



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS APLICADAS E EDUCAÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E MEIO AMBIENTE
BACHARELADO EM ECOLOGIA

FABIANA SILVA DE LIMA

**ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DA COBERTURA VEGETAL NA ÁREA DE
PROTEÇÃO AMBIENTAL (APA) DO CARIRI-PB**



Rio Tinto-PB

2016

FABIANA SILVA DE LIMA

**ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DA COBERTURA VEGETAL NA ÁREA DE
PROTEÇÃO AMBIENTAL (APA) DO CARIRI-PB**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia e Meio Ambiente da Universidade Federal da Paraíba, em cumprimento aos requisitos necessários para obtenção do grau de Bacharel em Ecologia.

Orientadora: Prof^a. Dr^a Nadjacleia Vilar Almeida

**Rio Tinto-PB
2016**

L732a Lima, Fabiana Silva de.

Análise espaço-temporal da cobertura vegetal na Área de Proteção Ambiental (APA) do Cariri-PB. / Fabiana Silva de Lima. – Rio Tinto: [s.n.], 2016.

85 f. : il.

Orientador (a): Profa. Dra. Nadjacleia Vilar Almeida.

Monografia (Graduação) – UFPB/CCAÉ.

1. Sensoriamento remoto. 2. Vegetação. 3. Área de Proteção Ambiental.

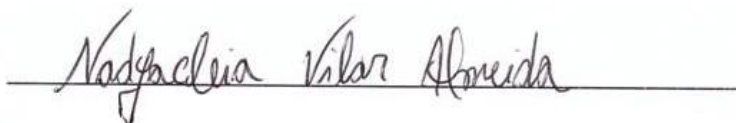
FABIANA SILVA DE LIMA

**ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DA COBERTURA VEGETAL NA ÁREA DE
PROTEÇÃO AMBIENTAL (APA) DO CARIRI-PB**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia e Meio Ambiente da Universidade Federal da Paraíba, em cumprimento aos requisitos necessários para obtenção do grau de Bacharel em Ecologia.


Aprovada em 23 de Maio de 2016

BANCA EXAMINADORA:



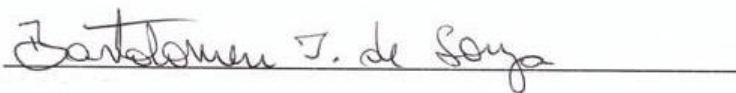
Prof^a Dr^a Nadjacleia Vilar Almeida - DEMA/CCAUE/UFPB

Orientadora



Prof. M Sc. Leonardo Figueiredo de Meneses - DEMA/CCAUE/UFPB

Examinador Interno



Prof. Dr. Bartolomeu Israel de Souza - DGEOC/CCEN/UFPB

Examinador Externo

Rio Tinto-PB

2016

*A todos que plantam...
A todos que sonham...
Que cultivam o desejo de viver num mundo cada vez mais vivo...
Mais verde... Repleto de cores... E de flores...*

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Ao Criador, porque sem Ele, simplesmente nada teria o menor significado, nem mesmo o simples respirar teria algum sentido. Agradeço pelos momentos de aflição, ou não, em que Sua presença era inquestionável. Pela proteção, conforto e pela oportunidade de poder estar finalizando este ciclo. A Ele dedico toda e qualquer vitória.

A todos os anjos que Ele colocou em meu caminho que se apresentam na forma de pessoas amadas, que acreditaram em mim, mesmo quando nem eu mesma acreditava, que oraram por mim e que muito me ajudaram (direta ou indiretamente) das mais diversas formas;

A minha orientadora, professora Nadjacleia Vilar Almeida por ter me acolhido, pela orientação, obrigada pela confiança, paciência, pelos ensinamentos e por toda a dedicação desprendida à pesquisa, muito obrigada;

Ao professor Leonardo Figueiredo de Meneses, pela amizade e apoio constantes, pelos ensinamentos, pela troca de experiências e confiança. Obrigada por ter me guiado nos primeiros passos dessa jornada. Agradeço pela oportunidade de ter participado do seu projeto de extensão como bolsista;

A Elisabete Barbosa e Verônica Maria (irmãs de coração) obrigada pela rica amizade que fomos tecendo ao longo desses quatro anos de curso (e que eu espero levar para o resto da vida), obrigada pelos momentos inesquecíveis felizes, e outros nem tanto, em que fomos companheiras e cúmplices;

A Carla Borba pelo companheirismo e amizade de sempre;

A todos os professores do curso de Bacharelado em Ecologia, que muito contribuíram para minha formação acadêmica, em especial a Adriane Wandeness, Zelma Glebya, Elaine Folly, Antônio Christian, Frederico França e Ronaldo Bastos;

Ao professor Rubens Teixeira de Queiroz (UFPB/DSE), a Rony Lopes Longuinho, a Eini Celly e a Joseilson Ramos por toda ajuda e colaboração em um dos trabalhos de campo;

Aos professores e estagiários do Laboratório de Análises Geoambientais (LAGeo), em especial ao professor Lincoln Eloi de Araújo pela ajuda com os dados pluviométricos da minha área de estudo;

A todas as meninas, e menino, do Laboratório de Cartografia e Geoprocessamento (LCG) que tão gentilmente me receberam;

A Jonas Fernandes, pela paciência, atenção e por sempre estar disposto a ajudar.

Agradeço a todos que de alguma forma estiveram presentes em qualquer das etapas do trabalho.

A todos meus sinceros agradecimentos!

“Os jardineiros se reconhecerão entre si – porque sabem que na história de cada planta está o crescimento de toda a Terra”.

Paulo Coelho

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Processo de obtenção de imagens por sensoriamento remoto: interação entre o emissor (sol), satélite/sensor (receptor) e estação de recepção dos dados.....	26
Figura 2.	O espectro eletromagnético.....	26
Figura 3.	Curva média da vegetação fotossinteticamente ativa.....	28
Figura 4.	Imagens de uma porção do açude Epitácio Pessoa, Boqueirão-PB, captadas pelos sensores dos satélites: a) Landsat 8/OLI (18-06-2014) com resolução espacial de 30x30m; b) CBERS 2/CCD (06-04-2007) de 20x20m e; c) RapidEye/REIS (21-12-2012) com 5x5m de resolução espacial.....	31
Figura 5.	Localização da Área de Proteção Ambiental (APA) do Cariri.....	36
Figura 6.	Fluxograma dos procedimentos metodológicos adotados no estudo.....	40
Figura 7.	Imagem sintética bandas 6,5 e 4 do sensor <i>Operational Land Imager</i> – OLI.....	45
Figura 8.	a) Imagem OLI/Landsat 8 capturada em 20/06/2014 classificada; b) A mesma imagem após aplicação da técnica de pós-classificação.....	47
Figura 9.	Resultado da operação Medidas de Classes aplicada na imagem temática classificada (18/06/1990), a qual possibilita a quantificação em termos de área (km ²) das classes temáticas representadas em cada imagem.....	48
Figura 10.	Metodologia aplicada para o cruzamento dos mapas temáticos da cobertura vegetal.....	49
Figura 11.	Geologia da APA do Cariri-PB.....	52
Figura 12.	Relevo sombreado da APA do Cariri, Paraíba. a) imagem sombreada do relevo da APA; b) perfil topográfico do relevo nos transectos AB e CD (indicados em “a”).....	53
Figura 13.	Hipsometria da APA do Cariri-PB.....	54
Figura 14.	Declividade do relevo na APA do Cariri-PB.....	55
Figura 15.	Hidrografia da APA do Cariri-PB.....	57
Figura 16.	Espécies da caatinga em fase reprodutiva (frutificação) no município de	

	Cabaceiras-PB. a) <i>Erythroxylum</i> sp. b) <i>Sideroxylon</i> sp.....	58
Figura 17.	Cobertura da terra na Área de Proteção Ambiental do Cariri em 1990.....	61
Figura 18.	Cobertura da terra na Área de Proteção Ambiental do Cariri em 2002.....	62
Figura 19.	Chuvas acumuladas nos municípios de Boa Vista, Cabaceiras e São João do Cariri, sobre os quais se insere a APA do Cariri, abrangendo os meses de janeiro a dezembro de 2002.....	63
Figura 20.	Cobertura da terra na Área de Proteção Ambiental do Cariri em 2010.....	64
Figura 21.	Percentual das classes de cobertura da terra na área de estudo nos anos de 1990 a 2014.....	65
Figura 22.	Chuvas acumuladas nos municípios de Boa Vista, Cabaceiras e São João do Cariri, sobre os quais se insere a APA do Cariri, abrangendo os meses de janeiro a dezembro de 2014.....	66
Figura 23.	Cobertura da terra na Área de Proteção Ambiental do Cariri em 2014.....	67
Figura 24.	Área de caatinga densa localizada no entorno do afloramento rochoso Lajedo Salambaia, Cabaceiras-PB.....	68
Figura 25.	Plantio de palma forrageira (<i>Opuntia ficus-indica</i>) no Sítio Salambaia, Cabaceiras-PB.....	68
Figura 26.	a) e b) Áreas com solos desprovidos de vegetação próximas ao Sítio Salambaia, Cabaceiras-PB.....	69
Figura 27.	Chuvas acumuladas nos municípios de Boa Vista, Cabaceiras e São João do Cariri, sobre os quais se insere a APA do Cariri, abrangendo os meses de janeiro a dezembro de 2014.....	70
Figura 28.	Gráfico comparativo entre as classes de cobertura da terra para a área de estudo nos anos de 1990 a 2014.....	71
Figura 29.	Dinâmica da cobertura vegetal na APA do Cariri 1990-2002.....	73
Figura 30.	Dinâmica da cobertura vegetal na APA do Cariri 2002-2010.....	74
Figura 31.	Dinâmica da cobertura vegetal na APA do Cariri 2010-2014.....	75
Figura 32.	Gráfico comparativo entre as classes de situação da cobertura vegetal na área de estudo nos anos de 2002, 2010 e 2014.....	76

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.	Quantificação das áreas ocupadas pelas diferentes coberturas da terra em 1990, 2002, 2010 e 2014 na área de estudo.....	63
Tabela 2.	Quantificação das áreas ocupadas pelas classes de cobertura da terra em 1990-2002, 2002-2010 e 2010-2014 na área de estudo.....	73

QUADROS

Quadro 1.	Classificação dos sistemas sensores.....	29
Quadro 2.	Imagens de satélite utilizadas no estudo.....	38
Quadro 3.	Objetos e feições ambientais representados em composição colorida (falsa cor) 4 (B), 5 (G) e 6 (R) em imagem Landsat 8 e suas chaves de interpretação.....	44
Quadro 4.	Família, espécie, nome vulgar e bioma de ocorrência de alguns indivíduos representantes da flora na APA do Cariri observados nas proximidades do lajedo Salambaia, Cabaceiras-PB.....	58

ABREVIATURAS E SIGLAS

AESA/PB -	Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba
APA -	Área de Proteção Ambiental
CPRM -	Serviço Geológico Brasileiro
DGI -	Divisão de Geração de Imagens
ETM -	<i>Enhanced Thematic Mapper</i>
GPS -	<i>Global Positioning System</i> (Sistema de Posicionamento Global)
IBAMA -	Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE -	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE -	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LANDSAT -	<i>Land Satellite</i>
MAXVER -	Máxima Verossimilhança
MDE -	Modelo Digital de Elevação
MMA -	Ministério do Meio Ambiente
NASA -	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
ND -	Número Digital
NDVI -	<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>
OLI -	<i>Operational Land Imager</i>
PDI -	Processamento Digital de Imagem
REM -	Radiação Eletromagnética
RGB -	<i>Red Green Blue</i>
SAVI -	<i>Soil Adjusted Vegetation Index</i>
SIG -	Sistema de Informações Geográficas
SPRING -	Sistema para Processamento de Informações Georreferenciadas
SR -	Sensoriamento Remoto
SRTM -	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
SUDEMA -	Superintendência de Administração do Meio Ambiente
SUDENE -	Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste
TM -	<i>Thematic Mapper</i>
UC -	Unidade de Conservação
USGS -	<i>United States Geological Survey</i> (Serviço Geológico dos Estados Unidos)
UTM -	<i>Universal Transversa de Mercator</i>

SUMÁRIO

	Pag.
AGRADECIMENTOS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE TABELAS	xi
QUADROS	xii
ABREVIATURAS E SIGLAS	xiii
RESUMO	xvi
ABSTRACT	xvii
1 INTRODUÇÃO	18
2 OBJETIVOS	22
2.1 Geral.....	22
2.2 Específicos.....	22
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	23
3.1 Sensoriamento Remoto.....	24
3.1.1 Comportamento Espectral da Vegetação.....	27
3.1.2 Sensores Remotos.....	29
3.1.2.1 Resolução das Imagens Obtidas por Sensores Remotos.....	30
3.2 Processamento Digital de Imagens - PDI.....	32
3.2.1 Pré-Processamento.....	32
3.2.2 Realce de Imagens.....	33
3.2.3 Classificação Digital de Imagens.....	33
3.3 Contribuição do Sensoriamento Remoto em Estudos em Ambientes de Caatinga.....	34
4 MATERIAL E MÉTODOS	36
4.1 Localização da área de estudo.....	36
4.2 Material.....	38
4.3 Metodologia.....	40
4.3.1 Etapa de Escritório.....	41
4.3.1.1 Aquisição.....	41
4.3.1.2 Pré-processamento.....	42
4.3.1.3 Procedimentos aplicados para interpretação e classificação das imagens.....	43

4.3.1.4	Classificação Supervisionada MAXVER (<i>Máxima Verossimilhança</i>).....	44
4.3.2	Etapa de Campo.....	47
4.3.3	Quantificação das áreas com cobertura vegetal no período 1990-2014.....	47
4.3.4	Cruzamento dos mapas temáticos para diagnosticar a situação da cobertura vegetal no período 2002-2014.....	48
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
5.1	Caracterização da área de estudo.....	51
5.2	Cobertura da terra 1990-2014.....	60
5.3	Dinâmica da cobertura vegetal na APA do Cariri-PB no período compreendido entre 1990-2014.....	72
6	CONCLUSÃO	77
	REFERÊNCIAS	79

RESUMO

O comportamento dinâmico da vegetação ao longo do tempo pode ser espacializado com auxílio de ferramentas de Geoprocessamento e técnicas de Sensoriamento Remoto ancoradas à utilização de imagens captadas por sensores remotos que possibilitam a análise multitemporal da vegetação bem como sua quantificação. A presente pesquisa objetivou analisar a dinâmica espacial da cobertura vegetal presente na APA do Cariri-PB no intervalo temporal de 24 anos. Utilizando-se para tal, imagens orbitais multitemporais capturadas pelos sensores *Thematic Mapper* (18/06/1990 e 22/04/2010), *Enhanced Thematic Mapper* (13/07/2002) e *Operational Land Imager* (20/06/2014), acoplados aos satélites da série Landsat 5, 7 e 8, respectivamente. As imagens foram processadas segundo as etapas do Processamento Digital de Imagens (PDI). O método da classificação supervisionada com o algoritmo da Máxima Verossimilhança (MAXVER) possibilitou espacializar a dinâmica da vegetação no período analisado (1990-2014). Os principais resultados mostraram que em 1990 a vegetação densa recobria 31,4 km² (19,92%) da APA, sendo registrada, no mapeamento seguinte (2002), uma redução significativa das áreas cobertas por essa classe apresentando 8,35 km² (5,3%). Em 2010, período posterior à transformação da área em uma UC, foi registrado um decréscimo da classe solo exposto (8,9%) e aumento das classes caatinga densa (17,3%) e semidensa (34,11%). Em 2014 houve redução das classes caatinga densa (7,14%) e aberta (27,28%) enquanto as áreas com solo exposto aumentaram, com 47,91 km² (30,39%). Conclui-se que a cobertura vegetal da APA foi reduzida ao longo do período analisado e que a vegetação da caatinga tem relações significativas com os fatores físicos (precipitações e relevo) os quais influenciam na distribuição espacial e temporal da vegetação.

Palavras-chave: Caatinga, Cobertura da terra, Semiárido, Sensoriamento Remoto.

ABSTRACT

The dynamic behavior of the vegetation over time can be spatialised with the help of Geoprocessing tools and Remote Sensing techniques anchored to the use of images captured by remote sensors, which enables the multi-temporal analysis of vegetation and its quantification. This study aimed to analyze the spatial dynamics of the vegetation present in Cariri's E.P.A., in Paraíba – In the hiatus of 24 years. For this purpose, we used multi-temporal satellite images captured by the Thematic Mapper sensors (June 18th, 1990 and April 22nd, 2010), Enhanced Thematic Mapper (July 13th, 2002) and Operational Land Imager (June 20th 2014) Landsat satellite linked to the Landsat series 5, 7 and 8, respectively. The images were processed according to the steps of the Digital Image Processing (D.I.P.). The method of supervised classification with the algorithm Maximum Likelihood (MAXVER) allowed us to spatialise the vegetation dynamics in the period analyzed (1990-2014). The main results showed that in 1990 the dense vegetation icicles 31,4Km² (19.92%) of the Environment Protection Area (E. P. A.), and we registered in the following mapping (2002), a significant reduction of the areas covered by this class: 8,35Km² (5.3 %). In 2010, after the transformation of the area into a Conservation Unit, it was recorded a decrease of the exposed soil class (8.9%) and an increase in dense Caatinga classes (17.3%) and semidense (34.11%). In 2014 there was a reduction of dense Caatinga classes (7.14%) and open Caatinga classes (27.28%), while the areas with bare soil increased with 47,91Km² (30.39%). We conclude that the vegetation of the E.P.A. was reduced over the reporting period and the vegetation of the Caatinga area has significant connexions with the physical factors (rainfall and relief) which influence the spatial and temporal distribution of vegetation.

Keywords: Caatinga, Land cover, Semi-Arid, Remote Sensing.

1 INTRODUÇÃO

A paisagem natural resulta de uma combinação dinâmica de diversos componentes ou conjuntos naturais (clima, relevo, hidrografia, cobertura vegetal, etc.). Uma intrincada rede de interações entre esses conjuntos formam a paisagem e sua estrutura influencia as relações ecológicas determinando as condições naturais do ambiente, o qual, “comporta-se como um sistema complexo com múltiplos componentes inter-relacionados (LIESENBERG & PONZONI, 2003, p. 1863)”.

