ocupa uma pequena área de aproximadamente 394,24 ha, correspondendo a 0,61% da área de estudo. Está localizada principalmente nas áreas de maior altitude, no terço superior das vertentes dos municípios de Martins e Portalegre e são conhecidas localmente como áreas de mata ou brejo.

Sobre o tema brejos, Ab'Saber (1999) destaca que na cultura popular dos sertões é costume reconhecer-se por brejo qualquer subsetor mais úmido existente no interior do domínio semiárido; isto é, qualquer porção de terreno dotada de maior umidade, solos de matas e filetes d'água perenes ou subperenes, sendo difícil precisar desde quando o termo brejo se projetou para todo um subconjunto de paisagens e de ecossistemas relacionados às serras úmidas.

### *Savana-Estépica Florestada*

Esta unidade de formação vegetal pertence ao subgrupo da savana-estépica, expressão é empregada para denominar tipologias vegetais campestres, em geral, com estrato lenhoso decidual e espinhoso, distribuídas em diferentes quadrantes do Território Nacional (IBGE, 2012).

A cobertura vegetal desta área é representada por uma caatinga arbórea densa, relativamente bem preservada, estando conectada aos importantes remanescentes de cobertura vegetal classificados nessa pesquisa como áreas ecotonais. Ocorre de forma dispersa ou agrupada, principalmente nas altas vertentes e em algumas porções dos vales, onde o relevo dificulta a ocupação por atividades antrópicas. Essa classe temática possui área total de aproximadamente 8.638,66 ha, correspondendo a 13,30% da área de estudo.

Este subgrupo de formação vegetal (FIGURA 24) é estruturado fundamentalmente em dois estratos: um, superior, com predominância de plantas decíduas, espinhosos, e mais ou menos adensadas; e um estrato inferior gramíneo-lenhoso, geralmente descontínuo e de pouca expressão fisionômica.

A flora característica desses espaços é dominada por árvores como o Angico (*Anadenanthera spp.*), o Pacoté (*Cochlospermum vitifolium*) e a Aroeira (*Myracrodruon urundeuva*), com presença de indivíduos de Cedro (*Cedrela odorata*), Timbaúba (*Enterolobium contortisiliquum*), Mulungú (*Erythrina velutina*) e etc, verificados de forma isolados e dispersos. Cabe destacar, a presença da aroeira, árvore presente na lista nacional oficial de espécies da flora ameaçadas de extinção.

Figura 24 – Fitofisionomia em áreas de Savana-Estépica Florestada, Serra de Martins.



Fonte: Autor, 2016.

Em comparação com os valores do NDVI, essa classe temática de cobertura vegetal obteve intervalos de NDVI intermediários entre a Classe 4 e a Classe 3. São as áreas onde ocorrem a Caatinga arbórea com espécies predominantemente caducifólias.

#### *Savana-Estépica Arborizada*

São comunidades vegetais caducifólias (FIGURA 25) de características semelhantes ao da Savana-Estépica Florestada, são típicas do Bioma Caatinga e refletem os efeitos das mudanças sazonais do clima em épocas secas e chuvosas, conforme a dinâmica do ambiente. Estão distribuídas espacialmente por todas as feições do relevo, principalmente nas vertentes das serras, onde ocupam uma área de aproximadamente 31.984,14 ha, correspondendo a 49,24% da área de estudo. É, portanto, a maior classe de vegetação mapeada e verificada em campo.

As Caatingas existentes nessa distribuição geoespacial são típicas das áreas mais baixas e abertas, com vegetação de porte mais baixo. Em relação às características fisionômicas esta classe apresenta vegetação de caatinga estruturada em estratos arbóreo-arbustiva e arbustivo-arbóreo, incluindo áreas de remanescentes e outros estágios de sucessão ecológica e recomposição florestal.

Figura 25 – Aspecto da fitofisionomia de Caatinga durante o período seco, Serra de Portalegre.



Fonte: Autor, 2016.

De forma geral, a vegetação predominante na área é do tipo caatinga arbustivo-arbórea, onde as árvores apresentam um porte médio entre 3 e 7 metros de altura. O estrato arbustivo tem predominância de espécies como o marmeleiro (*Croton sonderianus*), Jurema (*Mimosa ssp.*) e mofumbo (*Combretum leprosum*), principalmente nas áreas de recomposição florestal. Já o estrato arbóreo tem como principais representantes a aroeira (*Myracrodruon urundeuva*), o angico (*Anadenanthera spp.*), a catingueira (*Caesalpinia pyramidalis*), a imburana (*Commiphora leptophloeos*), o sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia*) e o Pacoté (*Cochlospermum vitifolium*). O estrato herbáceo é representado principalmente por ervas anuais, como as gramíneas, além de bromeliáceas como a macambira (*Bromelia laciniosa*) e trepadeiras como as jitiranas (*Ipomoea ssp.*).

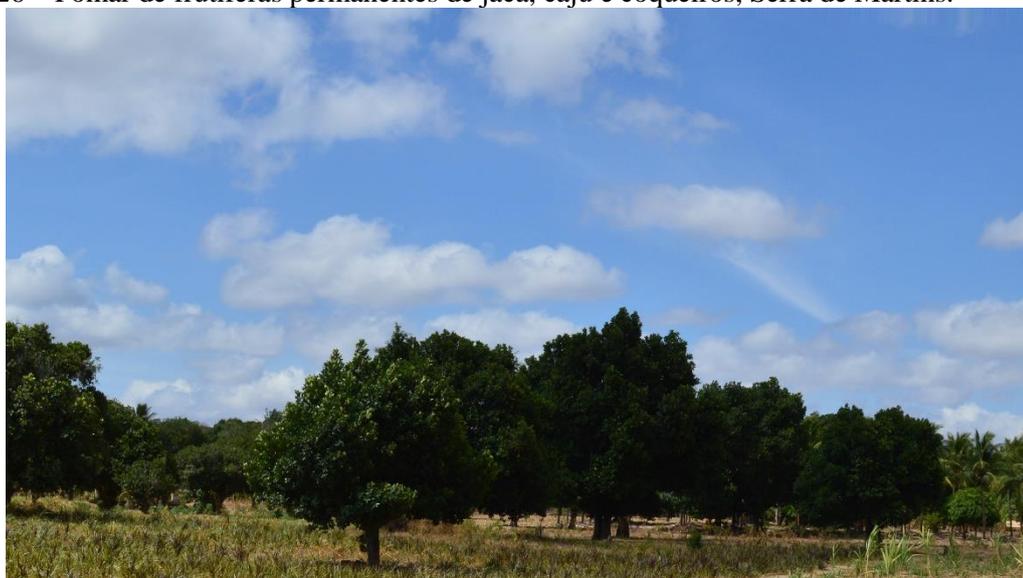
Outras espécies que se destacam são as cactáceas como o coroa-de-frade (*Melocactus bahiensis*), a palminha (*Opuntia palmadora*), o xique-xique (*Pilosocereus gounellei*), o cardeiro (*Cereus jamacaru*) e o facheiro (*Pilosocereus pachycladus*), plantas que simbolizam a região semiárida. As palmeiras como a carnaúba (*Copernicia prunifera*) e coco-catolé (*Syagrus cearensis*), estão associadas aos ambientes de cursos d'água e o topo da serras e altas vertentes, respectivamente.