Neste cenário, Bastos & Cordeiro (2012), afirmam que a vegetação representa a resposta última do complexo jogo de interações entre os demais componentes naturais de uma paisagem, podendo ser compreendida como o tipo de cobertura da terra mais abrangente e frequente, a qual é responsável por expressar interações significativas com os fatores bióticos e abióticos do meio.

Cabe à cobertura vegetal um papel importante na estrutura da paisagem, uma vez que representa a principal defesa da unidade da paisagem contra os efeitos dos processos modificadores das formas de relevo (erosão); protege os solos da ação direta das gotas de chuva que promovem a desagregação das partículas; impede a compactação e aumenta a capacidade de infiltração do solo pela água da chuva; suporta a vida silvestre (CREPANI *et al.*, 2001) e; tem influência direta nas interações ecológicas do ecossistema e na manutenção do equilíbrio dinâmico do ambiente.

No semiárido, onde as paisagens caracterizam-se por apresentar uma vegetação caducifólia, má distribuição das chuvas no tempo e no espaço, baixos índices pluviométricos associados a prolongados períodos de estiagem, temperaturas elevadas, presença de solos rasos e pedregosos e rios intermitentes, o papel de proteção desempenhado pela vegetação torna-se ainda mais imprescindível dada as condições ecológicas da região.

Nesse contexto, a vegetação xerófila, de fisionomia e florística variadas, que tem mantido desde o período colonial a denominação indígena de “caatinga” (RODAL *et al.*, 2013), é o manto que recobre os solos das paisagens no perímetro semiárido do Nordeste brasileiro, compreendendo matas secas, abertas, decíduais, que se desenvolvem em clima cuja a estação de chuvas é bem marcada e cujo volume anual de pluviosidade está abaixo de 700 mm (CONTI & FURLAN, 2000). O termo “caatinga” é de origem Tupi-Guarani e significa “floresta branca”, que caracteriza o aspecto da vegetação na estação seca, quando as folhas caem e apenas os troncos brancos e brilhosos das árvores e arbustos dominam a paisagem seca (PRADO, 2003, p. 3).

De modo geral, a caatinga é caracterizada por um tipo de vegetação xeromorfa, composta por florestas de porte baixo, com dossel¹ geralmente descontínuo, folhagem decídua na estação seca e árvores e arbustos comumente armados com espinhos ou acúleos (COE *et al.*, 2015).

Seus ecossistemas apresentam fauna e flora únicas, formada por uma vasta biodiversidade, rica em recursos genéticos e de vegetação constituída por espécies lenhosas, herbáceas, cactáceas e bromeliáceas (FRANCA-ROCHA *et al.*, 2007). Bastos & Cordeiro (2012, p. 9), afirmam que “dentro dos domínios morfoclimáticos brasileiros a caatinga é o que apresenta a maior variedade fitogeográfica com vários padrões de caatingas, núcleos de matas úmidas, cerrados e de matas ciliares”.

Souza (2008), afirma que a diversidade encontrada no domínio da caatinga é o resultado da variedade de ambientes em relação aos solos, a geomorfologia, a geologia e as mudanças de pluviosidade (no seu total e na sua distribuição espacial).

Todavia, não diferente do que ocorre a outras tipologias vegetais de outros biomas do país, as caatingas, devido à forma de exploração não sustentável e indiscriminada dos seus recursos, sobretudo a subtração da cobertura vegetal sem considerar sua fragilidade natural, para a retirada de lenha ou para implantação de culturas agropastoris, vem sendo a muito submetida a um crescente processo de degradação ou substituição de suas paisagens naturais.

Tendo por base que a vegetação, devido suas características intrínsecas, é um dos parâmetros que primeiro responde as alterações no seu ambiente, as mudanças na cobertura vegetal natural são reconhecíveis na paisagem e na maioria das vezes são reflexos de uma alteração ambiental. O grau de alteração da vegetação, por sua vez, bem como os usos inadequados propiciam a ocorrência do processo de desertificação o qual vem ameaçando a estabilidade de ecossistemas e de populações que vivem nas terras semiáridas no Nordeste brasileiro.

A extração indiscriminada da cobertura vegetal nativa associada às fragilidades naturais da região juntamente com a carência de informações por parte da população potencializa a ocorrência desse processo.

Tendo em vista essas questões e partindo da premissa que a vegetação é um indicador da qualidade do ambiente, a análise e o monitoramento das alterações na vegetação são fundamentais para a aquisição de informações que permitam um melhor entendimento da

¹ Termo atribuído ao conjunto de plantas de uma mesma fisionomia distribuídas sobre a superfície terrestre (PONZONI & SHIMABUKURO, 2007, p.11).

dinâmica ambiental de uma área. Tal monitoramento é embasado na necessidade de análise dos recursos vegetais, contribuindo para o acompanhamento temporal e a obtenção de informações pertinentes quanto à distribuição dos tipos de vegetação, a fenologia², a estrutura do dossel, as condições de estresse e as mudanças de uso do solo (FORMIGONI *et al.*, 2011).

Nesse sentido, configura-se de fundamental importância pesquisas que visem identificar alterações na dinâmica da cobertura vegetal e uso do solo em áreas de caatinga, no intuito de levantar informações que possam auxiliar nas ações de combate a desertificação na região, uma vez que os ambientes de caatinga são ainda fontes de informações desconhecidas e encontram-se ameaçados por esse processo.

Partindo deste pressuposto, as geotecnologias permitem a obtenção de informações que ajudam a compreender a evolução do quadro atual, a monitorar e a estimar a expansão das alterações no meio, através da coleta, armazenamento e análise de dados. Os dados em questão possuem uma referência geográfica que permite uma correlação com o real no terreno e conseqüentemente uma melhor extração de informações que auxiliam na tomada de decisão.

A utilização integrada de técnicas de sensoriamento remoto, especificamente as técnicas de Tratamento Digital de Imagens, com as ferramentas e as metodologias disponibilizadas pelo Geoprocessamento e pelo Sistema de Informações Geográficas (SIG) no que se refere à espacialização de informações, viabilizam estudos espaço-temporais de análise, classificação e mapeamento da dinâmica da cobertura vegetal e uso da terra em uma dada área. O uso das imagens captadas por sensores remotos constitui uma ferramenta viável para fins de mapeamento e monitoramento de alterações no ambiente porque permite uma visão repetitiva e holística da paisagem.

No caso de regiões semiáridas, Maldonado, Santos & Carvalho (2001), afirmam que as condições climáticas, edáficas e de degradação da paisagem tem importante influência na resposta espectro-textural da cobertura e uso do solo, quando observados em dados obtidos por sensores remotos.

Nessa perspectiva, o presente trabalho faz uso das geotecnologias buscando contribuir à análise e o monitoramento dos ambientes semiáridos, objetiva analisar a dinâmica espaço-temporal da vegetação de uma Unidade de Conservação (UC), a Área de Proteção Ambiental (APA) do Cariri, localizada no semiárido paraibano. Parte-se do pressuposto que a cobertura vegetal é um indicador da qualidade da paisagem e um dos principais indicadores

² Ritmo dos eventos periódicos da história de vida das plantas, como a iniciação do crescimento, o florescimento e a dormência.

para avaliar a ocorrência do processo de desertificação, sendo o seu monitoramento de fundamental importância para a manutenção e equilíbrio do ecossistema da caatinga.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

- Analisar a dinâmica espaço-temporal da cobertura vegetal presente na APA do Cariri, semiárido da Paraíba, no período de 1990 a 2014.

2.2 Específicos

- Caracterizar a APA do Cariri-PB quanto aos seus principais aspectos naturais;
- Identificar e mapear as classes de cobertura vegetal presentes na área por meio da análise do comportamento espectral dos alvos;
- Avaliar a dinâmica espacial da vegetação nos anos de 1990 e 2002, momento anterior à transformação da área em uma UC;
- Avaliar a dinâmica espacial da vegetação no ano de 2010, momento posterior à transformação da área em uma UC;
- Comparar os resultados encontrados nos anos analisados com o estado atual em que se encontra o recobrimento vegetal desta APA;

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Em função de suas características, os ecossistemas da caatinga são importantes unidades geográficas que se apresentam sob peculiaridades ambientais, variabilidade de habitats e endemismos nos diferentes níveis os quais necessitam de estudos visando o manejo sustentável e a conservação dos recursos naturais (LEAL *et al.*, 2005). Estudos apontam que os ecossistemas da caatinga são altamente diversificados ricos em biodiversidade e de grande importância ecológica.

No que se refere ao bioma, a Caatinga é o único que se situa totalmente dentro dos limites territoriais brasileiros (PIMENTEL & GUERRA, 2009), o qual, segundo Carvalho & Freitas (2005), caracteriza-se por apresentar grande diversidade de paisagens. No entanto, a caatinga tem sido bastante modificada pelo homem (CASTTELETTI *et al.*, 2003).

No tocante aos seus recursos naturais, Leal, Tabarelli & Silva (2003), afirmam que a Caatinga continua passando por um extenso processo de alteração e deterioração ambiental provocado pelo uso insustentável dos recursos, o que está levando à rápida perda de espécies únicas, à eliminação de processos ecológicos chave e à formação de extensos núcleos de desertificação em vários setores da região. Dessa forma, torna-se cada vez mais importante conhecer e estudar a dinâmica no tempo e no espaço da caatinga no intuito de proteger esses ambientes.

Quanto à conservação da vegetação desse bioma, de acordo com Pereira *et al.* (2009) a efetivação de um estudo realizado em 1990 pelo PNUD/FAO/IBAMA quantificou que em 1984 havia cerca de 65% de área de remanescentes da vegetação nativa e em 1990 esse percentual foi reduzido para 41,5%, a partir de dados do RADAMBRASIL. A tendência obtida com estas estimativas, segundo Franca-Rocha *et al.* (2007), apontava uma perda de cobertura vegetal na caatinga da ordem de 500 mil hectares por ano.

Segundo o relatório do MMA/IBAMA (2010), que objetivou o monitoramento e mapeamento de áreas desmatadas no bioma Caatinga entre 2002 e 2008, a área dos remanescentes de vegetação da Caatinga, com referência à área total do bioma, em 2002 era de 55,67% e, em 2008, foi diminuída para 53,62%. Ainda segundo o relatório, no tocante ao desmatamento, a Caatinga teve sua cobertura vegetal nativa suprimida, entre 2002 e 2008, em 16.576 km², o que representa uma taxa anual média de aproximadamente 2.763 km²/ano, ou seja, a caatinga perdeu em média 0,33% de sua cobertura vegetal nativa por ano no período analisado.

De acordo com o relatório do Programa Estadual de Combate à Desertificação (PAE-PB/2011), 36,5% da área total da caatinga paraibana, apresenta um alto risco de ocorrência do processo de desertificação: isso representa aproximadamente 18.000 km² de vegetação da caatinga.

Segundo Chaves *et al.* (2013), no domínio do semiárido, estudos da vegetação e uso da terra vêm sendo desenvolvidos com o objetivo de se obter informações a partir de imagens de satélite e outros produtos de sensoriamento remoto, em busca de facilitar a análise e interpretação dos dados de superfície. Nesse contexto, o uso das geotecnologias, especialmente as relacionadas ao sensoriamento remoto orbital, associadas às técnicas do geoprocessamento, viabilizam o estudo e o monitoramento das mudanças na cobertura vegetal e uso da terra.

O termo geotecnologias reporta-se às tecnologias que se fazem necessárias à realização de análises espaciais as quais, não estão apenas relacionadas aos estudos ambientais de análise e monitoramento de recursos naturais terrestres, como os tornam viáveis. As geotecnologias são o conjunto de tecnologias para coleta, processamento, análise e oferta de informações com referência geográfica (ROSA, 2005).

O termo engloba as tecnologias dedicadas ao Geoprocessamento, o qual é definido por Câmara & Davis (2001, p. 01) como sendo “a disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica (...)”, como os Sistemas de Informação Geográficas (SIG ou GIS, sigla em inglês) – considerados as ferramentas computacionais para o Geoprocessamento (*op. cit.*, 2001), o Sensoriamento Remoto (SR) – é a ciência e a arte de se obter informações sobre objetos ou fenômenos a partir de dados coletados sem o contato físico com tais objetos (JENSEN, 2009) e o Processamento Digital de Imagens.

3.1 Sensoriamento Remoto

Os sistemas de sensoriamento remoto possuem a capacidade de fazer o registro de dados da superfície e também da dinâmica da paisagem, firmando-se cada vez mais como uma eficiente ferramenta para controle e análise de recursos naturais em geral (FLORENZANO, 2011).

Segundo Furlan (2012), a tecnologia do sensoriamento remoto por satélite disponibiliza ao usuário dados consistentes da condição da paisagem, o que permite a

detecção de mudanças de origem natural ou antrópica, sendo esta detecção e a caracterização das mudanças, a chave para o monitoramento da dinâmica da paisagem.

O termo sensoriamento refere-se à obtenção de dados por meio de sensores, e remoto, que significa distante, é utilizado porque a obtenção é feita sem que haja contato físico entre o sensor e a superfície terrestre, ou seja, à distância (FLORENZANO, 2011). De acordo com esta autora (2011, p. 9), “sensoriamento remoto é a tecnologia que permite obter imagens – e outros tipos de dados – da superfície terrestre, por meio da captação e do registro da energia refletida ou emitida pela superfície”.

Novo (2010, p. 28), define Sensoriamento Remoto:

Como sendo a utilização conjunta de sensores, equipamentos para processamento de dados, equipamentos de transmissão de dados colocados a bordo de aeronaves, espaçonaves, ou outras plataformas, com o objetivo de estudar eventos, fenômenos e processos que ocorrem na superfície do planeta Terra a partir do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias que o compõem em suas mais diversas manifestações.

A energia utilizada no sensoriamento remoto é a radiação eletromagnética (REM), que se propaga em forma de ondas eletromagnéticas à velocidade da luz (300.000 km/s). “O Sol”, além de ser a principal fonte de energia que propicia a manutenção da vida na Terra, “é a principal fonte de radiação eletromagnética utilizada no estudo dos recursos naturais mediante a aplicação das técnicas de sensoriamento remoto (PONZONI, SHIMABUKURO & KUPPLICH, 2012, p.18)”, a qual incide na superfície e assim possibilita a aquisição dos dados dessa natureza.

Parte da energia incidente é refletida, parte é emitida e outra absorvida. A energia refletida ou emitida pela superfície terrestre e captada por sensores instalados em satélites artificiais, é transformada em sinais elétricos, que são registrados e transmitidos para estações de recepção na Terra (Figura 1), onde são transformados em dados na forma de gráficos, tabelas ou imagens (FLORENZANO, 2011).

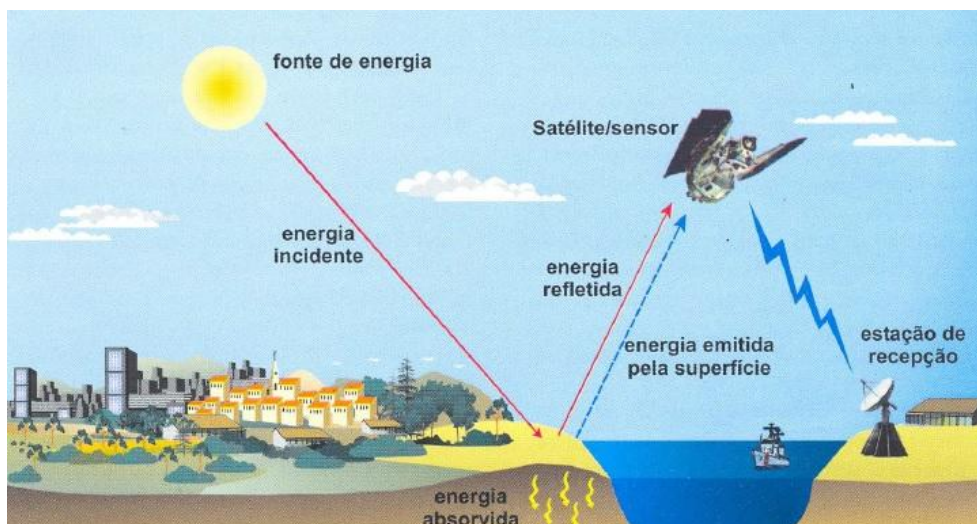


Figura 1. Processo de obtenção de imagens por sensoriamento remoto: interação entre o sol (emissor), satélite/sensor (receptor) e estação de recepção dos dados. Fonte: Florenzano (2011, p. 09).

A radiação eletromagnética pode ser ordenada de maneira contínua em função de seu comprimento de onda (λ) ou de sua frequência, sendo esta disposição denominada de espectro eletromagnético (MORAES, 2002).

Florenzano (2011, p. 11), afirma que “o espectro eletromagnético (Figura 2) representa a distribuição da radiação eletromagnética, por regiões, segundo o comprimento de onda e a frequência”. Na região do espectro visível, o olho humano enxerga a energia (luz) eletromagnética, sendo capaz de distinguir as cores do violeta ao vermelho. A radiação do infravermelho é subdividida em três regiões: infravermelho próximo (0,7-1,3 μm), médio (1,3-6,0 μm) e distante ou termal (6,0-1,000 μm) (*op. cit.*).

As regiões do espectro correspondentes às faixas do visível (0,4 a 0,72 μm), que recebe esse nome em função de agrupar o conjunto de cores que são visíveis ao olho nu (CENTENO, 2004), azul (0,45-0,50 μm), verde (0,50-0,54 μm) e vermelho (0,65-0,72 μm); e infravermelho, são as mais utilizadas no sensoriamento remoto da superfície.

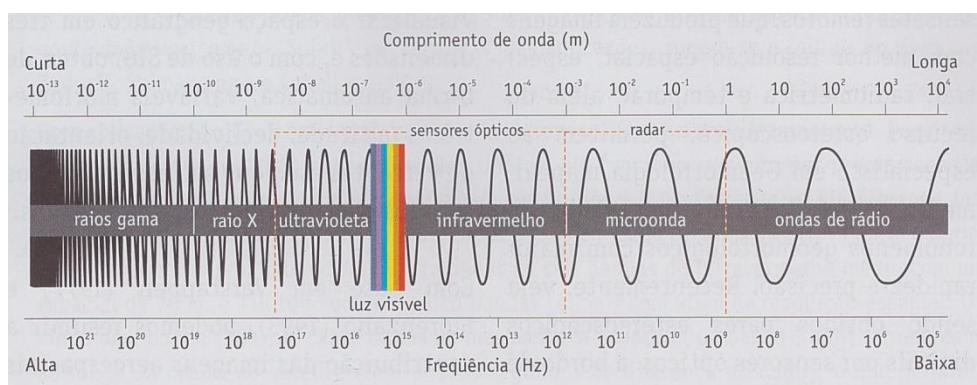


Figura 2. O espectro eletromagnético. Fonte: Florenzano (2007) *apud* Florenzano (2008, p.33).

Nesse sentido, o espectro eletromagnético é um instrumento amplamente utilizado no sensoriamento remoto para o estudo do comportamento espectral dos diferentes objetos da superfície imageados remotamente, uma vez que a resposta espectral destes à radiação da luz incidente dá-se de maneira única nas diferentes regiões do espectro.

3.1.1 Comportamento Espectral da Vegetação

Para extrair informações a partir de dados de sensoriamento remoto, é fundamental o conhecimento do comportamento espectral dos objetos da superfície e dos fatores que interferem neste comportamento (NOVO, 2010).

Os alvos ou objetos superficiais, como a vegetação e o solo, interagem espectralmente de maneira diferenciada com a radiação da luz incidente, apresentando uma distribuição da radiação refletida, emitida e absorvida que os diferencia entre os outros alvos e que varia com o comprimento de onda do espectro. Esses alvos “refletem diferentes proporções de energia nas porções do espectro eletromagnético do azul, do verde, do vermelho e do infravermelho próximo (JENSEN, 2009, p.134)”.

Na análise de imagens orbitais, faz-se necessária a observação das variações da energia refletida pelos objetos nas várias bandas espectrais disponibilizadas pelo sensor remoto utilizado. Esta diferença é determinada, sobretudo, pelas propriedades físicas, químicas e biológicas particulares a cada alvo.

As variações de reflectância, que podem ser representadas por curvas espectrais, permitem a distinção e o reconhecimento dos diferentes objetos da superfície nas imagens sensoriais, nas quais, segundo Florenzano (2011) e Meneses (2012a), a representação dos objetos dá-se em níveis de cinza, onde os valores de cinza claros (tendendo ao branco) representam alvos com alta reflectância espectral (refletem muita energia) e os valores de cinza escuros (tendendo ao preto) representam alvos com baixa reflectância (refletem pouca energia, pois há uma grande absorção).

A curva espectral média da vegetação fotossinteticamente ativa (Figura 3) pode ser descrita em três regiões espectrais (visível, infravermelho próximo e infravermelho médio), em função dos fatores que condicionam seu comportamento.

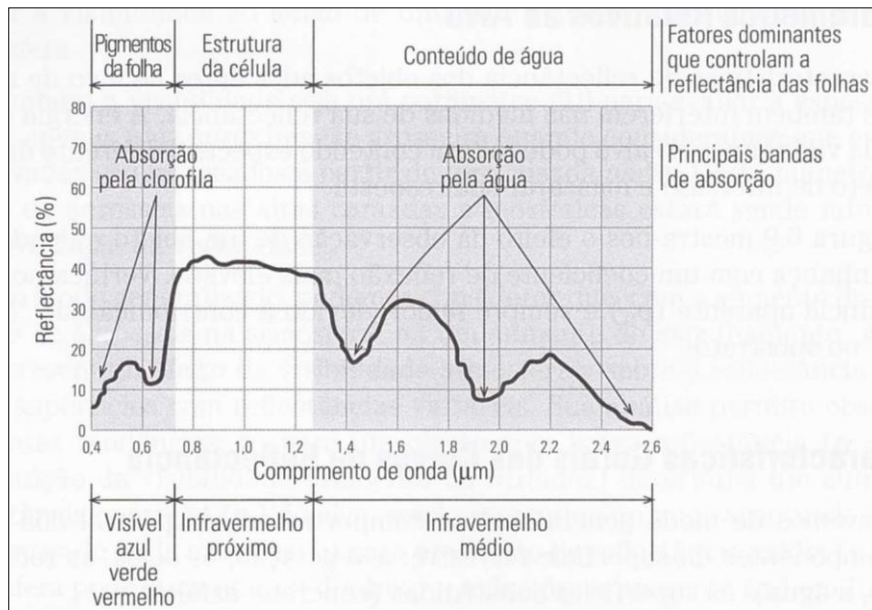


Figura 3. Curva média da vegetação fotossinteticamente ativa.
 Fonte: Araújo (1999) *apud* Novo (2010, p. 256).

Na **região do espectro visível** (0,4 μm a 0,72 μm) os pigmentos existentes nas folhas dominam a reflectância e definem a forma da curva dos fatores de reflectância nessa região espectral (PONZONI, SHIMABUKURO & KUPLICH, 2012); a reflectância é baixa dominando a absorção da radiação incidente pelos pigmentos da planta: em torno de 0,48 μm os carotenos e xantofilas (amarelos) são responsáveis por uma banda de absorção (no azul) e em 0,62 μm (no vermelho) a energia é seletivamente absorvida pela clorofila e convertida fotoquimicamente em compostos orgânicos no processo da fotossíntese (PONZONI & SHIMABUKURO, 2007), configurando a segunda banda de absorção nessa região. Entre estes dois pontos de absorção, em 0,56 μm, correspondente a região da cor verde do espectro visível, há um pequeno aumento ou pico de reflectância responsável pela percepção da cor verde das plantas.

Na **região do infravermelho próximo** (de 0,7 μm a 1,3 μm) tem-se, de acordo com Novo (2010), a região dominada pela alta reflectância da vegetação, devido à interferência da estrutura celular interna (estrutura do mesofilo). “Nessa região ocorre absorção pequena da radiação e considerável espalhamento interno da radiação na folha (PONZONI, SHIMABUKURO & KUPLICH, 2012, p. 25)”.

Na região do **infravermelho médio** (1,3 μm e 2,5 μm), a reflectância da vegetação é dominada pelo conteúdo de água das folhas. Encontram-se dois máximos de absorção pela água, em 1,4 μm e 1,95 μm, a esta região correspondem também às bandas de absorção atmosférica (NOVO, 2010).

Embora as características supracitadas sejam fundamentais para o estudo da vegetação, elas referem-se à propriedades espectrais de folhas isoladas. Ponzoni & Shimabukuro (2007) afirmam que a aplicação das técnicas de sensoriamento remoto no estudo da vegetação inclui a necessidade de compreender o processo de interação entre a radiação eletromagnética e os diversos tipos fisionômicos de dosséis. Assim, alguns fatores devem ser considerados: aspectos relacionados a geometria de aquisição dos dados (ângulo de iluminação e posição do sensor), espalhamento interno da REM no interior da folha, parcela de solos não cobertas pelas plantas, etc.

O comportamento espectral da vegetação pode ser também afetado pela arquitetura do dossel vegetal e pelo tipo de substrato (NOVO, 2010).

As informações do comportamento espectral dos objetos são coletadas por um dispositivo (sensor) capaz de responder à radiação eletromagnética em determinada faixa do espectro, registrá-la e gerar um produto numa forma adequada para ser interpretada pelo usuário (ROSA, 2005, p.83).

3.1.2 Sensores Remotos

Segundo Novo (2010), os sensores são equipamentos capazes de coletar energia proveniente do objeto, convertê-la em sinal passível de ser registrado e apresenta-lo de forma adequada para a extração de informações.

Os sistemas sensores podem ser classificados de diferentes maneiras (Quadro 1).

Quadro 1. Classificação dos sistemas sensores.

Quanto a	podem ser...	ou ...
energia radiante	ativos	passivos
tipo de produto gerado	Imageadores	não imageadores
faixa espectral utilizada	radiação refletida	radiação emitida (termais)

Fonte: Centeno (2004, p. 42).

Os sensores ativos e passivos recebem tal denominação devido à capacidade ou não do sistema sensor emitir energia radiante própria para interagir com os objetos da superfície, aquele que emite energia é chamado ativo e passivo aquele que não o faz. Os sensores passivos, também chamados sensores ópticos, detectam a radiação refletida ou emitida pelos objetos, dependendo de uma fonte de radiação externa (refletida pelo Sol ou emitida pela Terra) para que possam gerar informação sobre os alvos.

Segundo Florenzano (2011) os sensores ativos levam vantagem em relação aos sensores ópticos uma vez que não dependem de fonte externa de energia e podem operar durante o dia e/ou à noite sob qualquer condição meteorológica (tempo nublado e com chuva), enquanto que para os sensores passivos, à ausência de luz (à noite) e a cobertura de nuvens limita a obtenção de imagens. O radar ou qualquer câmara fotográfica com *flash* são exemplos de sensores ativos.

Os sistemas sensores podem ainda ser classificados como imageadores ou não imageadores, segundo a forma com a qual expressam os dados de REM coletados. De acordo com Novo (2010), um sistema imageador produz uma imagem bidimensional da superfície observada, sendo apto a produzir informações espaciais. Por outro lado, os sensores não imageadores efetuam apenas medições da intensidade da energia proveniente dos objetos e armazenam estes valores na forma de números, sem preservar nenhuma associação espacial entre as observações (CENTENO, 2004), ou seja, sem necessariamente produzir uma imagem do terreno. As sondas atmosféricas, os altímetros e os espectrômetros são exemplos de sensores não imageadores.

Quanto à natureza da energia pelo sensor registrada (a faixa espectral utilizada), estes podem ser: sensores de energia refletida e emitida. Os primeiros são projetados para medir a parcela da energia refletida pela superfície dos objetos. O espectro da energia refletida divide-se nas sub-regiões: visível, infravermelho próximo e médio. Os sensores que medem a intensidade da energia emitida pelo objeto (relacionada à temperatura do objeto) são conhecidos como sistemas termais e operam na região do infravermelho distante ou termal (CENTENO, 2004).

A utilização dos sensores remotos abre um leque de possibilidades, uma vez que permite, através das imagens por eles captadas, uma visão abrangente, “sinóptica (de conjunto) e multitemporal (em diferentes datas)” de uma área geográfica da superfície terrestre, de modo que revela as características e as modificações sofridas pela superfície ao longo do tempo.

3.1.2.1 Resolução das Imagens Obtidas por Sensores Remotos

Os produtos de sensoriamento remoto tem a capacidade de ampliar o horizonte de observação acerca de uma área geografia da superfície terrestre em função da resolução espacial, espectral, radiométrica e temporal do sistema sensor utilizado na coleta dos dados (imagem).

A capacidade que o sensor tem de discriminar objetos em função do tamanho destes é chamada resolução espacial (FLORENZANO, 2011), a qual determina a superfície mínima no terreno, equivale a um elemento de imagem (*picture element*) ou *pixel*, a ser distinguível por um sensor. A figura (4a e 4b) mostra imagens de três sensores com diferentes resoluções espaciais.

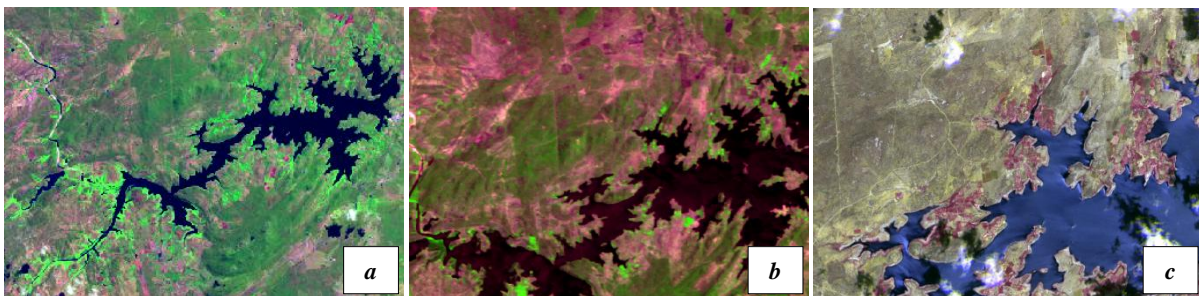


Figura 4. Imagens de uma porção do açude Epitácio Pessoa, Boqueirão-PB, captadas pelos sensores dos satélites: a) Landsat 8/OLI (18-06-2014) com resolução espacial de 30x30m; b) CBERS 2/CCD (06-04-2007) de 20x20m e; c) RapidEye/REIS (21-12-2012) com 5x5m de resolução espacial.

A resolução espectral refere-se ao número de faixas (bandas) imageadas no espectro eletromagnético e à largura em comprimento de onda das faixas espectrais nas quais opera o sensor.

O nível quantificado de tonalidades de cinza (ou intensidade de radiância) proveniente do alvo correspondente ao *pixel* da imagem é expresso pela resolução radiométrica. Jensen (2009) a define como a sensibilidade de um sensor de sensoriamento remoto a diferenças na potencia do sinal à medida que ele registra a fluxo radiante refletido, emitido ou retroespalhado pelo terreno. A radiância de cada *pixel* passa por uma codificação digital, obtendo um valor numérico expresso em termos de números de dígitos binários (*bits*), denominado de Número Digital (DN) (SCHOWENGERDT, 1983 *apud* SARAIVA, 2010). A título de exemplo, o sensor *Thematic Mapper* do satélite Landsat 5 registra os dados em 8 bits totalizando 256 níveis de cinza por banda numa escala que varia de 0 a 255 possibilidades de cinza (SANTOS, 2014) entre a ausência de energia e a saturação do sensor.

A resolução temporal por sua vez, refere-se ao mínimo intervalo de tempo que o sensor a bordo de um satélite revisita uma área da superfície e adquire imagens periódicas ao longo de sua vida útil. Por exemplo, os sensores do Landsat 5 e 8 recobrem uma mesma área a cada 16 dias.

3.2 Processamento Digital de Imagens - PDI

A identificação de objetos em imagens produzidas por sensores remotos mediante interpretação visual é eficaz quando o interesse é acessar as características geométricas e a aparência desses objetos (PONZONI & SHIMBUKURO, 2007).

No entanto, as imagens adquiridas por SR contém inúmeros erros inerentes ao processo de aquisição (NOVO, 2010). São muitas as interferências, degradações e distorções que constituem barreiras à análise e impossibilitam a extração de informações específicas das imagens “brutas” pelo nosso sistema visual.

Nesse sentido, o processamento digital de imagens (PDI) objetiva minimizar os erros do processo de aquisição das imagens de sensoriamento remoto. As etapas do PDI envolvem um conjunto de tarefas inter-relacionadas no processamento, no realce e na classificação digital de imagens, por meio de técnicas computacionais, utilizando-se de operações matemáticas para alterar os valores dos *pixels* da imagem, visando extração de informações sobre objetos da superfície terrestre.

De acordo com Ponzoni & Shimbukuro (2007), estão incluídas nas técnicas de processamento digital aquelas voltadas para o pré-processamento dos dados, para o realce visual e as técnicas de classificação digital.

3.2.1 Pré-Processamento

O pré-processamento refere-se ao conjunto de processamentos iniciais pelos quais passam os dados brutos, visando minimizar ao máximo suas distorções. De acordo com Meneses & Almeida (2012), as técnicas de pré-processamento são, essencialmente, funções operacionais para remover ou corrigir os erros e as distorções introduzidos nas imagens pelos sistemas sensores devido a erros instrumentais (ruídos), às interferências da atmosfera (erros radiométricos) e à geometria de imageamento (distorções geométricas).

O objetivo das técnicas de pré-processamento é “preparar” as imagens para serem utilizadas pelos usuários (PONZONI & SHIMABUKURO, 2007).

As técnicas de pré-processamento incluem a aplicação de algoritmos que visam corrigir imperfeições ou distorções geométricas e radiométricas. As distorções radiométricas alteram os níveis de cinza de cada elemento da imagem, enquanto que as distorções geométricas alteram a distribuição espacial dos elementos da imagem.

Assim, o pré-processamento consiste na calibração radiométrica da imagem, na correção de distorções geométricas e na remoção de ruídos introduzidos pelos sensores.

3.2.2 Realce de Imagens

As técnicas de realce têm por objetivo modificar, através de funções matemáticas, os níveis de cinza ou os valores digitais de uma imagem, de modo a destacar certas informações espectrais com fins de melhorar a qualidade visual, sob a percepção do olho humano, facilitando a análise posterior pelo fotointérprete (SANTOS, PELUZIO & SAITO, 2010).

De acordo com Meneses & Almeida (2012), a função básica dessas técnicas é preparar para o analista uma imagem de alto contraste visual, a fim de facilitar a interpretação da cena, explorar com melhores recursos toda a informação contida na imagem e extrair informações de interesse relacionando-as com parâmetros estatísticos, num processo que objetiva otimizar ao máximo a análise dos dados, em termos de eficiência, tempo e custo. Ainda segundo esses autores, os dados são trabalhados em função dos valores digitais de cada *pixel* individual (domínio espectral) ou em função dos conjuntos de pixels vizinhos (domínio espacial). Os resultados são novos arranjos de valores digitais representando melhoramentos na qualidade visual da imagem.

3.2.3 Classificação Digital de Imagens

Nos estudos de sensoriamento remoto que envolve o uso de imagens orbitais, a classificação de imagens é o processo de extração de informações para “reconhecer padrões e objetos homogêneos”, utilizado para mapear áreas da superfície que correspondem aos temas de interesse (INPE, 2016).

Por meio da classificação, de acordo com Centeno (2004), grupos de *pixels* com características espectrais similares são separados em categorias ou “classes” (água, vegetação, solo), agrupando em determinada classe os alvos/objetos que possuem padrões próximos de tonalidade e textura.

Para a efetiva realização da classificação digital de imagens, faz-se necessário o uso de classificadores ou algoritmos de classificação, os quais podem ser divididos em classificadores “*pixel a pixel*” e classificadores “por regiões”. Os classificadores *pixel a pixel* utilizam apenas a informação espectral de cada *pixel* isoladamente para definir regiões homogêneas e se fundamentam em métodos estatísticos ou em métodos determinísticos,

enquanto que os classificadores por região utilizam, além de informação espectral de cada *pixel*, a informação espacial que envolve a relação com seus vizinhos (PONZONI, SHIMABUKURO & KUPLICH, 2012).