### *Frutíferas Permanentes Diversificadas*

Compreende o cultivo de plantas perenes, isto é, de ciclo vegetativo de longa duração. Essas plantas produzem por vários anos sucessivos sem a necessidade de novos plantios após colheita. Na área de estudo foi identificado o cultivo do cajueiro como um dos principais representantes desta classe.

Outras culturas permanentes como jaqueiras, coqueiros, bananeiras e mangueiras também foram verificadas durante os trabalhos de campo (FIGURA 26). Essa diversidade de culturas frutíferas impossibilitou a classificação em níveis mais detalhados, sendo necessário o agrupamento das diversas culturas em apenas uma unidade temática.

Figura 26 – Pomar de frutíferas permanentes de jaca, caju e coqueiros, Serra de Martins.



Fonte: Autor, 2016.

Esses setores possuem uma distribuição espacial agrupada na superfície tabular das serras e ocupam uma área total de aproximadamente 1.781,9 ha, correspondendo a 2,74% da área de estudo. Cabe destacar que grande parte desses cultivos estão localizados nos municípios de Martins e Portalegre que possuem condições ambientais de clima e solo diferenciadas das áreas circundantes. Esses fatores ambientais são, em grande parte, determinantes para o desenvolvimento de atividades agrícolas.

Ao analisar os dados agropecuários do IBGE (2014), foi constatado que os municípios inseridos na RSMP com maiores áreas destinadas ao cultivo de caju são, de fato, os de

Portalegre (2.065 ha) e Martins (836 ha), chegando a ocupar 2.901 ha destinados a cajucultura, se somadas apenas as superfícies desses municípios.

Nesse contexto, merece destaque as pesquisas recentes sobre uso e ocupação do solo desenvolvidas nos municípios supracitados. Assim, ao realizar o mapeamento dos padrões de uso do solo e cobertura vegetal do município de Portalegre, Souza Neto (2015) destaca a cultura de cultivo de castanha de caju como sendo a cultura mais expressiva em termos de espacialização, encontrando-se distribuída em várias áreas do território municipal. O cultivo do caju também foi destacado por Guedes (2016), como uma agricultura permanente de grande expressão territorial, ao mapear a cobertura da terra do município de Martins.

### *Áreas antrópicas*

Esta classe temática é representada pelas áreas desflorestadas, principalmente pelas áreas de uso agrícola temporário e, em menor proporção, áreas urbanizadas, ocupando uma área total de 21.539,22 ha, correspondendo a 33,16% da área de estudo.

Estabelecendo uma correlação com o NDVI, esses espaços obtiveram valores negativos de NDVI, indicando a presença de solos descobertos, rochas e outras áreas sem vegetação. Os valores de reflectância dessa classe temática variaram entre (-0,18 – -0,04).

Nesta categoria foram mapeadas as áreas correspondentes ao uso de atividades agrícola e que sofreram supressão da vegetação, deixando o solo parcialmente exposto, como por exemplo, a agricultura de sequeiro e itinerante, assim como as atividades de pecuária.

Os demais elementos que foram mapeados compreendem uma variedade de áreas urbanas estruturadas por edificações e sistema viário, demais áreas urbanizadas, áreas em processo de urbanização incipiente, como, por exemplo, loteamentos habitacionais e pequenos povoados periféricos (sítios e comunidades rurais).

A distribuição espacial desta classe ocorre de forma dispersa ou agrupada, como no caso das atividades agropecuárias mais extensivas, localizadas principalmente na unidade geomorfológica Depressão Sertaneja, região circunvizinha dos platôs de Martins e Portalegre (FIGURA 27).

Figura 27 – Polígonos de atividades antrópicas nas áreas circunvizinhas da Serra de Portalegre.



Fonte: Autor, 2016.

Estes usos geralmente ocorrem em pequenas propriedades, conjugando culturas temporárias diversificadas. Foram encontrados na área de estudo cultivos temporários diversificados como: mandioca, milho, feijão, com frutíferas permanentes associados à pecuária de leite, caprinocultura e ovinocultura.

### *Corpos D'água*

Nesta classe foram mapeados os corpos d'água naturais e artificiais, tais como: lagos e lagoas de água doce, represas, açudes e etc. Esta classe temática é representada principalmente pelos açudes e barramentos dos córregos, como forma de armazenar água para utilização durante o período de seca. O açude de Lucrécia, localizado no município de mesmo nome, é o principal representante dessa classe e, segundo a CPRM (2005), possui capacidade hídrica de aproximadamente 27.270.000 m<sup>3</sup>.

A classe temática de corpos d'água apresentou valores de NDVI negativos, bem próximos a -1. Os valores de reflectância dessa classe variam entre (-1 – -0,18), ocupando uma área total de 615,4 ha, correspondendo a 0,95% da área de estudo. Estão localizadas principalmente nas áreas circunvizinhas as serras de Martins e Portalegre, nos açudes e barramentos existentes nas áreas rebaixadas (FIGURA 28) da unidade geomorfológica da Depressão Sertaneja.

Figura 28 – Açude localizado no sopé da Serra de Portalegre.



Fonte: Autor, 2016.