A primeira etapa do processo de classificação é denominada treinamento, que se fundamenta no reconhecimento das assinaturas espectrais das classes a serem mapeadas. Por assinatura espectral, entende-se, a forma típica de um objeto refletir a radiação eletromagnética nele incidente.

A técnica utilizada para classificação pode ser supervisionada ou não supervisionada, segundo o grau de participação do analista e o conhecimento que o mesmo dispõe a cerca da área imageada.

A primeira repousa em um conhecimento prévio do analista sobre a localização espacial de algumas amostras das classes de interesse (NOVO, 2010). Inicialmente o analista aponta um conjunto de amostras de treinamento para cada classe que deseja diferenciar na imagem. Essas amostras são áreas delimitadas sobre a imagem que correspondem aos locais no terreno representativos de cada classe. Assim, amostras de números digitais (ND) existentes nos *pixels* identificados como pertencentes a uma dada classe de interesse, em cada banda espectral utilizada no processo de classificação, são extraídos do conjunto de dados e informados ao algoritmo de classificação (PONZONI & SHIMABUKURO, 2007).

Por outro lado, quando o analista não dispõe de conhecimento prévio da área imageada, existe a opção de automatizar a busca dos grupos de pixels espectralmente homogêneos e assumir que estes grupos correspondem às classes de interesse (CENTENO, 2004), utiliza-se a classificação não supervisionada, na qual os pixels da imagem são alocados em classes sem que o usuário tenha conhecimento prévio de sua existência (NOVO, 2010). Os algoritmos de classificação não supervisionada não utilizam dados de treinamento como base para a classificação. Os *pixels* são examinados e agregados em classes com base nos agrupamentos naturais presentes nos valores da imagem.

3.3 Contribuição do Sensoriamento Remoto em Estudos em Ambientes de Caatinga

A utilização de técnicas de sensoriamento remoto em estudos em áreas de caatinga é cada vez mais frequente. Diversos são os trabalhos realizados que visam a disseminação de informações sobre os ambientes de caatinga, com destaque para Costa *et al.* (2009) que analisaram a interação de fatores biofísicos e antrópicos (agricultura, pecuária e extração vegetal) com a diversidade florística arbóreo-arbustiva da caatinga buscando indicar áreas

para conservação do bioma Caatinga. Os autores encontraram relações significativas entre os fatores físicos e características espectrais da vegetação com a diversidade florística no bioma Caatinga concluindo que a maior porção de áreas favoráveis para criação de UC encontram-se na extremidade oeste e sul do bioma.

Ribeiro *et al.* (2015) afirmam que os dados de sensoriamento remoto têm sido de fundamental importância em pesquisas direcionadas ao estudo do comportamento dinâmico da vegetação. Nesse sentido, Silva, Lima & Almeida (2011) estudaram o comportamento sazonal da vegetação da caatinga através de dados do sensor MODIS, onde observaram forte sazonalidade da vegetação da caatinga em imagens classificadas da estação chuvosa e seca. Monteiro (2013) realizou um estudo baseado na aplicação de Índices de Vegetação (NDVI e o SAVI) para identificar áreas que apresentassem maior e menor cobertura vegetal na APA das Onças (município de São João do Tigre-PB), observando qual melhor índice se adequaria a realidade vista no levantamento de campo, para então identificar os níveis de antropização que tem ocorrido na área.

Segundo a autora, o SAVI representou melhor a biomassa presente na APA, a partir do qual foi criada a base cartográfica dos mapas temáticos das unidades de paisagens. Na análise espaço-temporal das imagens, a autora percebeu um aumento das áreas degradadas ou que sofreram alguma alteração na vegetação em função do uso da terra para fins agropecuários ou devido ao extrativismo.

Lima *et al.* (2005) estudaram o comportamento da resposta espectral da vegetação da caatinga no semiárido paraibano sob diferentes aspectos: variação sazonal, exposição (norte, sul, leste e oeste) e inclinação do terreno (0-6%, 0-12%), utilizando alguns índices de vegetação (MNDVI, RVI, SAVI e EVI).

Silva *et al.* (2013) utilizando NDVI, técnicas de sensoriamento remoto e análise espacial avaliaram a dinâmica da ocupação do solo e cobertura vegetal no município de Parari-PB entre os anos 1988-2005. Os autores observaram que a classe solo exposto passou a ocupar áreas no município onde antes eram recobertas por vegetação densa e rala.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Localização da área de estudo

A área objeto de análise do presente estudo corresponde uma Unidade de Conservação (UC) de uso sustentável dos recursos naturais criada pelo Decreto Estadual N° 25.083, de 08 de junho de 2004 (PARAÍBA, 2004) e pertencente à categoria Área de Proteção Ambiental (APA), definida segundo o Artº 15 do Sistema Nacional de Unidades de Conservação – SNUC, como:

(...) uma área em geral extensa, com um certo grau de ocupação humana, dotada de atributos abióticos, bióticos, estéticos ou culturais especialmente importantes para a qualidade de vida e o bem estar das populações humanas, e tem como objetivos básicos proteger a diversidade biológica, disciplinar o processo de ocupação e assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais (SNUC, 2004, p. 16).

Localizada no semiárido paraibano, assentada sobre o Planalto da Borborema, a Área de Proteção Ambiental do Cariri encontra-se parcialmente inserida em terras dos municípios de Cabaceiras, São João do Cariri e Boa Vista (Figura 5), sendo os dois primeiros municípios pertencentes à microrregião do Cariri Oriental e mesorregião da Borborema, e o último pertencente à microrregião de Campina Grande e mesorregião do Agreste, todos no estado da Paraíba, nordeste do Brasil.

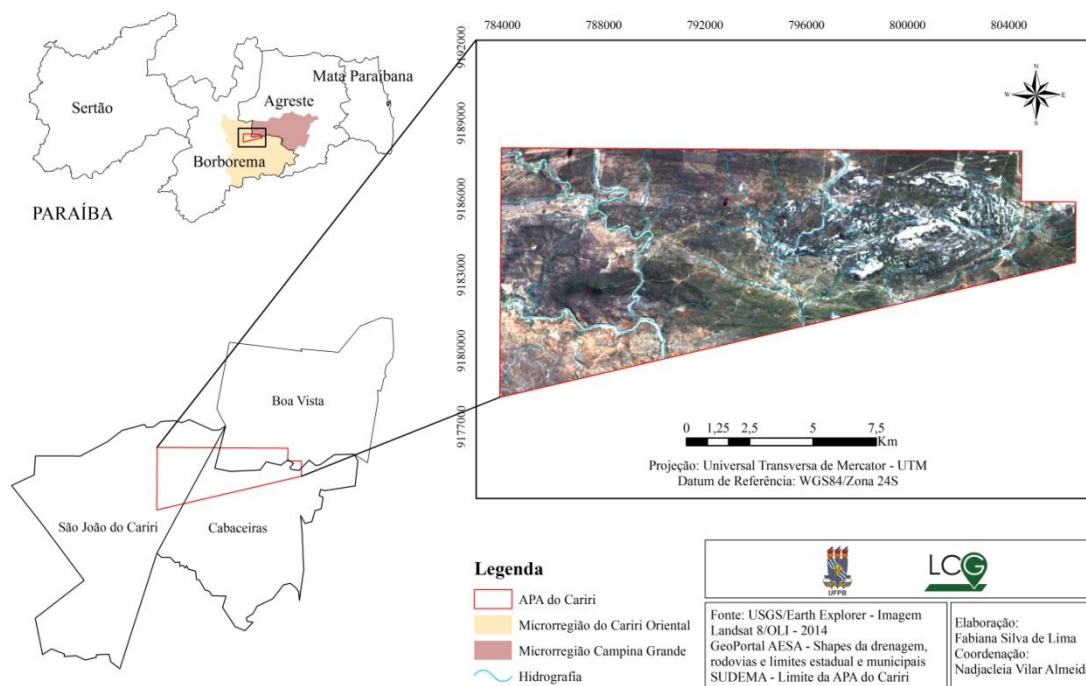


Figura 5. Localização da Área de Proteção Ambiental (APA) do Cariri, Paraíba.

Segundo o Artº 2 do Decreto que institui a criação da APA, sua delimitação baseia-se na carta topográfica Boqueirão (folha SB.24-Z-D-III) na escala de 1:100.000 da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE, 1972) e abrange uma porção territorial de 18.560 ha (dezoito mil quinhentos e sessenta hectares).

Quanto à área poligonal que delimita a APA, foi observada uma divergência entre informações: na parte teórica do Decreto são informadas as coordenadas geográficas dos vértices que formam o polígono que representa a área total de abrangência da UC, no entanto, quando plotadas sobre a carta (p. ex., a carta topográfica, anteriormente mencionada), essas coordenadas não condizem com os locais descritos no Decreto. De certa forma, este fato representou uma limitação para o presente estudo, uma vez que inviabilizou a utilização de uma delimitação que representasse fielmente a área total de abrangência da APA.

Quanto aos objetivos da sua criação, estes residem no intuito de garantir a preservação dos sítios arqueológicos e paleontológicos, dos monumentos naturais, representados por feições geomorfológicas notáveis, incentivar o turismo sustentável, a educação ambiental, a pesquisa e os estudos que promovam a valorização dos atributos da região, disciplinar o processo de ocupação garantindo a sustentabilidade do uso dos recursos naturais e melhoria da qualidade de vida da população local (PARAÍBA, 2004).

A criação da APA do Cariri teve como objetivo proteger o meio físico, biológico e social da área do Lajedo do Pai Mateus e adjacências. Segundo Machado Filho (2011, p. 13), “a intenção em denominá-la como APA incide no fato desta área apresentar turismo ecológico devido à beleza cênica dos lajedos e matacões espalhados por toda sua extensão”. Lages *et al.*, (2013) afirmam que são poucas as regiões no mundo que possuem características geológicas e paisagísticas semelhantes (Devil’s Marbles na Austrália, Erongo Mountains na Namíbia e a região de Hoggar na Argélia).

Neste sentido, pode-se afirmar que, basicamente o propulsor que fundamentou a transformação da área em uma UC está relacionado de forma direta às particularidades e atrativos do meio físico, ou seja, a geodiversidade do local, fato este evidenciado no documento de sua criação, quando é afirmado que:

Considerando a necessidade da preservação dos sítios arqueológicos e paleontológicos e dos monumentos naturais, localizados nos municípios de Cabaceiras, Boa Vista e São João do Cariri [...] considerando que por seus aspectos ecológicos e por suas potencialidades para implantação de projetos turísticos sustentáveis e de pesquisa científica, os sítios arqueológicos e paleontológicos e os monumentos naturais preenchem os requisitos para a criação de uma Unidade de Conservação com vistas à viabilidade desses projetos (PARAÍBA, 2004).

À necessidade de se preservar a geodiversidade do local, soma-se a preocupação em conservar também os remanescentes florestais presentes na área, destacando-se entre os objetivos que institui sua criação: “garantir a conservação da vegetação remanescente da Caatinga arbustivo-arbórea e dos resquícios de Mata Serrana existentes na região” (PARAÍBA, 2004).

No entanto, da mesma maneira como ocorre à maioria das UC do país, a APA do Cariri ainda não possui uma gestão efetiva por parte do governo, que seja posta em prática levando em consideração, inclusive, os aspectos ecológicos e as particularidades da região, para que os objetivos de sua criação sejam efetivamente alcançados.

4.2 Material

Para a análise da dinâmica espaço-temporal da cobertura vegetal na área de estudo, foram utilizadas imagens orbitais multitemporais (Quadro 2), captadas a partir dos instrumentos imageadores TM (*Thematic Mapper*), ETM (*Enhanced Thematic Mapper*) e OLI (*Operational Land Imager*) abordo dos satélites da série Landsat (Satélite de Recursos Terrestres) 5, 7 e 8, respectivamente.

Quadro 2. Imagens de satélite utilizadas no estudo.

Satélite	Sensor	Órbita/ ponto	Data de aquisição	Resolução espacial	Fonte/ aquisição
Landsat 5	TM	215/065	18 Junho 1990	30 m	DGI/INPE
			22 Abril 2010		
Landsat 7	ETM	215/065	13 Julho 2002	30 m	DGI/INPE
Landsat 8	OLI	215/065	20 Junho 2014	30 m	USGS/ <i>Earth Explorer</i>

Org.: A autora (2016).

Foram utilizados os seguintes materiais: imagem de radar (07S375ZN) de 30x30 metros de resolução espacial capturada no ano de 2000 pela Missão Topográfica de Radar Transportado (SRTM – *Shuttle Radar Topography Mission*) e disponibilizada gratuitamente no *site* TOPODATA³; carta Geológica Boqueirão (folha SB.24-Z-D-III) editada pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM (2012) na escala de 1:100.000 e os respectivos dados vetoriais

³ Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil. Disponível em: <http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/>

(*shapefile*) disponibilizados no *site* GeoBank da CPRM⁴; limites municipais e estadual, rodovias e a hidrografia, adquiridos na página *on line* do GeoPortal AESA (Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba)⁵; dados de precipitações mensais dos municípios/postos monitorados sobre os quais insere-se a APA do Cariri, adquiridos junto ao *sítio* da AESA/PB⁶.

Para que os procedimentos metodológicos fossem implementados e integrados, fez-se necessária a utilização de *softwares* de SIG (Sistema de Informações Geográficas) nas etapas de escritório. Para o pré-processamento, utilizou-se o QGIS versão 2.10 que é um SIG de licença livre que suporta formatos de dados vetoriais, *raster* e alfanuméricos, onde as imagens brutas do TM e do ETM foram georreferenciadas. Ainda no ambiente deste *software*, executou-se o procedimento de reprojeção das bandas da imagem do OLI/Landsat 8, obtidas no formato ortorretificado, do hemisfério Norte para o hemisfério Sul.

As etapas do processamento digital das imagens de satélite foram realizadas no ambiente do sistema SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas) versão 5.2. O SPRING é um *software* gratuito de fácil manipulação e amplamente utilizado em estudos que envolvem a manipulação de imagens via sensoriamento remoto. Foi desenvolvido pelo INPE e é baseado num modelo de dados orientado a objetos do qual são derivados sua interface de menus e linguagem espacial – LEGAL (Linguagem Espaço-Geográfico baseado em Álgebra).

Quando da etapa de campo, utilizou-se, aparelho receptor GPS (*Global Positioning System*) de navegação, como ferramenta auxiliar e imprescindível no que se refere à obtenção das coordenadas geográficas dos pontos de interesse, ficha para descrição da área e câmera digital para o registro fotográfico.

⁴ <http://geobank.cprm.gov.br/>

⁵ <http://www.aesa.pb.gov.br/geoprocessamento/geoportal/index.php>

⁶ <http://site2.aesa.pb.gov.br/aesa/monitoramentoPluviometria.do?metodo=listarMesesChuvvasMensais>

4.3 Metodologia

Os procedimentos metodológicos adotados foram divididos e agrupados em duas etapas principais, escritório e campo. Para o melhor entendimento destes procedimentos foi criado um fluxograma (Figura 6).

Posteriormente a estas etapas foram gerados os mapas da dinâmica espacial da vegetação na área de estudo no recorte temporal de 24 anos.

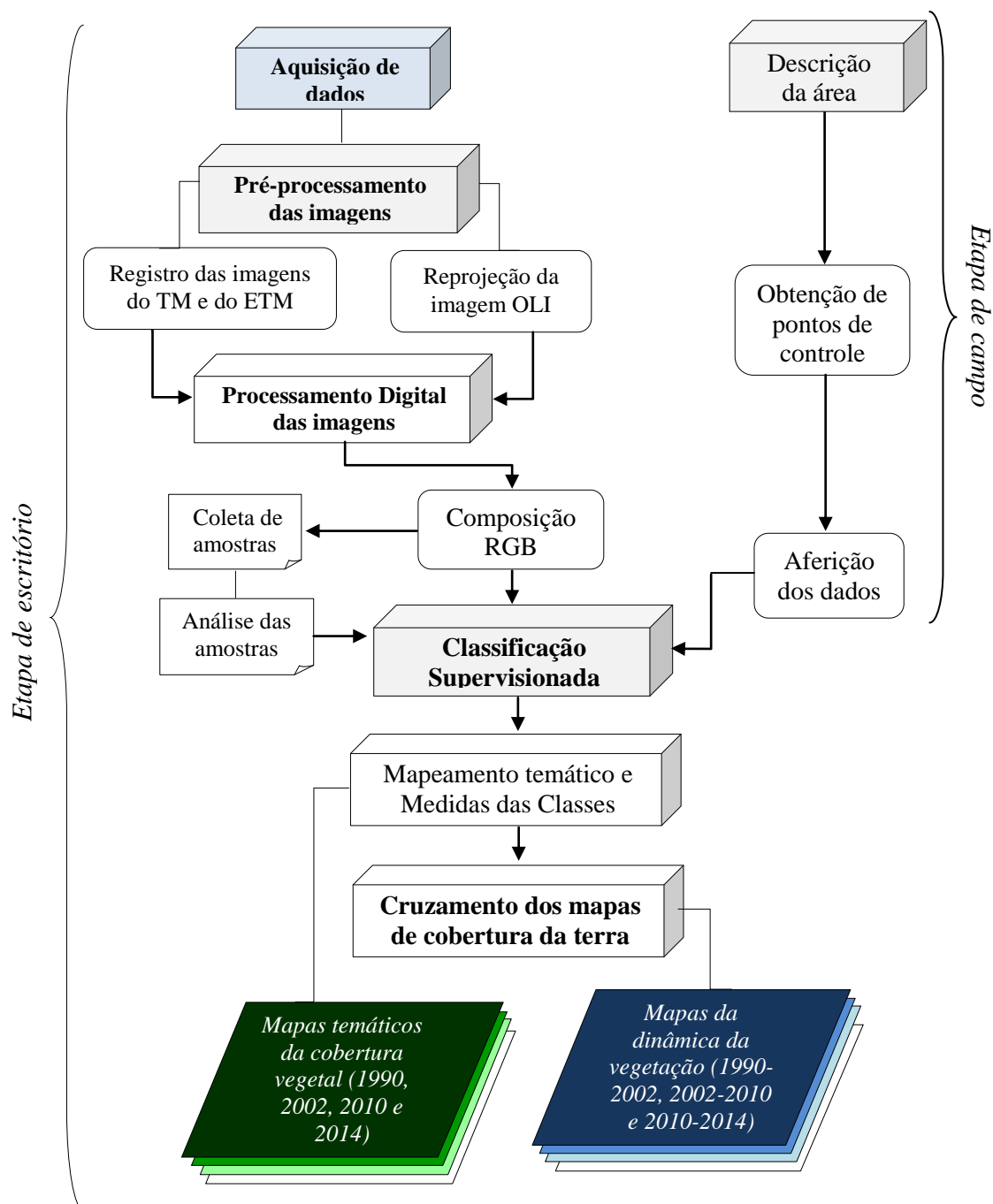


Figura 6. Fluxograma dos procedimentos metodológicos adotados no estudo.