No tocante a análise geral sobre o mapa das classes de cobertura vegetal, a pesquisa sugere que, em linhas gerais, a região possui aproximadamente 62,54% (40.622,8 ha) de sua área coberta por vegetação nativa, se somadas as classes de Savana-Estépica Florestada e Arborizada (Vegetação de Caatinga). Assim sendo, essas zonas figuram como as mais representativas de todas as classes de vegetação nativa.

Pelo seu padrão de distribuição espacial, localizado principalmente nas vertentes dos maciços, é possível inferir que a localização geoespacial dessas áreas de relevo acidentado e maior declive, bem como as condições edafoclimáticas locais, funcionaram como fatores limitantes para o uso e ocupação desses locais por atividades agropastoris tradicionais, sendo esses os possíveis motivos pelo os quais foi possível verificar um cenário de grandes áreas de vegetação contíguas bem conservadas (FIGURA 29).

Figura 29 – Vertentes cobertas por áreas contíguas de Caatinga, Serra de Portalegre.



Fonte: Autor, 2016.

Em sentido oposto as áreas de vegetação nativa, a classe de Áreas Antrópicas, com representação espacial de 33,16% (21.539,22 ha), está distribuída principalmente nas áreas de relevo aplainado que circundam os sopés das serras e no topo plano das serras. Essas zonas apresentam pouquíssima cobertura vegetal nativa, pois são áreas de uso e ocupação intensivos por oferecem melhores condições ambientais para a apropriação social, bem como para as práticas agropecuárias realizadas nesses locais (FIGURA 30).

Figura 30 – Intervenções antrópicas em locais de nascentes perenes e vegetação arbórea.



a) Agricultura na ARIE Mata da Bica, Portalegre; b) Vegetação queimada na Mata do Hotel Serrano, Martins.  
Fonte: Autor, 2016.

Ainda com relação à classe descrita acima, que se encontra fortemente modificada pelas ações antropogênicas, representa a principal ameaça as áreas de vegetação mais conservadas, pois a expansão das atividades antrópicas implica, quase sempre, na supressão da vegetação e, conseqüentemente, na degradação ambiental da região, comprometendo a qualidade e a quantidade dos recursos naturais, principalmente os hídricos, bastante escasso no semiárido nordestino.

No que diz respeito a apreciação geral sobre a configuração fitogeográfica da RSMP, a pesquisa corrobora com as observações realizadas por Bastos *et al.* (2016) ao descrever que as unidades do relevo onde se localizam as serras de Martins e Portalegre encontram-se quatro representantes fitogeográficos. A caatinga, localizada nas áreas sertanejas circunvizinhas; a floresta subcaducifólia (mata seca), encontradas no setor Norte/Nordeste do maciço serrano; a floresta subúmida, circundando as áreas de nascentes da vertente Norte; e o predomínio de culturas e áreas desmatadas na superfície de topo tabular das serras (BASTOS *et al.*, 2016).

As informações geoespaciais geradas, traz à tona subsídios importantes para a conservação ambiental da vegetação regional ao espacializar os tipos e locais de maior cobertura de vegetal, como foi observado no mapa. A geolocalização dessas áreas, posicionadas preferencialmente nas vertentes íngremes, indicam locais de remanescentes vegetação em estágios de sucessão ecológica bastante evoluídos na sua recomposição florestal. Nesse contexto, essas áreas podem ser norteadoras para a realização de estudos ambientais de conservação da biodiversidade e também para a criação de unidades de conservação.

Entretanto, o conjunto de interferências antrópicas vem modificando ao longo do tempo a paisagem natural, ameaçando os remanescentes de vegetação nativa e todo o ecossistema local, demandando ações e pesquisas para conter a degradação dos ambientes naturais.

Na perspectiva de disciplinar o uso e ocupação do solo em ambientes serranos que se destacam como áreas de exceção no contexto geoambiental e fitogeográfico do Nordeste Brasileiro, contexto ao qual se insere a RSMP, Bastos e Azevedo (2011) sugeriram como medidas, estudos ambientais voltados para o planejamento ambiental, ordenamento territorial e zoneamento ambiental ao analisar os aspectos jurídico-institucionais que envolvem a questão ambiental na Serra de Baturité/CE.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho fundamentado na análise da distribuição espacial da cobertura vegetal da RSMP por meio da aplicação de técnicas de sensoriamento remoto em uma imagem de alta resolução espacial, foram instrumentos de grande relevância para o conhecimento da cobertura vegetal, revelando, mediante a aplicação do NDVI, padrões de zonação fitogeográfica ao longo do gradiente altitudinal, influenciados pelo clima, assim como, os gradientes ambientais, influenciados pela presença de umidade no solo em locais como riachos e nascentes perenes.

As áreas antropizadas oriundas das atividades do meio urbano e rural, sugerem um percentual de aproximadamente 35%, se somadas as classes temáticas Antrópicas e Frutíferas Permanentes Diversificadas. Essas unidades temáticas estão distribuídas espacialmente de forma difusa e concentrada, tanto nos maciços serranos quanto nas áreas de baixa altitude da Depressão Sertaneja, ocorrendo de forma mais concentrada nos locais que circundam as serras de Martins e Portalegre.

Nesse sentido, as informações da configuração espacial das áreas antropizadas e remanescentes da cobertura vegetal nativa, são de grande valor/contribuição científica, tendo em vista que possibilitou uma visão cartográfica e percepção espacial sobre a antropização em uma área classificada como prioritária para a conservação, uso sustentável e repartição dos benefícios da biodiversidade brasileira, considerada de extrema importância biológica e com prioridade geral extremamente alta, vinculadas ao único Bioma exclusivamente brasileiro, a Caatinga.

De maneira geral, os resultados dessa pesquisa foram satisfatórios, cabendo destacar que um estudo de sensoriamento remoto que utiliza uma imagem de alta resolução e aplica diferentes técnicas (NDVI e Classificação Supervisionada) para a obtenção de informações sobre alvos na superfície terrestre, apresenta uma grande aproximação da realidade investigada. Por consequência, poderão contribuir para iniciativas de proteção da cobertura vegetal, principalmente dos remanescentes florestais do Domínio das Caatingas e Mata Atlântica Nordestina, auxiliando o poder público no âmbito das políticas ambientais, criação de áreas protegidas, zoneamento e licenciamento ambiental e na tomada de decisão, bem como conscientizando a população sobre a necessidade de conservação dos recursos naturais.