4.3.1 Etapa de escritório

Esta primeira etapa foi dedicada a: a) seleção e aquisição das imagens; b) pré-processamento, processamento e pós-processamento; c) mapeamento temático a partir das imagens de satélite espacializando a cobertura vegetal existente no período em que as imagens foram capturadas; e d) análise comparativa dos mapas temáticos gerados.

4.3.1.1 Aquisição

Inicialmente foi realizada a aquisição das imagens do *Thematic Mapper* do satélite Landsat 5, capturadas em 18/06/1990 e em 22/04/2010 e; a imagem do *Enhanced Thematic Mapper* captada em 13/07/2002 do Landsat 7, disponibilizadas gratuitamente na página da Divisão de Geração de Imagens (DGI) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)⁷ e obtidas a partir do Catálogo de Imagens⁸ (INPE, 2016). Este Catálogo dispõe de um acervo com imagens sensoriais com uma larga faixa temporal que viabiliza estudos multitemporais possibilitando avaliar, monitorar e projetar cenários futuros acerca dos recursos naturais terrestres.

A imagem do sensor *Operational Land Imager* a bordo do Landsat 8, capturada em 20/06/2014, foi adquirida gratuitamente junto ao banco de dados do *United States Geological Survey* (USGS, 2016)⁹ a partir da página do *Earth Explorer*.

Dois critérios foram considerados na seleção das imagens de satélite: 1) o período de captura da imagem pelo sensor; 2) a cobertura de nuvens presente nas imagens.

O primeiro critério justifica-se pelo fato do estudo tratar-se da análise espaço-temporal da vegetação de caatinga a qual permanece a maior parte do ano desfolhada devido a uma adaptação para evitar a perda de água por evaporação das folhas, a chamada caducifolia, e assim lidar com a escassez hídrica da região. Nas imagens de satélite, a caatinga nos períodos de latência tende a apresentar-se com uma tonalidade clara e, dessa forma, pode ser facilmente confundida com outros alvos da superfície, como solo exposto, por exemplo. Assim, com o objetivo de se obter uma melhor resposta espectral do índice foliar, tomou-se como parâmetro, o período chuvoso ou imediatamente após, devido à exuberância da caatinga nesta época (SOUZA, 2008; PEREIRA *et al.*, 2010).

⁷ <http://www.inpe.br/>

⁸ <http://www.dgi.inpe.br/CDSR>

⁹ <http://www.usgs.gov/>

Dessa forma, foram utilizadas imagens orbitais multitemporais (período 1990/2014), totalizando três imagens de meses imediatamente após o término da estação de concentração de chuvas na região “ocorrente de fevereiro à maio (SOUZA, 2008)”, nesse caso, utilizou-se imagens de junho e julho e, uma imagem da estação chuvosa (mês de abril).

O segundo critério utilizado foi o percentual de cobertura de nuvens, de modo que foram selecionadas para o estudo imagens que apresentaram ausência ou uma porcentagem mínima ($\leq 10\%$) sobre a área de interesse. Este critério é justificado pelo fato das radiações eletromagnéticas das ondas do visível e do infravermelho da luz solar possuírem tamanhos menores que o tamanho médio das moléculas de vapor de água, que compõem as nuvens (MENESES, 2012b). Dessa forma, a radiação eletromagnética incidente nas nuvens é barrada por essas moléculas e refletida de volta ao espaço. Consequentemente, o sensor remoto registrará a intensidade da reflectância da nuvem e não do objeto o qual se deseja investigar.

Vale salientar que foi encontrada uma dificuldade quanto à obtenção de imagens referentes ao período de transição (seco-chuvoso) ou imediatamente após a estação chuvosa com pouca ou nenhuma cobertura de nuvens para a região semiárida paraibana, na qual a área de estudo está inserida. Este fato, de certa forma, representou uma limitação para o estudo, pois pretendia-se utilizar cenas imageadas nas mesmas datas em intervalos temporais exatos, porém, isso não foi possível devido a ausência de imagens em condições propícias para análise.

4.3.1.2 Pré-processamento

Inicialmente, fez-se necessária a correção geométrica das imagens do *Thematic Mapper* e do *Enhanced Thematic Mapper* do Landsat 5 e 7, respectivamente.

Para a imagem do sensor *Operational Land Imager* não foi necessário o registro, uma vez que a USGS/NASA já disponibiliza as imagens Landsat 8 ortorretificadas, sendo necessário apenas reprojeta-las do hemisfério norte para o hemisfério sul (DUARTE *et al.*, 2015). O processo de reprojeção das bandas da imagem Landsat 8 foi realizado no ambiente do *software* QGIS.

Inicialmente, as imagens TM e ETM foram empilhadas (bandas 2,3,4,5 e 7), recortadas para delimitar o retângulo envolvente desejado com o intuito de facilitar o processamento e, por fim, registradas (georreferenciadas) no ambiente do sistema QGIS 2.10 tendo como base a imagem Landsat 8, conforme recomendação de Duarte *et al.* (2015). Este procedimento objetivou inserir na imagem um sistema de projeção para se estabelecer um

referencial de coordenadas (MENESES & ALMEIDA, 2012) que possibilite localizar a posição geográfica dos alvos na imagem.

No SIG, buscou-se identificar pontos reconhecíveis na imagem registrada com os correspondentes nas imagens a serem referenciadas utilizando-se de feições visíveis como a rede de drenagem e cruzamentos de ruas e estradas como referência para adicionar os pontos de controle. Objetivando uma maior precisão na correção geométrica, também foram identificados pontos estratégicos como interseções e bifurcações de estradas e rios. Assim, 11 (onze) pontos de controle foram selecionados e distribuídos homoganeamente na imagem e foram adotados erros médios residuais inferiores a 1,0.

Posteriormente foi criado o banco de dados geográfico e o projeto no SPRING 5.2 com os seguintes parâmetros: coordenadas planas do retângulo envolvente ($x_1= 774200$ e $y_1= 9168000$; $x_2= 834300$ e $y_2= 9226000$), na projeção cartográfica sistema *Universal Transversa de Mercator* (UTM) zona 24 Sul e o Datum de referência WGS84.

Este procedimento viabilizou a importação dos dados matriciais em uma categoria do tipo imagem possibilitando os processamentos necessários que antecederam a elaboração dos mapas temáticos nas etapas de processamento e pós-processamento digital.

4.3.1.3 Procedimentos aplicados para interpretação e classificação das imagens

Os procedimentos técnicos para a análise e interpretação das imagens do TM e do ETM do Landsat 5 e 7, respectivamente, foram fundamentados segundo os métodos propostos por Crepani *et al.* (2001), utilizando-se a composição 5R4G3B. De acordo com Crepani, a escolha desta composição justifica-se pelo fato de que nela os matizes de cores relacionados à vegetação apresentam-se mais “amigáveis” ao intérprete, uma vez que a cor verde é atribuída à banda 4 na qual é mais evidente a resposta refletida pela vegetação, e assim o fotointérprete faz uma associação direta dos matizes de verde com áreas providas de diferentes densidades de cobertura vegetal (p. 19).

Dessa forma, foram geradas imagens sintéticas para os anos 1990 e 2010 nas imagens do TM/Landsat5 e na imagem de 2002 do ETM/Landsat 7, a partir da associação das cores azul, verde e vermelho aos canais 3, 4 e 5, respectivamente.

Para interpretação da imagem do sensor OLI do Landsat 8, visando a obtenção de resultado análogo às imagens do TM/Landsat 5 e do ETM/Landsat 7, foi utilizada a composição colorida 6R5G4B (banda 6 no vermelho, banda 5 no verde e banda 4 no azul),




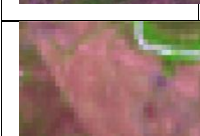

conforme orientação de Santos (2013, p.9), onde há uma aproximação do resultado visual da composição 5R4G3B das imagens dos sensores TM e ETM.

Com base na análise dos padrões de cor, textura e forma dos objetos e feições representados nas imagens, com fins de identificar os diferentes objetos presentes na área de estudo, as imagens foram analisadas utilizando-se o método de Chaves de Interpretação de Objetos e Feições, adaptado segundo Florenzano (2011).

As feições (objetos) representativas na área de estudo foram obtidas a partir da análise da imagem OLI/Landsat 8, tratada no ambiente SPRING 5.2, onde inicialmente foi gerada uma imagem sintética na composição colorida R6G5B4.

O Quadro 3 mostra os objetos representados em composição colorida existentes na área de estudo e suas respectivas chaves de interpretação.

Quadro 3. Objetos e feições ambientais representados em composição colorida (falsa cor) 4 (B), 5 (G) e 6 (R) em imagem Landsat 8 e suas chaves de interpretação.

Composição colorida	Objeto	Chave de interpretação *
	Caatinga Densa	Cor verde-escuro; textura rugosa; forma irregular.
	Caatinga Semidensa	Cor verde; textura ligeiramente rugosa; forma irregular.
	Caatinga Aberta	Cor verde tendendo ao claro com pontos magenta (solo exposto); textura ligeiramente rugosa; forma irregular.
	Solo Exposto (solo, afloramentos rochosos, rios intermitentes)	Cor magenta (rosa), podendo ser bem claro, tendendo ao branco; textura lisa; forma regular.
	Água (corpo d'água, reservatórios e lagos)	Cor azul (lagos: material em suspensão); textura lisa; forma irregular, linear, retilínea ou curva.

*amostras retiradas da imagem OLI/Landsat 8 imageada em 20/06/2014 em composição falsa cor R6G5B4 com aplicação de contraste linear. Fonte: Baseado em Florenzano (2011, p. 62).

4.3.1.4 Classificação Supervisionada MAXVER (*Máxima Verossimilhança*)

Após as imagens serem pré-processadas e serem definidos os procedimentos para identificação dos objetos, as bandas 5, 4 e 3 do TM e do ETM e as bandas 6, 5 e 4 do OLI, foram preparadas para a classificação digital levando-se em consideração o comportamento espectral e o contraste dos alvos (vegetação, solo e água).

Para melhorar a diferenciação entre os alvos aplicou-se técnicas de realce de contraste nas composições RGB através da ferramenta Contraste do *menu* Imagem do SPRING. O contraste aplicado foi do tipo Linear nas bandas 5, 4 e 3 do TM e do ETM e nas bandas 6, 5 e 4 da imagem do sensor OLI nos canais vermelho, verde e azul, respectivamente.

Essas bandas foram unidas formando imagens sintéticas para serem classificadas (Figura 7).

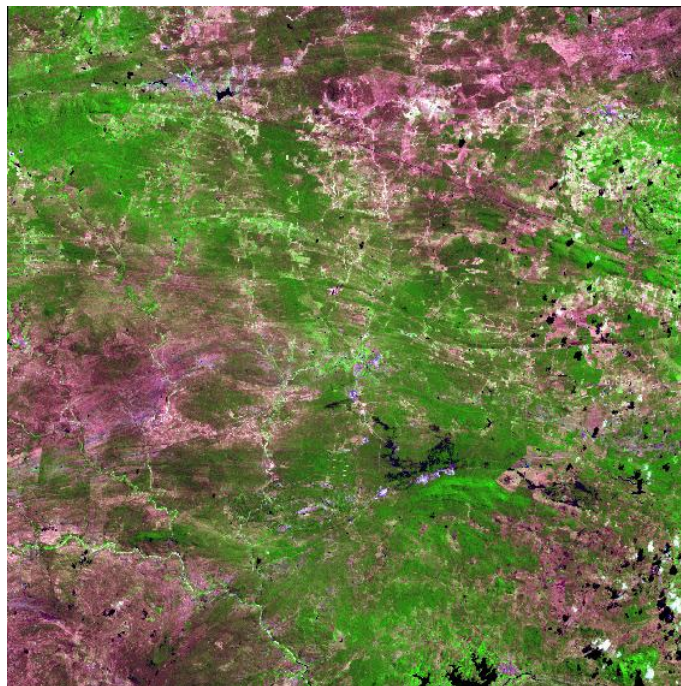


Figura 7. Imagem sintética das bandas 6,5 e 4 do sensor *Operational Land Imager* – OLI.

Posteriormente, cinco classes que representam a diversidade de coberturas da terra na área de estudo foram definidas e localizadas nas imagens, a saber:

- 1) Caatinga Densa (CD): a qual pode ser facilmente discriminada nas imagens com relação a outros alvos, uma vez que apresenta, visualmente, um grau de recobrimento do terreno considerável e uma ligeira rugosidade, estando supostamente, relacionada à áreas cobertas pelas caatingas arbórea e arbustiva fechadas;
- 2) Caatinga Semidensa (CS): que representa uma vegetação de transição entre uma cobertura mais densa e uma mais espaçada ou aberta;

- 3) Caatinga Aberta (CA): esta classe representa uma vegetação rala com enclaves de solo exposto;
- 4) Solo Exposto (SE): nesta classe foram englobados os solos desnudos, os afloramentos rochosos e os rios de caráter intermitente (com leito seco) que cortam à região da UC e;
- 5) Água (A): que engloba os corpos d'água da região.

Apesar de apresentar um quase total recobrimento dos solos pela vegetação e maior rugosidade, a classe CD pode apresentar certa confusão com a classe CS, da mesma forma que a classe CA pode ser confundida com SE por esta apresentar algum grau de degradação ou em função do seu estado de latência em resposta às baixas precipitações ocorridas nos meses antecedentes à data de captura da imagem. Dessa forma, no intuito de minimizar esse problema, procurou-se adquirir amostras confiáveis com *pixels* o quanto mais puros possíveis para representar cada classe.

Posteriormente à definição das classes, realizou-se a amostragem onde foi feita a identificação de áreas de cobertura conhecida na imagem, denominadas áreas de treinamento, as quais foram demarcadas com o cursor na tela para o sistema identificar os *pixels* que ocupam esta região.

Após definidas essas áreas os *pixels* nelas contidos foram analisados e as assinaturas espectrais foram criadas para cada classe presente em cada imagem sintética.

O método de classificação utilizado foi o Supervisionado, utilizando-se o algoritmo classificador do tipo *pixel a pixel* da Máxima Verossimilhança (MAXVER), o qual “avalia a variância e a covariância das categorias de padrões de resposta espectral quando classifica um *pixel* desconhecido” (SANTOS, PELUZIO & SAITO, 2010, p.102), sendo o método de classificação supervisionada mais usado no processo de identificação e delineamento das classes (LIU, 2007, p. 766).

Assim, todos os *pixels*, dentro e fora das áreas de treinamento, foram classificados com um limiar de aceitação de 100% inserindo nas classes determinadas os *pixels* a elas correspondentes.

Executou-se o procedimento de pós-classificação nas imagens classificadas com o objetivo de eliminar possíveis erros da classificação e uniformizar os temas (eliminar pontos isolados), para tal, os parâmetros adotados foram o peso 2 e o limiar de aceitação 5. Com este procedimento o resultado da imagem gerada é melhorado (Figura 8).

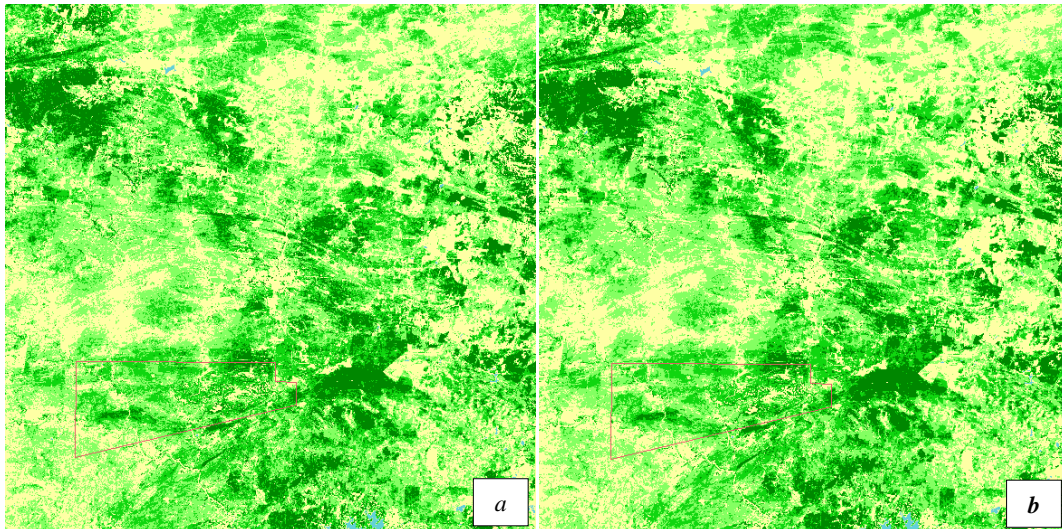


Figura 8. a) Imagem OLI/Landsat 8 capturada em 20/06/2014 classificada; b) A mesma imagem após aplicação da técnica de pós-classificação.

O mapeamento final que caracteriza a variação temporal da vegetação na APA do Cariri-PB foi realizado posteriormente a etapa de campo.

4.3.2 Etapa de campo

A etapa de campo objetivou-se, primeiramente, no reconhecimento da área de estudo seguido de levantamento de informações referentes a aspectos da paisagem local para uma melhor descrição e caracterização.

Nos trabalhos de campo foram aferidos os resultados obtidos a partir do processamento digital das imagens quando da fase de escritório, e configurando-se em uma etapa indispensável para a interpretação dos resultados encontrados.

As visitas a campo foram realizadas em novembro/2014 (época de estiagem), maio/2015 e março/2016 (época chuvosa). Nos pontos visitados foram descritos aspectos da paisagem como vegetação, solo e uso da terra.

4.3.3 Quantificação das áreas com cobertura vegetal no período 1990-2014

Posteriormente a classificação, foi gerado o mapa temático (mapeamento) da cobertura vegetal na área de estudo para cada imagem referente aos anos da análise, agrupando em classes: caatinga densa, caatinga semidensa, caatinga aberta, solo exposto e água.

Para quantificar as áreas das classes existentes nas imagens de cada ano, utilizou-se a ferramenta Medidas de Classes do SPRING, a qual possibilita a quantificação das áreas das classes existentes em uma categoria temática.

Para tanto, fez-se necessário o mapeamento das classes existentes na imagem pós-classificada. Após este procedimento, o *software* gera uma nova imagem classificada em uma categoria do tipo temática (Figura 9), da qual é possível aplicar o cálculo de medidas de classes que por sua vez, gera um relatório quantificando os valores pertencentes às classes temáticas representando-as, em termos de área, em quilômetros quadrados (km²).

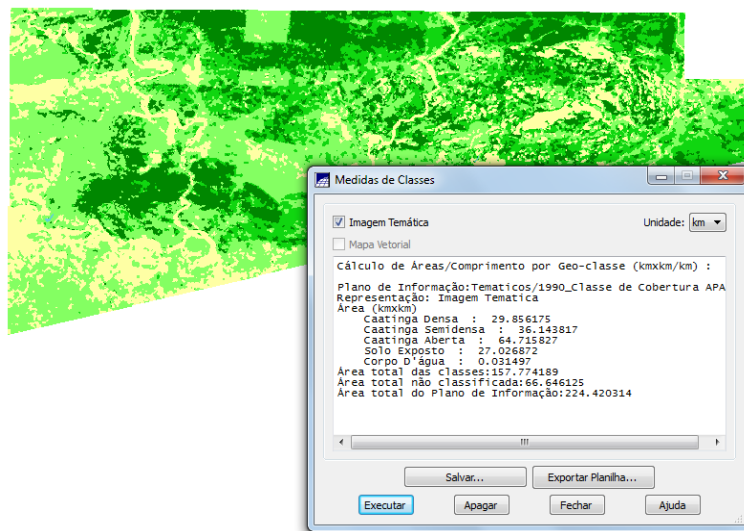


Figura 9. Resultado da operação Medidas de Classes aplicada na imagem temática classificada (18/06/1990), a qual possibilita a quantificação em termos de área (km²) das classes temáticas representadas em cada imagem.

4.3.4 Cruzamento dos mapas temáticos para diagnosticar a situação da cobertura vegetal no período 2002-2014

Após a quantificação das áreas cobertas por cada classe temática presente nas imagens classificadas dos anos 1990, 2002, 2010 e 2014, os mapas temáticos que espacializam a cobertura vegetal no período estudado, foram convertidos do formato *raster* (matriz) para vetor.

Tal processo foi realizado através da ferramenta Matriz -> Vetor do *menu* Temático do SPRING por meio da qual é transformada a representação do plano de informação (PI), de uma matriz de *pixels* para vetores representados, nesse caso pela entidade polígono associado às classes definidas na classificação.

Posteriormente, procedeu-se com o cruzamento das camadas vetoriais (Figura 10), preservando-se as informações de ambas as camadas no arquivo resultante da operação

(SILVA *et al.*, 2013). Para o estudo, foram cruzadas as seguintes informações: mapa temático da cobertura vegetal existente em 1990 com o mapa temático da vegetação de 2002, gerando a camada vetorial “cruzamento 1990x2002”, novo arquivo *shapefile* que herda em sua tabela de atributos as informações das camadas de origem. Repetiu-se o procedimento para os demais mapas temáticos (2002x2010 e 2010x2014).

O procedimento foi realizado para análise do quanto de cobertura vegetal foi suprimida/alterada e o quanto se manteve preservada/conservada ao longo do período estudado (24 anos).



Figura 10. Metodologia aplicada para o cruzamento dos mapas temáticos da cobertura vegetal.
Fonte: Baseado em Silva *et al.* (2013).

Uma vez realizado o cruzamento, foi criado um novo campo na tabela de atributos da camada vetorial resultante do cruzamento, denominado de SIT (Situação). Com o novo campo criado, procedeu-se com a análise às informações das camadas geradoras e feita a seguinte associação:

- a) as áreas cobertas por vegetação que se mantiveram de uma década para outra, foram classificadas no campo SIT, como CONSERVADA/PRESERVADA;
- b) as áreas com alguma cobertura vegetal que foram substituídas por solo exposto foram classificadas como SEM COBERTURA VEGETAL;
- c) as áreas cuja cobertura vegetal foi reduzida, quanto ao grau de recobrimento do terreno (p. ex., Densa -> Semidensa -> Aberta) foram classificadas como PERDA DE COBERTURA;
- d) as áreas onde a cobertura vegetal aumentou seu porte (Aberta -> Semidensa -> Densa), ou aquelas que antes eram desprovidas de vegetação (com solo exposto e/ou água), e posteriormente houve alguma recuperação foram classificadas como REGENERADA/REGENERAÇÃO e;
- e) as áreas com corpos d’água que se mantiveram foram classificadas como ÁGUA.

O mesmo procedimento foi repetido para os demais anos estudados. Posteriormente à criação dos arquivos *shapefile* da cobertura da terra em 1990, 2002, 2010 e 2014 e da situação da cobertura vegetal nos anos 2002, 2010 e 2014, procedeu-se com a elaboração dos mapas temáticos.

No procedimento para elaboração dos mapas temáticos da cobertura vegetal e da situação da vegetação nos anos considerados para o estudo, foi utilizada de forma auxiliar, a planilha do Excel para calcular o percentual de cada classe temática presente nos referidos mapeamentos.

Para apoiar a análise das áreas de cobertura vegetal, na área de estudo, elaborou-se o Modelo Digital de Elevação (MDE) do qual foram extraídas as curvas de nível (10 m) e posteriormente, gerado o mapa hipsométrico (elevação em metros), com 9 classes hipsométricas, no intuito de avaliar as classes de elevação presentes na APA do Cariri correlacionando-as à áreas de maior ou menor ocorrência e/ou predominância de determinada classe de cobertura vegetal.

Ainda com intuito de apoiar as análises e avaliar os resultados, levando-se em consideração as características próprias da vegetação de caatinga de modificar sua fisionomia cinza do período de latência para um verde exuberante na época das chuvas, fez-se necessário considerar o período de obtenção das imagens (PEREIRA *et al.*, 2010). Dessa forma, com intuito de verificar o comportamento das chuvas na região da UC no período que coincide com a data de aquisição das imagens pelo sensor, foram elaborados gráficos dos índices pluviométricos mensais dos municípios que compõe a APA (Boa Vista, Cabaceiras e São João do Cariri) abrangendo os meses de janeiro a dezembro para os anos 2002, 2010 e 2014.

Esses dados foram adquiridos junto ao sítio da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba – AESA/PB.

Os dados da precipitação mensal acumulada nos postos/municípios de interesse para o ano de 1990 não foram representados graficamente, uma vez que a AESA/PB disponibiliza tais dados a partir do ano 1999. Todavia, por meio da análise do comportamento espectral da vegetação, a qual apresenta-se com uma fisionomia verde exuberante que a diferencia dos demais alvos na imagem do referido ano, constatou-se que trata-se de uma imagem da época imediatamente após a estação chuvosa (vegetação verde e com folhagem).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos com o desenvolvimento do trabalho estão apresentados de forma sequenciada conforme as etapas descritas na metodologia e foram gerados a partir das visitas a campo e do processamento digital das imagens de satélite, com o objetivo de gerar informações para análise, avaliação e espacialização da dinâmica no espaço e no tempo da cobertura vegetal na APA do Cariri-PB, entre os anos de 1990 e 2014.

Inicialmente, fez-se necessária uma caracterização simplificada quanto aos aspectos relacionados à geologia, geomorfologia, hidrografia, clima e vegetação, com fins de propiciar um melhor entendimento das características naturais que compõe a referida APA.

5.1 Caracterização da área de estudo

Os aspectos naturais da Área de Proteção Ambiental do Cariri refletem suas principais características ambientais que por sua vez são condicionadas pelos fatores climáticos, geológicos, edáficos, ecológicos e biológicos.

Geologicamente, a APA do Cariri, segundo a CPRM (2012), insere-se no Domínio da Zona Transversal, Província Borborema, sendo o seu substrato geológico mais superficial representado pela ocorrência das unidades geológicas: Formação Campos Novos, composta por argilitos bentoníticos e arenitos fráveis; Depósitos Aluvionares, composta por areias, cascalho, argilitos inconsolidados e terraços aluvionares; Suíte Carnoió, composta por ortognaisses; Complexo Sertânia onde predominam os tipos de rochas: paragnaisse, paramigmatito, granada-biotita gnaisse; Complexo Floresta composta por mármore, gnaisse calcissilicático e anfibolito; Suíte São João do Sabuji, com os litotipos gabro, diorito e quarto diorito e; Suíte Itaporanga (Plúton Bravo) (Figura 11).

Esta última unidade foi caracterizada geologicamente por Lages *et al.*, (2013) como Plutão Bravo, o qual segundo os autores, constitui um *stock* de biotita monzo/sienogranitos de cor cinza, textura fanerítica inequigranular grossa a porfírica com megacristais de K-feldspato de até 2cm, colocados entre duas zonas de cisalhamento conjugadas (NE-SW e E-W). Na borda sul do Plutão Bravo ocorrem feições de ortognaissificação associadas a fragmentos de granitoides, dioritos e de gnaisses encaixantes (*op. cit.* 2013).

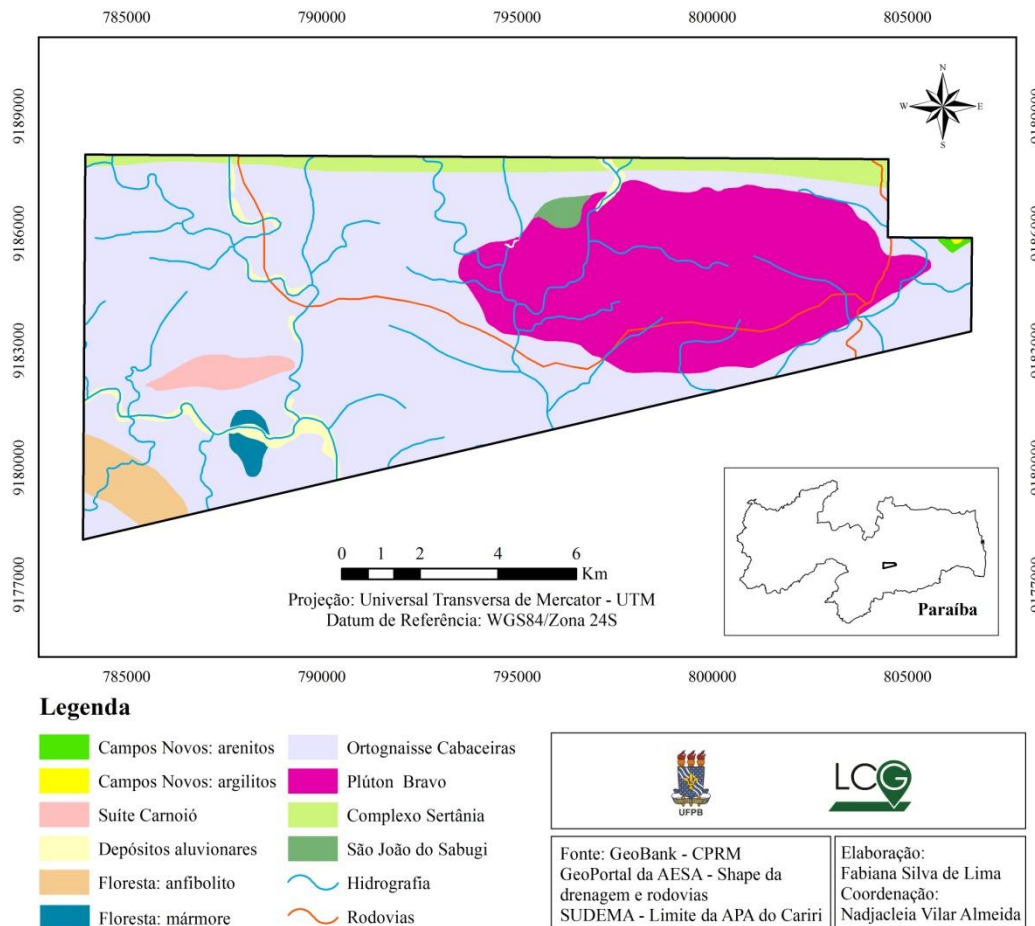


Figura 11. Geologia da APA do Cariri-PB. Fonte: GeoBank da CPRM (2016); Carta Geológica Boqueirão (SB.24-Z-D-III) escala 1:100.000 - CPRM (2012).

Geomorfologicamente, os processos erosivos que atuaram na região do Cariri, determinando as formas de relevo, estão envolvidos na elaboração de extensas superfícies aplainadas presentes na área central do Planalto da Borborema, decorrentes de fases climáticas ora mais xéricas ora menos xéricas, resultando na criação de amplos pediplanos (BRASIL, 1981 *apud* SOUZA, 2008).

Com base na classificação geomorfológica do estado da Paraíba proposta por Carvalho (1982), o Cariri paraibano insere-se na Superfície dos Cariris, que faz parte da Superfície Elevada Aplainada do Maciço da Borborema. Meneses & Nascimento (2014) afirmam que o relevo da região é predominantemente plano e a média das altitudes é de 500 metros.

Com bases em Seabra (2014) podem ser observadas nos limites da APA, as seguintes unidades geomorfológicas: Serras com Topos Ondulados, com amplitudes acima de 100m e declividade acima de 12°; Serras com Topos Suaves, com amplitudes acima de 100m e declividade inferior a 12°; Superfície Suavemente Ondulada, cuja amplitude fica entre 40 e

100m e declividade inferior a 12° e; Superfície Aplainada, com amplitude inferior a 40m e declividade inferior a 12°.

A imagem do relevo sombreado da área de estudo possibilitou uma visualização dos detalhes do relevo na paisagem, ressaltando os lineamentos sutis bem como as áreas com superfícies elevadas e/ou rebaixadas ocorrentes nos domínios da APA do Cariri. A partir da análise do relevo sombreado (Figura 12a) e dos perfis transversais (Figura 12b), observa-se que as superfícies mais elevadas compreendem as áreas com terrenos acidentados, ou seja, as áreas serranas, sendo a Serra do Caroá a mais elevada, ultrapassando os 600m, e nas áreas de ocorrência dos afloramentos rochosos Lajedo do Pai Mateus, Lajedo da Salamabaia e Lajedo do Bravo.

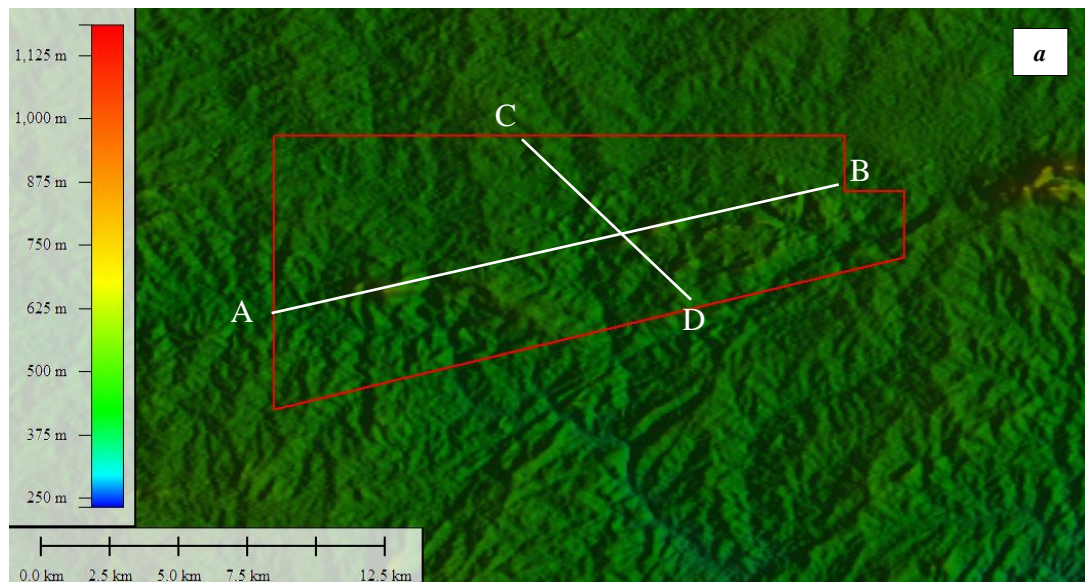
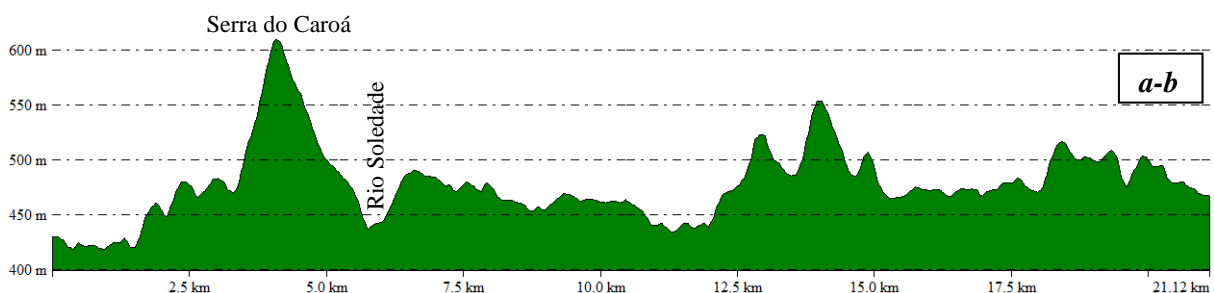
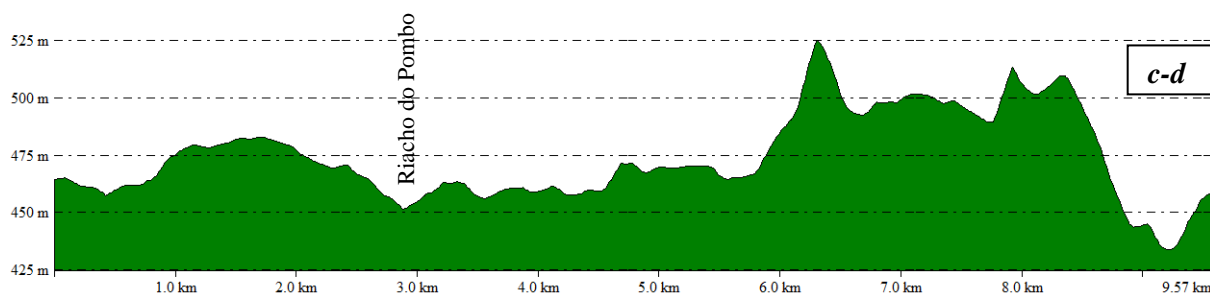


Figura 12. Relevo sombreado da APA do Cariri, Paraíba. a) imagem sombreada do relevo da APA; b) perfil topográfico do relevo nos transectos AB e CD (indicados em “a”). Elaboração a autora, 2016.