## REFERÊNCIAS

- AB' SABER, A. N. **Os domínios de Natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.
- \_\_\_\_\_. "Sertões e sertanejos: uma geografia humana sofrida". **Estudos Avançados**, IEA/USP, São Paulo, v. 13, n. 36, p. 7-59, 1999. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/ea/v13n36/v13n36a02.pdf>>. Acesso em: 12 abr. 2016.
- ANDRADE-LIMA, D. The caatingas dominium. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 4, p. 149-153, 1981. Disponível em: < <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAqQVcAJ/the-caatinga-dominium#>>. Acesso em: 15 fev. 2016.
- ANGELIM, L. A. A; MEDEIROS, V. C; NESI, J. R. Programa Geologia do Brasil – PGB. Projeto Geologia e Recursos Minerais do Estado do Rio Grande do Norte. **Mapa geológico do Estado do Rio Grande do Norte**. Recife: CPRM/FAPERNA, 2006. Escala 1:500.000. 1mapa color.
- ARAÚJO FILHO, J. A; CRISPIM, S. M. A. Pastoreio combinado de bovinos, caprinos e ovinos em áreas de caatinga no Nordeste do Brasil. In:UNIVERSITY OF CONTESTADO; CONCORDIA SC (Ed.). **Conferência virtual global sobre produção orgânica de bovinos de corte**. Corumbá: EMBRAPA pantanal, 2002, p. 1-7. Disponível em: <<http://www.cpap.embrapa.br/agencia/congressovirtual/pdf/portugues/03pt08.pdf>>. Acesso em: 25 mar. 2016.
- 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. (Org.). **Análise das variações da biodiversidade do bioma caatinga: Suporte a estratégias regionais de conservação**. 2005. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/>>. Acesso em: 12 abr. 2016.
- BANNARI, A; MORIN, D; BONN, F. A review of vegetation índices. **Remote Sensing Reviews**, 13, 1995. p. 95-120.
- BARBOSA, H. A. **Análise espaço temporal de índice de vegetação AVHRR/NOAA e precipitação na região nordeste do Brasil em 1982-85**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1999. 164 p.
- BARBOSA, H. A; HUETE, A. R; BAETHGEN, W. E. A 20-year study of NDVI variability over the Northe ast Region of Brazil. **Journal of Arid Environments**, vol. 67, p. 288–307, 2006.
- BARROS, M. L. B. Prefácio. In: LEAL, I. R; TABARELLI, M; SILVA, J. M. C. (Ed.). **Ecologia e Conservação da Caatinga**. Recife: Universitária UFPE, 2003. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/estruturas/203/\\_arquivos/5\\_livro\\_ecologia\\_e\\_conservao\\_da\\_caatinga\\_203.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/203/_arquivos/5_livro_ecologia_e_conservao_da_caatinga_203.pdf)>. Acesso em: 21 jan. 2016.
- BASTOS, F. de H; AZEVEDO, R. E. S. de. Aspectos Jurídicos-Institucionais da Questão Ambiental na Serra de Baturité. In: BASTOS, F. de H. (Org.). **Serra de Baturité: uma visão integrada das questões ambientais**. Fortaleza: Expressão Gráfica e Editora, 2011. p. 151-181.

- BASTOS, F. H. *et al.* Ambiente serrano de Martins e Portalegre: apontamentos para a gestão ambiental e desenvolvimento sustentável. In: CARVALHO, R. G; MEDEIROS, S. R. M. (Org.). **Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável na Região Serrana de Portalegre e Martins, Rio Grande do Norte**. Mossoró: UERN, 2016. 231 p.
- CAMACHO, R. G. V. **Estudo Fitofisiográfico da Caatinga do Seridó- Estação Ecológica do Seridó, RN**. 2001. 130 p. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo. São Paulo, 2001. 142 p.
- CARVALHO, R. G. de. **Análise de sistemas ambientais aplicada ao planejamento: estudo em macro e mesoescala na região da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró, RN/Brasil**. 2011. 269 p. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.
- CAVALCANTE, J. S. J. **Relações solo-paisagem associadas aos usos agrícolas no município de Martins – RN**. 2016. 75 p. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2016. 75 p.
- CHAVES, I. de B. *et al.* Índices espectrais, diagnóstico da vegetação e degradação da caatinga da bacia do rio Taperoá-PB. In: SILVA, B. B. da (Org). **Aplicações ambientais brasileiras com geoprocessamento e sensoriamento remoto**. Campina Grande: EDUFPG, 2013. p. 23-47.
- COSME JÚNIOR, S. **Análise de uso e cobertura do solo no município de Parelhas/RN**. 2011. 73 p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.
- COURA, S. M. C. **Mapeamento de vegetação do estado de Minas Gerais utilizando dados MODIS**. São José dos Campos: INPE, 2006. 129p. Disponível em: <<http://mtc-m17.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/MTC-m13@80/2006/12.21.13.36/doc/publicacao.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2015.
- CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Serviço Geológico do Brasil. Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. **Diagnóstico do município de Lucrécia, Estado do Rio Grande do Norte**. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br>>. Acesso em 12 de Jun. 2015.
- DANTAS, H. R. **Degradação ambiental no município de Cerro Corá-RN por técnicas de geoprocessamento**. 2013. 53 p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2013.
- DANTAS, N. B. de L. **Estudo Fitossociológico em enclaves florestais na região serrana dos municípios de Portalegre e Martins-RN**. 2016. 90 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Naturais) – Faculdade de Ciências Exatas e Naturais, Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, Mossoró, 2016.
- DEFRIES, R. S; TOWNSHEND, J. R. G. NDVI-derived land cover classification sat a global scale. **International Journal of Remote Sensing**, vol. 15, n. 17, p. 3567-3586, 1994.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **ZANE DIGITAL – Zoneamento Agroecológico do Nordeste do Brasil**. Recife: EMBRAPA, 2000.

EMPARN. Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte. **Monitoramento Pluviométrico**. EMPARN, 2012. Disponível em:

<<http://189.124.201.150/monitoramento/monitoramento.php>>. Acesso em: 23 abril 2016.

ESPIG, S. A; SOARES, J. V; SANTOS, J. R. dos. Variações sazonais do EVI e NDVI em áreas do semi-árido brasileiro. In: VII SEMINÁRIO EM ATUALIZAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS APLICADAS À ENGENHARIA FLORESTAL, Curitiba, Brasil. **Anais...** Curitiba: FPPF, Oct. 2006, p. 219-226.

ESPÍNDOLA, E. L. G; SCHALCH, V. **Bacia Hidrográfica**: diversas abordagens em pesquisa. São Carlos: RiMa, 2004. 412 p.

FARRAR, T. J; NICHOLSON, S. E; LARE, A. R. The influence of soil type on the relationships between NDVI, Rainfall, and soil moisture in semiarid Botswana. II. NDVI. Response to soil moisture. **Remote Sens. Environ**, vol. 50, p. 121-133, 1994.

FERNANDES, A. G. **Fitogeografia Brasileira - Fundamentos Fitogeográficos**: fitopaleontologia, fitoecologia, fitossociologia, fitocorologia. 3 ed. Fortaleza: Edições UFC, 2007. 183 p.

\_\_\_\_\_. **Fitogeografia brasileira**. Fortaleza: Multigval, 1998.

FERNANDES, A. G; SILVA, E. V. da; PEREIRA, R. C. M. Fitogeografia do Maciço de Baturité: uma visão sistêmica e ecológica. In: BASTOS, F. de H. (Org.). **Serra de Baturité**: uma visão integrada das questões ambientais. Fortaleza: Expressão Gráfica e Editora, 2011. p. 85-99.

FERREIRA, L. L. N. **Variação espacial de atributos do solo, em zona de recarga de nascente, em uma microbacia perene do semiárido**. 2016. 107 p. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água) – Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró, 2016.

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

FRANCA-ROCHA, W. *et al.* Levantamento da Cobertura Vegetal e do Uso do Solo no Bioma das Caatingas. In: QUEIROZ, L. P. *et al.* (Org.). **Rumo ao amplo conhecimento da biodiversidade do semiárido brasileiro**. Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia, 2006. Disponível em: <[ftp://ftp.mct.gov.br/Biblioteca/10974-Rumo\\_ao\\_amplo\\_conhecimento\\_da\\_biodiversidade\\_do\\_semi-arido\\_brasileiro.pdf](ftp://ftp.mct.gov.br/Biblioteca/10974-Rumo_ao_amplo_conhecimento_da_biodiversidade_do_semi-arido_brasileiro.pdf)>. Acesso em: 31 mar. 2016.

FUNK, C. C; BROWN, M. E. Intra-seasonal NDVI change projections in semi-arid Africa. **Remote Sensing of Environment**, vol. 101 p. 249–256, 2006.

GUEDES, J. C. F. **Comparação de índices de vegetação no mapeamento da cobertura da terra no semiárido**: estudo de caso no município de Martins/RN. 2016. 87 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2016. 87 p.

GIULIETTI, A. M. *et al.* Apresentando o cenário. In: QUEIROZ, L. P. *et al.* **Rumo ao amplo conhecimento da biodiversidade do semiárido brasileiro**. Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia, 2006. Disponível em: <[ftp://ftp.mct.gov.br/Biblioteca/10974-Rumo\\_ao\\_amplo\\_conhecimento\\_da\\_biodiversidade\\_do\\_semi-arido\\_brasileiro.pdf](ftp://ftp.mct.gov.br/Biblioteca/10974-Rumo_ao_amplo_conhecimento_da_biodiversidade_do_semi-arido_brasileiro.pdf)>. Acesso em: 31 mar. 2016.

HANSEN, M. C. *et al.* High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. **Science**, Vol. 342, Issue 6160, pp. 850-853, 2013. Disponível em: <<http://science.sciencemag.org/content/342/6160/850>>. Acesso em: 18 jul. 2016.

HERBÁRIO MOSS. **Herbário Dárdano de Andrade Lima**. Disponível em: <<http://splink.cria.org.br/manager/detail?setlang=pt&resource=MOSS>>. Acesso em: 12 jan. 2017.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mudanças na cobertura e uso da terra do Brasil 2000 – 2010 – 2012 – 2014**. Rio de Janeiro: IBGE, 2016. 33 p.

\_\_\_\_\_. **Manual Técnico de Uso da Terra**. 3 ed. Rio de Janeiro: 2013. Disponível em: <[ftp://geofpt.ibge.gov.br/documentos/recursos\\_naturais/manuais\\_tecnicos/manual\\_uso\\_da\\_terra.pdf](ftp://geofpt.ibge.gov.br/documentos/recursos_naturais/manuais_tecnicos/manual_uso_da_terra.pdf)>. Acesso em: 15 jan. 2016.

\_\_\_\_\_. **Produção Agrícola Municipal 2013**. Rio de Janeiro: IBGE, 2014. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br>>. Acesso em: 21 set. 2016.

\_\_\_\_\_. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. 2 ed. Rio de Janeiro: 2012. Disponível em: <[ftp://geofpt.ibge.gov.br/documentos/recursos\\_naturais/manuais\\_tecnicos/manual\\_tecnico\\_vegetacao\\_brasileira.pdf](ftp://geofpt.ibge.gov.br/documentos/recursos_naturais/manuais_tecnicos/manual_tecnico_vegetacao_brasileira.pdf)>. Acesso em: 15 jan. 2016.

\_\_\_\_\_. **Mapa de Biomas e de Vegetação**. Comunicação Social: IBGE, 2004. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/21052004biomashtml.shtm>>. Acesso em: 4 fev. 2016.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **INPE Nordeste mapeia desmatamento da Caatinga**. INPE, 2015. Disponível em: <[http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod\\_Noticia=3895](http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=3895)>. Acesso em: 17 jun. 2016.

INSA. Instituto Nacional do Semiárido. **Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)**. Disponível em: <<http://www.insa.gov.br/ndvi#.WKDQkdIrLIV>>. Acesso em: 11 nov. 2016.

JACOMINI, P. K. *et al.* **Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do estado do Rio Grande do Norte**. Recife: SUDENE/Divisão de Pesquisa Pedológica, v.1, 531 p. (sér. Boletim Técnico, n. 21; sér. Pedologia, n. 9). Recife/PE, 1971.

KAWABATA, A; ICHII, K; YAMAGUCHI, Y. Global monitoring of interannual changes in vegetation activities using NDVI and its relationships to temperature and precipitation. **International Journal of Remote Sensing**, vol. 22, n. 7, p. 1377-1382, 2001.