Fonte: Imagem SRTM, resolução espacial de 30 metros.

As áreas mais rebaixadas com superfícies pouco acidentadas ocorrem, sobretudo, ao longo das planícies dos rios Taperoá, Boa Vista e riacho Gangorra.





A APA possui altitudes que vão de pouco mais dos 400m podendo alcançar valores acima dos 620m (Figura 13). As áreas que apresentam os mais baixos valores de altitude estão localizadas próximo aos vales dos principais rios que cortam a APA, destacando-se o rio Taperoá a sudoeste e o rio Boa Vista ao sul. Observa-se um aumento gradual nos valores de altitude em direção as suas extremidades no sentido norte/nordeste, chegando a valores superiores a 620m.

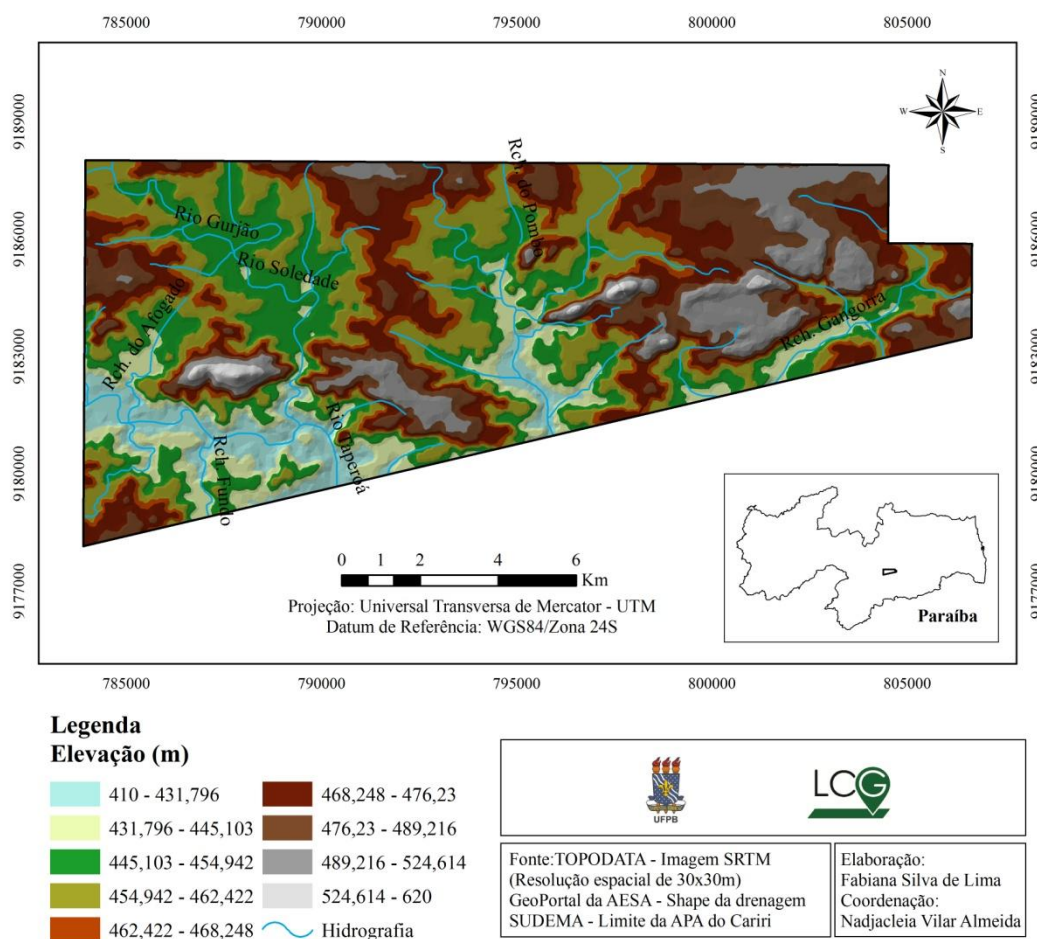


Figura 13. Hipsometria da APA do Cariri-PB.

As áreas mais elevadas presentes na APA coincidem com as áreas onde há maior inclinação, sobretudo nas áreas serranas e topos de morros (Figura 14). As áreas com declividade mais estável coincidem com as áreas onde a elevação também apresenta feições homogêneas.

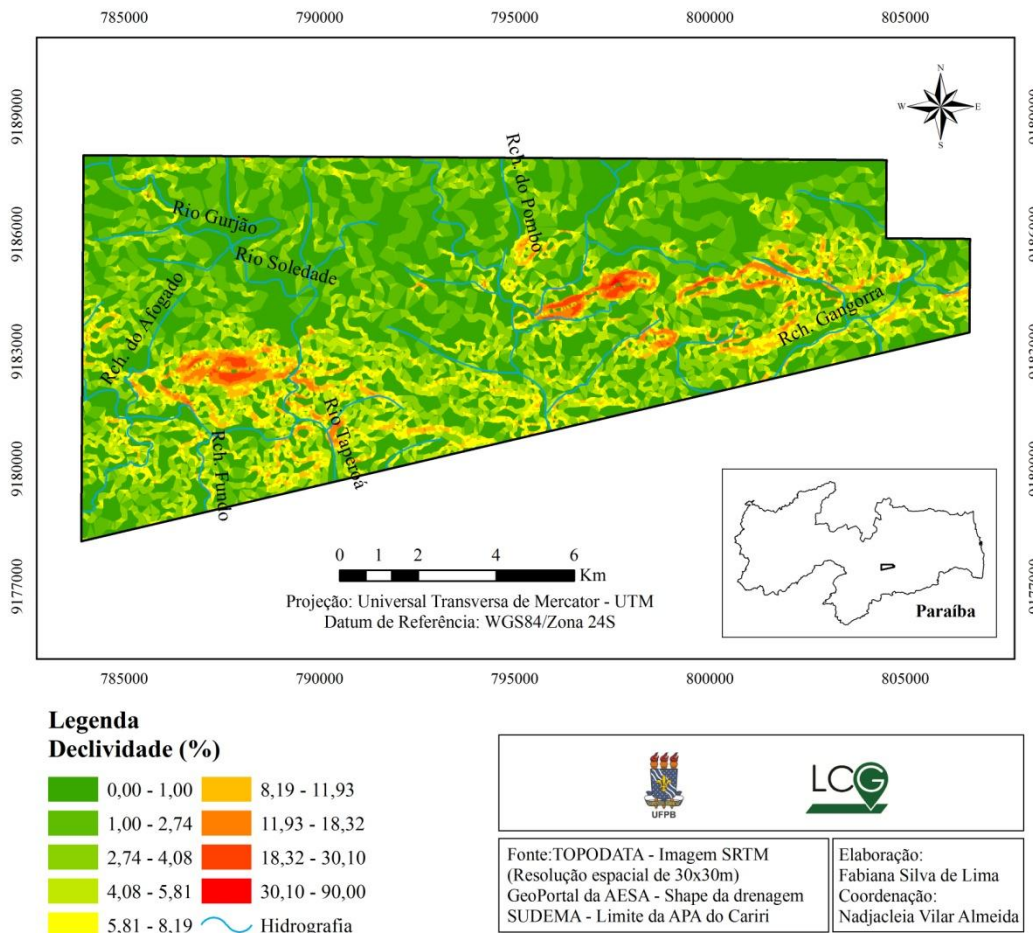


Figura 14. Declividade do relevo na APA do Cariri-PB.

A rede de drenagem presente na APA do Cariri (Figura 15) é composta por rios e riachos de caráter intermitente os quais encontram-se inseridos na bacia do Rio Taperoá. O rio Taperoá, que dá nome à bacia é o rio de maior destaque na área, seguido pelos rios: Gurjão, Soledade e Boa Vista. Todos esses rios e riachos estão inseridos na bacia do Médio Paraíba que converge suas águas para o Açude Epitácio Pessoa.

A UC apresenta os solos do tipo Luvissole Crômico - TC, Neossolo Litólico - RL Neossolo Regolítico - RR, Neossolo Flúvico - RU e Vertissolo Hidromorfo - VG.

Baseando-se em Brasil (1972), Souza (2008) e Almeida (2012) são descritas algumas características das classes de solos encontrados na região da APA:

- 1) Luvissole Crômico (TC): ocorrem em relevo suave ondulado e raramente ondulado, sendo pouco profundo ou rasos, com pH de baixa acidez e em alguns casos, básico.
- 2) Neossolo Litólico (RL): esta unidade é constituída por solos pouco desenvolvidos, muito rasos ou rasos, moderadamente ácido, com drenagem moderada a acentuada. Ocorrem em áreas de relevo suave ondulado a montanhoso. Apresentam rica cobertura vegetal quando isentos de uso. São susceptíveis a erosão, além de apresentarem fortes limitações quanto ao armazenamento de água.
- 3) Neossolo Regolítico (RR): compreende solos pouco desenvolvidos, muito arenosos, profundos, fortemente drenados e com bastantes materiais primários de fácil intemperização, desenvolvidos a partir de granitos e migmatitos. Ocorrem em áreas de relevo suave ondulado a montanhoso. Apresentam cobertura vegetal densa e diversificada. Na APA esse tipo de solo ocorre no entorno imediato dos lajedos.
- 4) Neossolo Flúvico (RU): solos derivados de sedimentos aluviais e que apresentam caráter flúvico. Ocorrem nas áreas de relevo plano ou com ondulações muito suaves, correspondentes as estreitas faixas ao longo dos cursos d'água, provenientes de deposições fluviais. Apresentam fertilidade natural alta, pouco profundos ou profundos. Originalmente as matas ciliares recobriam esses solos com elevada presença de espécies arbóreas.
- 5) Vertissolo Hidromórfico (VG): ocorrem nas áreas de relevo suave ondulado a ondulado, em depressões com problema de drenagem e elevada presença de argilas o que confere a esses solos notável capacidade de dilatação, quando molhados e contração, quando secos.

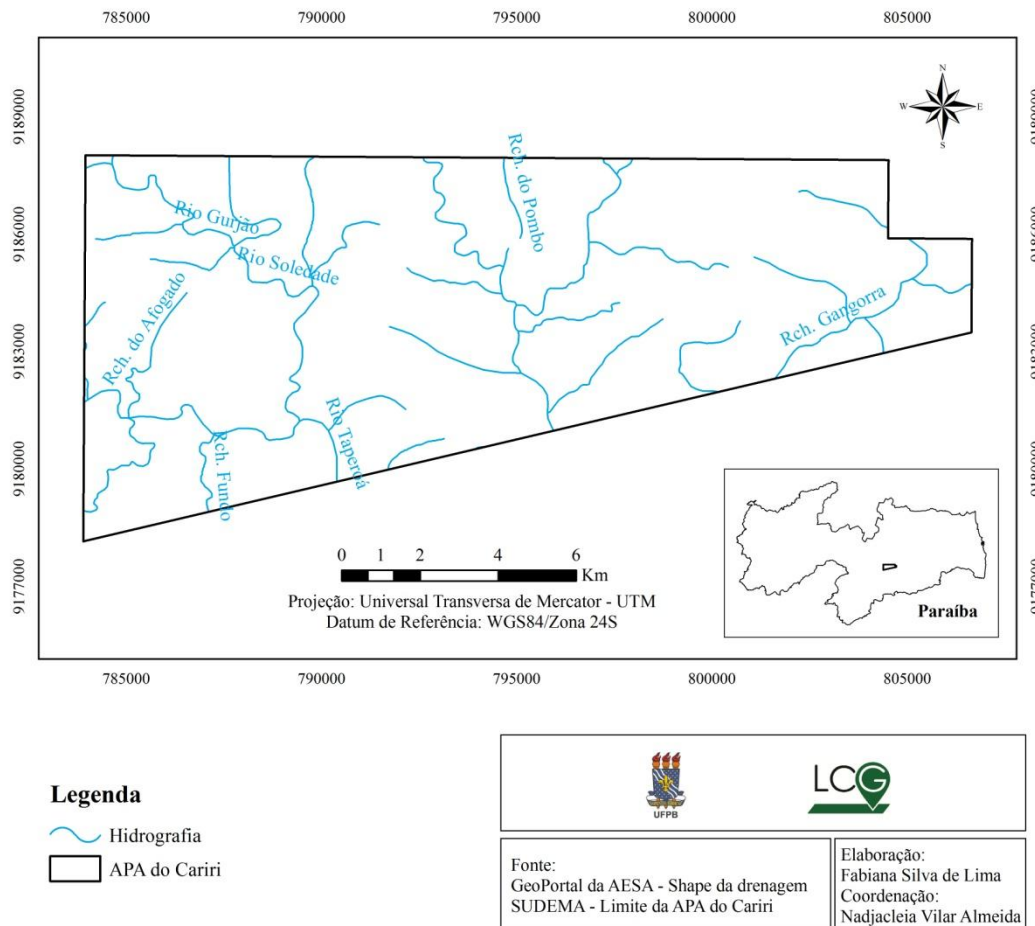


Figura 15. Hidrografia da APA do Cariri-PB.

O clima da região é do tipo semiárido quente, classificado por Koppen-Geiger como BSh, caracterizado por um regime pluviométrico baixo e irregular, com precipitações médias anuais muito baixas (em torno de 400 mm/ano) e uma estação seca que pode atingir 11(onze) meses, havendo anos com período chuvoso quase ausente (PARAÍBA, 1985). Segundo a classificação bioclimática do estado da Paraíba de Gaussen (1968 *in* BRASIL, 1972), o bioclima da área é o Subdesertico quente com tendência tropical – 2b. As temperaturas médias anuais são elevadas (cerca de 27°C).

A vegetação que recobre a área é do tipo Caatinga Hiperxerófila, levando-se em consideração o grau de aridez, que corresponde à caatinga que apresenta o grau mais acentuado de xerofitismo (BRASIL, 1972). Segundo Barbosa *et al.* (2010) esta apresenta as fases caducifólia e subcaducifólia, com espécies xerófitas.

Ainda se encontra na APA vegetação remanescente da Caatinga arbustivo-arbórea e resquícios de Mata Serrana (PARAÍBA, 2004).

As características climáticas descritas permitem a predominância de uma cobertura vegetal constituída de espécies decíduas e caducifólias, com forte presença das cactáceas (AB' SÁBER, 1974). A flora apresenta uma notável adaptação às características climáticas e edáficas da região semiárida. É composta por plantas que possuem adaptações fisiológicas e morfológicas para sobrevivência em ambientes com limitações hídricas tais como: o prolongamento do sistema radicular que auxilia na captação de água do subsolo; a forma das folhas que, em raras exceções, são mais miúdas (microfilia) e muitas tem forma de espinhos, a exemplo das cactáceas.

Na maioria das espécies as folhas e as flores são produzidas em um curto período de chuvas e a caatinga permanece em dormência a maior parte do ano (LEAL *et al.* 2005). Em época chuvosa (março/2016), em trabalho de campo na área de estudo, puderam ser observados alguns indivíduos de espécies em fase de reprodução (frutificação), como podem ser observados nas figuras (16a e 16b).

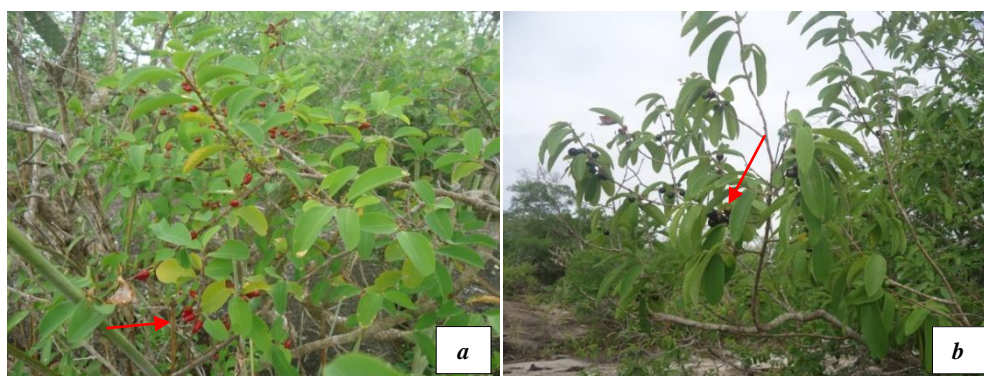


Figura 16. Espécies da caatinga em fase reprodutiva (frutificação) no município de Cabaceiras-PB. a) *Erythroxylum* sp. b) *Sideroxylon* sp. Data: 07 mar. 2016 - Foto: Fabiana S. Lima

Segundo observações *in situ*, na APA verifica-se a ocorrência de algumas espécies típicas da flora da catinga e espécies que ocorrem também em outros biomas (Quadro 4).

Quadro 4. Família, espécie, nome vulgar e bioma de ocorrência de alguns indivíduos representantes da flora na APA do Cariri observados nas proximidades do lajedo Salambaia, Cabaceiras-PB.