LEAL, I. R. *et al.* Mudando o curso da conservação da biodiversidade na Caatinga do Nordeste do Brasil. **Megadiversidade**, Belo Horizonte, v. 1, n. 1, p. 139-146, 2005. Disponível em: <[https://portais.ufg.br/up/160/o/19\\_Leal\\_et\\_al.pdf](https://portais.ufg.br/up/160/o/19_Leal_et_al.pdf)>. Acesso em: 11 fev. 2016.

LEMOS, J. R. **Florística, estrutura e mapeamento da vegetação de caatinga da Estação Ecológica de Aiuaba, Ceará**. Tese (Doutorado em Ciência) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006. 139 p.

LOBATO, R. *et al.* Índice de vegetação por diferença normalizada para análise da redução da mata atlântica na região costeira do distrito de Tamoios – Cabo Frio/RJ. **Caderno de Estudos Geoambientais**, v.01, n.01, p.14-22, 2010. Disponível em: <<http://www.cadgeo.uff.br/index.php/cadgeo/article/view/2/2>>. Acesso em: 20 de maio 2015.

MAIA, R. P. Geomorfologia dos maciços de Portalegre e Martins (RN). In: CARVALHO, R. G; MEDEIROS, S. R. M. (Org.). **Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável na Região Serrana de Portalegre e Martins, Rio Grande do Norte**. Mossoró: UERN, 2016. 231 p.

MEDEIROS, S. J. G. R; MEDEIROS, J. F. de. Descrição da geodiversidade como subsídio ao zoneamento ambiental: estudo de caso em Portalegre-RN. **GEOTemas**, Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte, Brasil, v 2, n. 2, p. 17-33, jul./dez., 2012.

MEDEIROS, S. R. M. de. *et al.* Índice de qualidade das águas e balneabilidade no Riacho da Bica, Portalegre, RN, Brasil. **Rev. Ambient. Água**, Taubaté, vol. 11 n. 3 p. 711-730, July./sep., 2016.

MEDEIROS, S. R. M. de; CARVALHO, R. G. de; SOUZA, L. D. Análise da viabilidade socioambiental para a criação de uma unidade de conservação da microbacia da mata da bica, Portalegre (RN). In: CARVALHO, R. G; MEDEIROS, S. R. M. (Org.). **Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável na Região Serrana de Portalegre e Martins, Rio Grande do Norte**. Mossoró: UERN, 2016. p. 64-93.

MELO, E. T; SALES, M. C. L; OLIVEIRA, J. G. B. de. 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**, Curitiba, Departamento de Geografia – UFPR, vol. 23, p. 520-533, 2011.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Caatinga**. Brasília: MMA, 2016. Disponível: <>. Acesso em: 14 jun. 2016a.

\_\_\_\_\_. **Monitoramento do Desmatamento dos Biomas Brasileiros por Satélite: caatinga**, Relatório Técnico 2009 - 2010. Brasília: MMA, 2016b. 32 p.

\_\_\_\_\_. **Monitoramento do Desmatamento dos Biomas Brasileiros por Satélite: caatinga**, Relatório Técnico 2010 - 2011. Brasília: MMA, 2016c. 32

\_\_\_\_\_. **Biodiversidade brasileira: resultado da 2º atualização das áreas prioritárias**. Disponível em:<<http://www.mma.gov.br/biodiversidade/biodiversidade-brasileira/%C3%A1reas-priorit%C3%A1rias/item/10724>>. Acesso em: 22 out. 2016d.

\_\_\_\_\_. **Monitoramento do bioma caatinga 2008-2009**. In: MMA. Ministério do Meio Ambiente. Monitoramento do desmatamento nos biomas brasileiros por satélite acordo de cooperação técnica MMA/IBAMA. Brasília: MMA, 2011. 46 p.

\_\_\_\_\_. **Monitoramento do bioma caatinga 2002-2008**. In: MMA. Ministério do Meio Ambiente. Monitoramento do desmatamento nos biomas brasileiros por satélite acordo de cooperação técnica MMA/IBAMA. Brasília: MMA, 2010. 46 p.

\_\_\_\_\_. **Mapas de Cobertura Vegetal dos Biomas Brasileiros**. Brasília: MMA, 2007a. Disponível em:

<[http://www.mma.gov.br/estruturas/sbf\\_chm\\_rbbio/\\_arquivos/mapas\\_cobertura\\_vegetal.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/sbf_chm_rbbio/_arquivos/mapas_cobertura_vegetal.pdf)>. Acesso em: 01 de jun. 2015.

\_\_\_\_\_. **Áreas Prioritárias para Conservação, Uso Sustentável e Repartição de Benefícios da Biodiversidade Brasileira: Atualização - Portaria MMA nº9, de 23 de janeiro de 2007**. / Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Biodiversidade e Florestas. – Brasília: MMA, 2007b. (Série Biodiversidade, 31). Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/estruturas/chm/\\_arquivos/biodiversidade31.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/chm/_arquivos/biodiversidade31.pdf)>. Acesso em: 01 de jun. 2015.

\_\_\_\_\_. **Biodiversidade Brasileira: Avaliação e Identificação de Áreas Prioritárias para Conservação, Utilização Sustentável e Repartição de Benefícios da Biodiversidade Brasileira**. Brasília: MMA, 2002. 404 p. (Série Biodiversidade, nº 5). Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/estruturas/chm/\\_arquivos/biodivbr.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/chm/_arquivos/biodivbr.pdf)>. Acesso em: 21 abr. 2016.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos de Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2003. 307 p.

NERES, S. C. T. **Nascentes da Região Serrana de Martins e Portalegre: aspectos hidrodinâmicos e macroscópicos com subsídios a conservação**. 2014. 185 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Naturais) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Naturais – PPGCN. Mossoró: UERN, 2014. 185 p.

NETTO, A. V. M; LINS, R. C; COUTINHO, S. F. S. **Áreas de Exceção do Nordeste Brasileiro: considerações conceituais**. Fundação Joaquim Nabuco e Universidade Federal de Pernambuco. 2008. p. 11 Disponível em:

<[observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal3/.../01.pdf](http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal3/.../01.pdf)>. Acesso em: 23 mar. 2016.

NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. São José dos Campos: Edgar Blücher Ltda, 1989. 308 p.

OLIVEIRA, W. M; CHAVES, I. B.; LIMA, E. R. V. 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. Disponível em:

<<http://periodicos.ufersa.edu.br/revistas/index.php/sistema/article/viewFile/748/355>>. Acesso em: 15 maio 2015.

OLIVEIRA JUNIOR, R. **Modelagem espacial dos atributos do solo sob diferentes ocupações em uma microbacia perene de vertente do semiárido**. 2016. 102 p. Dissertação

(Mestrado em Manejo de Solo e Água) – Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró, 2016.

PEREIRA FILHO, J. M; BAKKE, O. A. Produção de forragem de espécies herbáceas da caatinga. In: GARIGLIO, M. A. *et al.* (Org.). **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da caatinga**. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro, 2010. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/estruturas/sfb/\\_arquivos/web\\_uso\\_sustentvel\\_e\\_conservao\\_dos\\_recursos\\_florestais\\_da\\_caatinga\\_95.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/sfb/_arquivos/web_uso_sustentvel_e_conservao_dos_recursos_florestais_da_caatinga_95.pdf)>. Acesso em: 25 mar. 2016.

PINHEIRO, J. U; BRISTOT, G; LUCENA, L. R. F. de. **Clima do Estado do Rio Grande do Norte**. In: PFALTZGRAFF, P. A. dos S; TORRES, F. S. de M. (Org.). Geodiversidade do Estado do Rio Grande do Norte. Rio de Janeiro: CPRM, 2010. p. 93-99.

PLANET. **Planet imagery product specification**: planetscope & rapideye. PLANET, 2016. Disponível em:<[https://www.planet.com/products/satellite-imagery/files/1611.09\\_Spec\\_Sheet\\_Combined\\_Imagery\\_Product\\_Letter\\_DraftV3.pdf](https://www.planet.com/products/satellite-imagery/files/1611.09_Spec_Sheet_Combined_Imagery_Product_Letter_DraftV3.pdf)>. Acesso em: 11 jan. 2017.

POELKING, E. L; LAUERMAN, A; DALMOLIN, R. S. D. Imagens CBERS na geração de NDVI no estudo da dinâmica da vegetação em período de estresse hídrico. In: XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Florianópolis, Brasil. **Anais...** Florianópolis: INPE, 21-26 abril 2007, p. 4145-4150. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.19.18.33/doc/4145-4150.pdf>>. Acesso em: 20 maio 2015.

PONZONI, F. J; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2012. Disponível em: <<http://www.cvmn.com.br/HTML/Arquivos/Sensoriamento%20remoto/SENSORIAMENTO%20REMOTO%20NO%20ESTUDO%20DA%20VEGETA%C7%C3O.pdf>>. Acesso em: 20 de maio 2015.

PORTALEGRE. **Decreto Municipal nº 002, de 02 de fevereiro de 2016**. Cria Área de Relevante Interesse Ecológico – ARIE, da Mata da Bica de Portalegre e dá outras providências. Prefeitura Municipal de Portalegre, RN, 02 fev. 2016.

PRADO, D. E. As caatingas da América do Sul. In: LEAL, I. R; TABARELLI, M; SILVA, J. M. C. (Org.). **Ecologia e Conservação da Caatinga**. Recife: UFPE, Editora Universitária, 2003. p. 3-73. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/estruturas/203/\\_arquivos/5\\_livro\\_ecologia\\_e\\_conservao\\_da\\_caatinga\\_203.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/203/_arquivos/5_livro_ecologia_e_conservao_da_caatinga_203.pdf)>. Acesso em: 21 jan. 2016.

QUEIROZ, L. P. Angiospermas do Semiárido Brasileiro. In: QUEIROZ, L. P. *et al.* **Rumo ao amplo conhecimento da biodiversidade do semiárido brasileiro**. Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia, 2006. Disponível em: Disponível em: <[ftp://ftp.mct.gov.br/Biblioteca/10974Rumo\\_ao\\_amplo\\_conhecimento\\_da\\_biodiversidade\\_do\\_semi-arido\\_brasileiro.pdf](ftp://ftp.mct.gov.br/Biblioteca/10974Rumo_ao_amplo_conhecimento_da_biodiversidade_do_semi-arido_brasileiro.pdf)>. Acesso em: 31 mar. 2016.

RIBEIRO, G. N. *et al.* Mapeamento do uso da terra e cobertura vegetal no agreste paraibano: municípios de Pocinhos e Puxinanã. **Revista Caatinga**, vol. 21, núm. 2, abril-junho, p. 231-244, 2008. Disponível em: <<http://periodicos.ufersa.edu.br/revistas/index.php/sistema/article/viewFile/748/355>>. Acesso em: 05 de jun. 2015.

ROCHA, A. P. B. *et al.* **Geografia do Nordeste**. 2. ed. Natal: EDUFRN, 2011. 332 p.  
Disponível em:  
<[http://sedis.ufrn.br/bibliotecadigital/site/pdf/geografia/Geo\\_Nord\\_LIVRO\\_WEB.pdf](http://sedis.ufrn.br/bibliotecadigital/site/pdf/geografia/Geo_Nord_LIVRO_WEB.pdf)>.  
Acesso em: 1 abr. 2016.

ROSEMBACK, R; FRANÇA, A. A. S; FLORENZANO, T. G. Análise Comparativa dos dados NDVI obtidos de imagens CCD/CBERS e TM/ Landsat5 em uma área urbana. In: XII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p.1075-1082. Disponível em:  
<<http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.16.17.49/doc/1075.pdf>>. Acesso em: 10 de jun. 2015.

ROUSE, J. W. *et al.* Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE-1 SYMPOSIUM, 3, 1973. **Annals...** Washington, 1973. p. 309-317.

RUHOFF, A. L. **Gerenciamento de recursos hídricos em bacias hidrográficas: Modelagem ambiental com a simulação de cenários preservacionistas**. 2004. Dissertação (Mestrado em Geomática) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004. Disponível em: <[http://cascavel.cpd.ufsm.br/tede/tde\\_arquivos/21/TDE-2007-10-23T190934Z-922/Publico/ANDERSONRUHOFF.pdf](http://cascavel.cpd.ufsm.br/tede/tde_arquivos/21/TDE-2007-10-23T190934Z-922/Publico/ANDERSONRUHOFF.pdf)>. Acesso em: 09 jun. 2015.

SÁ, I. I. S. *et al.* Cobertura vegetal e uso da terra na região Araripe pernambucana. **Mercator**, vol. 9, nº 19, mai./ago., 2010. p. 143 a 163.

SAMPAIO, E. V. S. B. Características e Potencialidades. In: GARIGLIO, M. A. *et al.* (Org.). **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da caatinga**. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro, 2010. Disponível em:  
<[http://www.mma.gov.br/estruturas/sfb/\\_arquivos/web\\_uso\\_sustentvel\\_e\\_conservao\\_dos\\_recursos\\_florestais\\_da\\_caatinga\\_95.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/sfb/_arquivos/web_uso_sustentvel_e_conservao_dos_recursos_florestais_da_caatinga_95.pdf)>. Acesso em: 1 abr. 2016.

SAMPAIO, E; RODAL, M. de J. **Fitofisionomias da Caatinga**. Documento para discussão no gt botânica. Petrolina, 2000. Disponível em:  
<<http://www.biodiversitas.org.br/caatinga/relatorios/fitofisionomias.pdf>>. Acesso em: 1 abr. 2016.

SANTOS, H. C. *et al.* **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Brasília: EMBRAPA, 2013. 342 p.

SANTOS, L. S. dos. **Estudo das alterações na cobertura vegetal ao longo de perfil topográfico, com ênfase em enclave de cerrado no agreste meridional de Pernambuco, Brasil**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2014. 116 p.

SANTOS, M. de F. C. F. dos. **Geologia e paleontologia de depósitos fossilíferos pleistocênicos do Rio Grande do Norte**. 2001. 81 p. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2001. 81 p.

SANTOS, M. S; PINA, M. F; CARVALHO, M. S. Conceitos básicos de sistemas de informação geográfica e cartografia aplicados à saúde. Brasília: OPAS, 2000. Disponível em:<[http://www.bvsde.paho.org/cursode/fulltext/Livro\\_cartog\\_SIG\\_saude.pdf](http://www.bvsde.paho.org/cursode/fulltext/Livro_cartog_SIG_saude.pdf)>. Acesso em: 24 maio 2016.

SCHMIDT, H; KARNIELI, A. Remote sensing of the seasonal variability of vegetation in a semi-arid environment. **Journal of Arid Environments**, vol. 45. p. 43–59, 2000.

SECRETARIATO OF THE CONVENTION ON BIOLOGICAL DIVERSITY. **Panorama da Biodiversidade nas Cidades**: avaliação global das conexões entre urbanização, biodiversidade e serviços ecossistêmicos. Montreal, 2012. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/publicacoes/cidades-sustentaveis/category/138-geral>>. Acesso em: 12 de fev. 2015.

SEEHUSEN, S. E; PREM, I. Por que Pagamentos por Serviços Ambientais? In: GUEDES, F. B; SEEHUSEN, S. E. (Org.). **Pagamentos por Serviços Ambientais na Mata Atlântica**: lições aprendidas e desafios. Brasília: MMA, 2011. 272 p. (Série Biodiversidade, 42).

SILVA, A. A. **Classificação orientada a objeto para mapeamento da cobertura vegetal da zona urbana de Mossoró/RN**. 2015. 150 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Naturais) – Faculdade de Ciências Exatas e Naturais, Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, Mossoró, 2015.

SILVEIRA, I. M. DE M; CARVALHO, R. G. de. Microclima e conforto térmico na área da Mata da Bica, no município de Portalegre/RN. **Revista Brasileira de Geografia Física**, vol. 09, n. 01, p. 062-078, 2016.

SOUZA NETO, L. T. de. **Identificação e análise das unidades geocológicas da paisagem do município de Portalegre/RN**. 2015. 139 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Naturais) – Faculdade de Ciências Exatas e Naturais, Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, Mossoró, 2015.

SOUZA NETO, L. T. de; GRIGIO, A. M; CARVALHO, R. G. de. A representação gráfica dos padrões de uso e ocupação do solo em Portalegre (RN). In: CARVALHO, R. G; MEDEIROS, S. R. M. (Org.). **Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável na Região Serrana de Portalegre e Martins, Rio Grande do Norte**. Mossoró: UERN, 2016. p. 94-117.

VELOSSO, A. L; SAMPAIO, E. V. S. B; PAREYN, F. G. C. **Ecorregiões – propostas para o Bioma Caatinga**. Recife: Associação Plantas do Nordeste; Instituto de Conservação Ambiental The Nature Conservancy do Brasil, 2002. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/estruturas/203/\\_arquivos/ecorregioes\\_site\\_203.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/203/_arquivos/ecorregioes_site_203.pdf)>. Acesso em: 12 abr. 2016.

VIANA, F. C; NASCIMENTO, M. A. L. do. O turismo de natureza como atrativo turístico do município de Portalegre, Rio Grande do Norte. **Pesquisas em Turismo e Paisagens Cársticas**, Campinas, vol. 2, n. 1, SeTur/SBE, p. 79-96, 2009.

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**, vol. 24, n. 11, p. 2345-2364, 2003.

WEISS, J. L. *et al.* Long-term vegetation monitoring with NDVI in a diverse semi-arid setting, central New Mexico, USA. **Journal of Arid Environments**, vol. 58, p. 249–272, 2004.

## APÊNDICE A – FICHA DE CAMPO

	<p>Universidade do Estado do Rio Grande do Norte – UERN          Faculdade De Ciências Exatas e Naturais – FANAT          Programa de Pós-Graduação em Ciências Naturais – PPCN          Mestrado em Ciências Naturais – MCN</p>					
<b>FICHA DE CAMPO</b>						
<b>Data</b>	<b>Nº do Ponto</b>	<b>Nº da Foto</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>	<b>Altitude</b>	<b>Município</b>
/ /						
<b>Caracterização Geral da Paisagem local</b>						
	Relevo Plano		Relevo Declivoso		Tipo de solo	Solo exposto
	Área Urbana		Área Rural		Agricultura Permanente	Agricultura Temporária
	Afloramento rochoso		Riacho		Açude/Lagoa	Área de Nascente
Obs.:						
<b>Características da Cobertura Vegetal</b>						
	Arbórea		Arbórea-Arbustiva		Arbustivo-Arbórea	Arbustiva
	Ciliar		Rala/Aberta		Densa/Fechada	
	Perenifólia		Semidecídua		Decídua	
Obs.:						