Família	Espécie*	Nome vulgar	Domínio Fitogeográfico*
Anacardiaceae	<i>Myracrodruon urundeuva</i>	Aroeira	Caatinga, Cerrado e Mata Atlântica
Anacardiaceae	<i>Spondias tuberosa</i>	Umbuzeiro	Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica
Apocynaceae	<i>Aspidosperma pyrifolium</i>	Pereiro	Mata Atlântica
Apocynaceae	<i>Allamanda blanchetii</i>	Sete-patacas-roxa	Caatinga
Bignoniaceae	<i>Handroanthus impetiginosus</i>	Pau-D'arco-Roxo/Ipê-	Caatinga, Cerrado, Mata

		roxo	Atlântica, Pantanal, Amazônia
Bromeliaceae	<i>Bromelia laciniosa</i>	Macambira	Caatinga
Bromeliaceae	<i>Neglaziovia variegata</i>	Caroá	Caatinga
Cactaceae	<i>Cereus jamacaru</i>	Mandacaru	Caatinga, Cerrado
Cactaceae	<i>Pilosocereus gounellei</i>	Xique-xique	Caatinga, Cerrado
Cactaceae	<i>Opuntia palmadora</i>	Palmatória-de-espinho	Caatinga, Cerrado
Cactaceae	<i>Opuntia ficus-indica</i>	Palma forrageira	Caatinga, Cerrado
Cactaceae	<i>Pilosocereus pachycladus</i>	Facheiro	Caatinga, Cerrado
Cactaceae	<i>Melocactus bahiensis</i>	Coroa-de-frade	x
Euphorbiaceae	<i>Jatropha pohliana</i>	Pinhão bravo	x
Euphorbiaceae	<i>Caesalpinia pyramidaleis</i>	Catingueira	Caatinga, Cerrado
Euphorbiaceae	<i>Croton sonderianus</i>	Marmeleiro	Caatinga
Euphorbiaceae	<i>Croton campestris</i>	Velame	x
Euphorbiaceae	<i>Caesalpinia férrea</i>	Pau-ferro	x
Euphorbiaceae	<i>Ditaxis</i> sp.	x	x
Erythroxylaceae	<i>Erythroxylum suberosum</i>	x	Amazônia, Cerrado
Fabaceae	<i>Amburana</i> sp.	Imburana	x
Fabaceae	<i>Peltophorum dubium</i>	Canafístula	Caatinga, Cerrado
Fabaceae	<i>Bauhinia</i> sp.	Pata-de-vaca	x
Fabaceae	<i>Luetzelburgia auriculata</i>	Pau-mocó	Caatinga
Fabaceae	<i>Mimosa tenuiflora</i>	Jurema-preta	Caatinga, Cerrado
Fabaceae	<i>Mimosa ophthalmocentra</i> *	x	Caatinga
Fabaceae	<i>Minosa paraibana</i>	x	Caatinga, Mata Atlântica
Fabaceae	<i>Hymenaea courbaril</i>	Jatobá	x
Malvaceae	<i>Herissantia tiubae</i>	Mela-bode	Caatinga, Cerrado
Malvaceae	<i>Sida galheirensis</i>	Sida	Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica
Myrtaceae	<i>Myrcia tomentosa</i>	x	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica
Nyctaginaceae	<i>Guapira</i> sp.	Guapira	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica
Olacaceae	<i>Ximenia americana</i> *	x	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica
Rhamnaceae	<i>Rhamnidium molle</i>	x	Caatinga
Rhamnaceae	<i>Ziziphus joazeiro</i>	Juazeiro	Caatinga
Rhamnaceae	<i>Rhamnidium</i> sp.	x	x
Rubiaceae	<i>Cordia rígida</i>	Cordia	Caatinga, Cerrado

Rubiaceae	<i>Tocoyena formosa</i>	Tocoiena	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica
Sapotaceae	<i>Sideroxylon obtusifolium</i>	Quixabeira	x
Turneraceae	<i>Turnera cearensis</i>	x	Amazônia, Mata Atlântica
Verbenaceae	<i>Lippia grata</i>	x	Caatinga, Cerrado

Fonte: Trabalhos de campo em março de 2016. * Consulta a Maia-Silva *et al.* (2012); Medeiros *et al.* (2015).

Informações mais completas e detalhadas quanto as espécies da flora que ocorrem em algumas localidades na Área de Proteção Ambiental do Cariri, podem ser encontradas em Machado-Filho (2011); Lima, Machado-Filho & Melo (2013); Ferreira, Trovão & Melo (2015) e Medeiros *et al.* (2015).

5.2 Cobertura da terra 1990 - 2014

A geração dos mapas temáticos da cobertura vegetal possibilitou a identificação de áreas na UC cobertas por fitofisionomias de caatinga densa, caatinga semidensa e caatinga aberta, bem como as áreas desnudas de vegetação (solo exposto e os corpos d'água) e demonstrou a dinâmica espacial da cobertura vegetal ao longo de 24 anos.

Em uma análise conjunta do mapeamento de 1990 da APA (Figura 17), verifica-se que as classes de caatinga densa, caatinga semidensa e caatinga aberta tiveram uma significativa representatividade, onde somadas correspondem a 82,89% de cobertura vegetal. Observa-se que a centro-oeste, norte, e nordeste se encontram as áreas com vegetação de maior densidade, representadas pela tipologia caatinga densa, a qual é provável, estar associada à ocorrência das classes de caatinga, estabelecidas segundo Souza (2008): Arbóreo-Arbustiva Fechada e Arbustivo-Arbórea Fechada. Manchas menores e mais descontínuas podem ser observadas a noroeste, sudeste, na parte central próximo a drenagem e nas áreas dos afloramentos rochosos, a leste.

O restante da cobertura da terra existente em 1990 era caracterizada pelas superfícies não vegetadas (solo exposto) representadas pelas áreas com solos desnudos, concentradas principalmente nas proximidades às margens do curso principal do Rio Taperoá; às áreas dos afloramentos rochosos, localizados a sudeste e a nordeste e; às áreas dos rios, de caráter temporário, presentes na região. Essas áreas, desprovidas de cobertura vegetal, correspondem a 17,11% da área total da UC (Tabela 1).

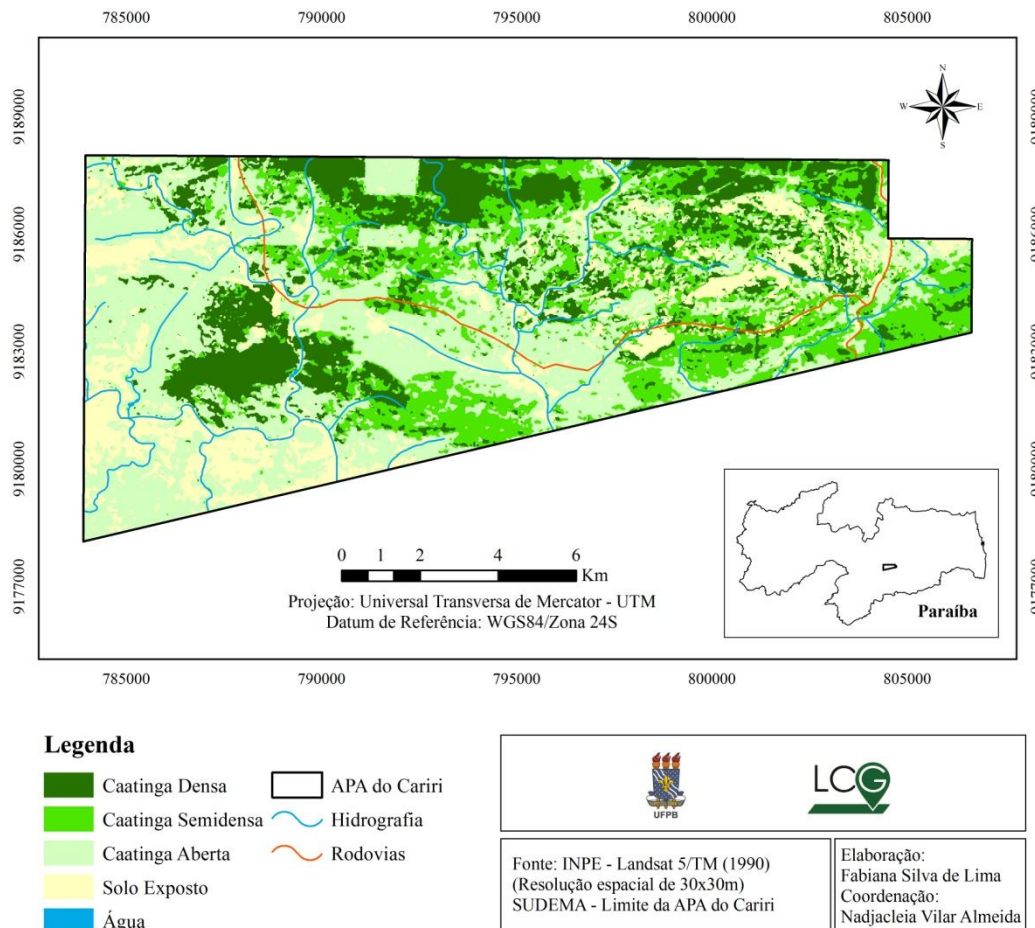


Figura 17. Cobertura da terra na Área de Proteção Ambiental do Cariri em 1990.

A classe Água, nesse e nos mapeamentos que se seguirão referentes aos anos estudados, apresentou baixa representatividade ($< 1\%$) da área total da APA. É provável que este resultado tenha relação com a resolução espacial dos sensores utilizados TM, ETM e OLI que é de 30 metros, onde a resposta espectral registrada em cada *pixel* corresponde a média dos elementos que compõe uma área de 30x30m, assim, devido as condições climáticas da região, com elevadas temperaturas o que favorece a evaporação, somadas ao fato de na APA não existirem corpos d'água com dimensão considerável, as imagens pouco registram a presença dos corpos d'água e quando registrados, estes apresentaram valores pouco significativos, conforme podem ser observados na Tabela 1.

Comparando os resultados obtidos no mapeamento de 1990 e 2002 (Figura 18), e através da função Medidas de Classes (Tabela 1), percebe-se que houve uma significativa redução na classe caatinga densa, a qual em 1990 apresentava-se na paisagem como manchas extensas e mais contínuas e concentradas nas áreas mais elevadas da UC, apresentando uma área de 31,4 km² representando 19,92% da área total da APA passando a ocupar em 2002 uma

área de apenas 8,35 km² representando 5,3% da área da UC, correspondendo a uma perda de 23,05 km² (73,4%) para a classe.

Apesar da nítida redução das áreas cobertas pela classe caatinga densa em 2002, a área total com cobertura vegetal (densa, semidensa e aberta) no mapeamento do referido ano recobriam 128,7 km² de área representando 81,35% da APA. Percebe-se que houve um decréscimo pouco significativo com relação a 1990, correspondendo a uma diferença de apenas 2,43 km². Este fato deve-se, certamente, ao avanço nas especializações das áreas recobertas pelas classes caatinga semidensa e caatinga aberta ao longo da APA, as quais apresentaram um aumento de 12,22 km² (25,5%) e 8,4 km² (5,33%), para cada classe respectivamente de uma década para outra.

Esse comportamento temporal da uma ideia da capacidade de resiliência da caatinga em resposta as oscilações no regime pluviométrico da área.

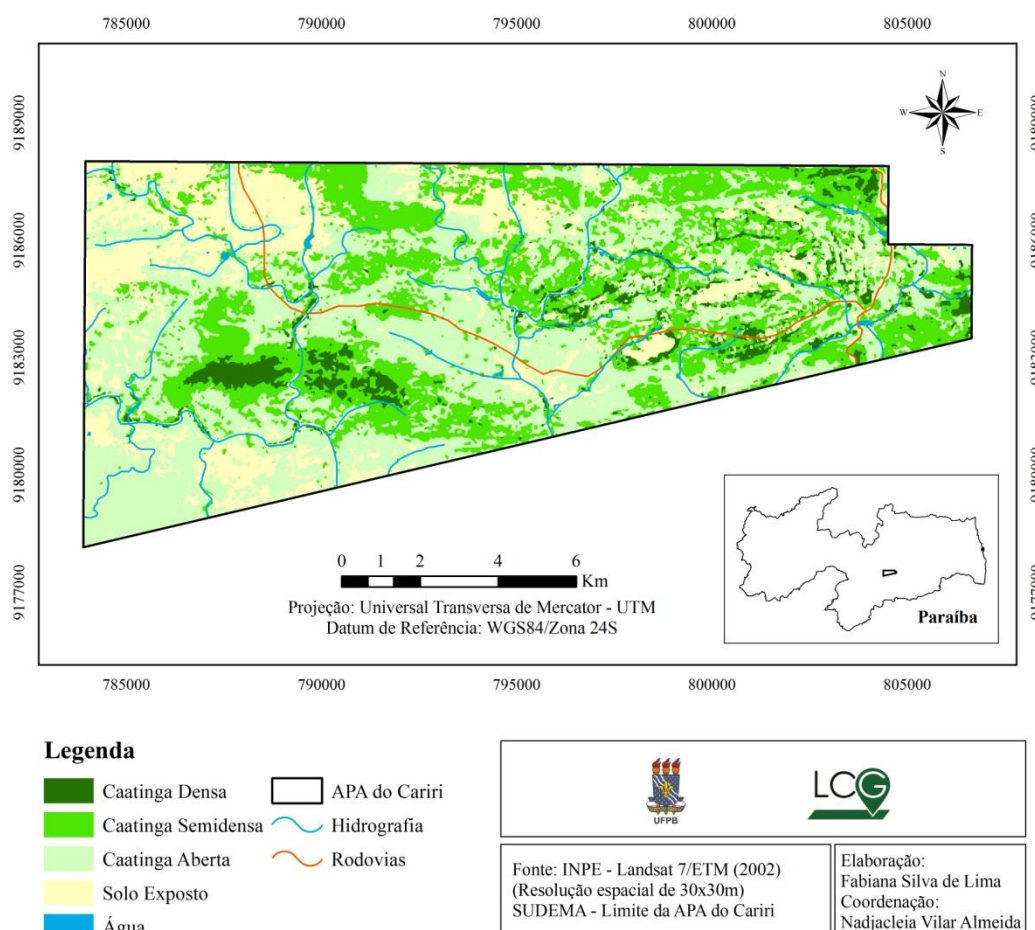


Figura 18. Cobertura da terra na Área de Proteção Ambiental do Cariri em 2002.

Verificou-se que as áreas com solo exposto aumentaram 7,76% com relação a 1990, onde apresentavam uma área de 26,93 km² (17,98%) vindo a apresentar em 2002 uma área de 29,02 km² (18,4%) representando um aumento de 2,09 km² no período.

Tabela 1. Quantificação das áreas ocupadas pelas diferentes coberturas da terra em 1990, 2002, 2010 e 2014 na área de estudo.

CLASSES	1990		2002		2010		2014	
	Área (Km ²)	Área (%)	Área (Km ²)	Área (%)	Área (Km ²)	Área (%)	Área (Km ²)	Área (%)
Caatinga Densa	31,4	19,92	8,35	5,3	27,28	17,3	11,26	7,14
Caatinga Semidensa	35,72	22,65	47,94	30,4	53,78	34,11	55,47	35,18
Caatinga Aberta	63,58	40,32	71,98	45,65	62,54	39,66	43,01	27,28
Solo Exposto	26,93	17,08	29,02	18,4	14,03	8,9	47,91	30,39
Água	0,04	0,03	0,39	0,25	0,05	0,03	0,02	0,01
ÁREA TOTAL	157,67	100	157,68	100	157,68	100	157,67	100

Por meio da análise do comportamento das precipitações na área de estudo, ao longo do ano de 2002 (Figura 19) e com atenção especial para os meses que antecedem a data de captura da imagem (fevereiro a junho) e o mês de captura da imagem (julho), verifica-se que a mesma foi adquirida em um período posteriormente à ocorrência de dois picos de concentração de chuvas na região: o primeiro ocorrido em fevereiro (com uma média de 158,7mm) e o segundo em maio (com média de 90,9mm) e junho (com média de 60,1mm), seguidos de uma progressiva diminuição das precipitações no restante do ano.

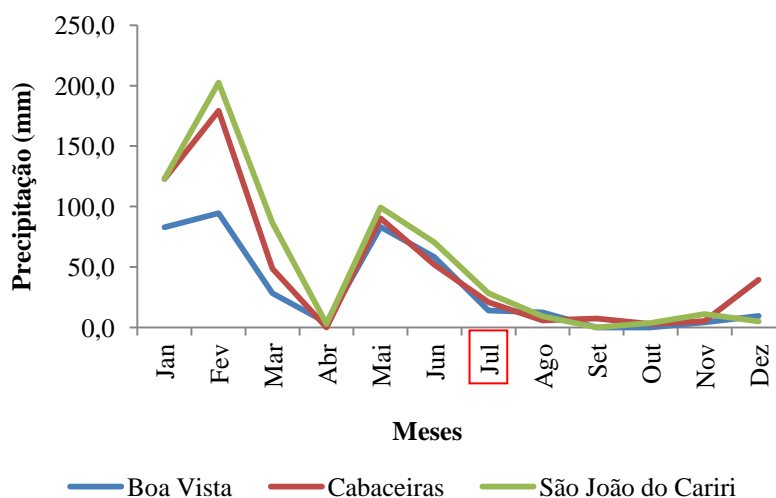


Figura 19. Chuvas acumuladas nos municípios de Boa Vista, Cabaceiras e São João do Cariri, sobre os quais se insere a APA do Cariri, abrangendo os meses de janeiro a dezembro de 2002. Fonte: AESA (2016).

Assim, a maior espacialidade das classes caatinga aberta e caatinga semidensa em 2002, pode estar relacionada à resposta da vegetação às chuvas ocorridas na área de estudo nos meses anteriores (maio e junho) à época em que a imagem foi capturada pelo sensor.

A partir da análise do mapeamento da cobertura presente em 2010 (Figura 20), período posterior à transformação da área em uma Unidade de Conservação, verifica-se que houve uma maior representatividade da vegetação no período em relação aos anos anteriores, representando 91,7% da área total mapeada. Esse fato sugere uma recuperação da vegetação em decorrência do aumento quantitativo das tipologias: caatinga densa, caatinga semidensa e caatinga aberta, as quais somadas apresentam uma área de cobertura vegetal de 143,59 km² representada por extensos polígonos contínuos distribuídos por toda a extensão da APA.

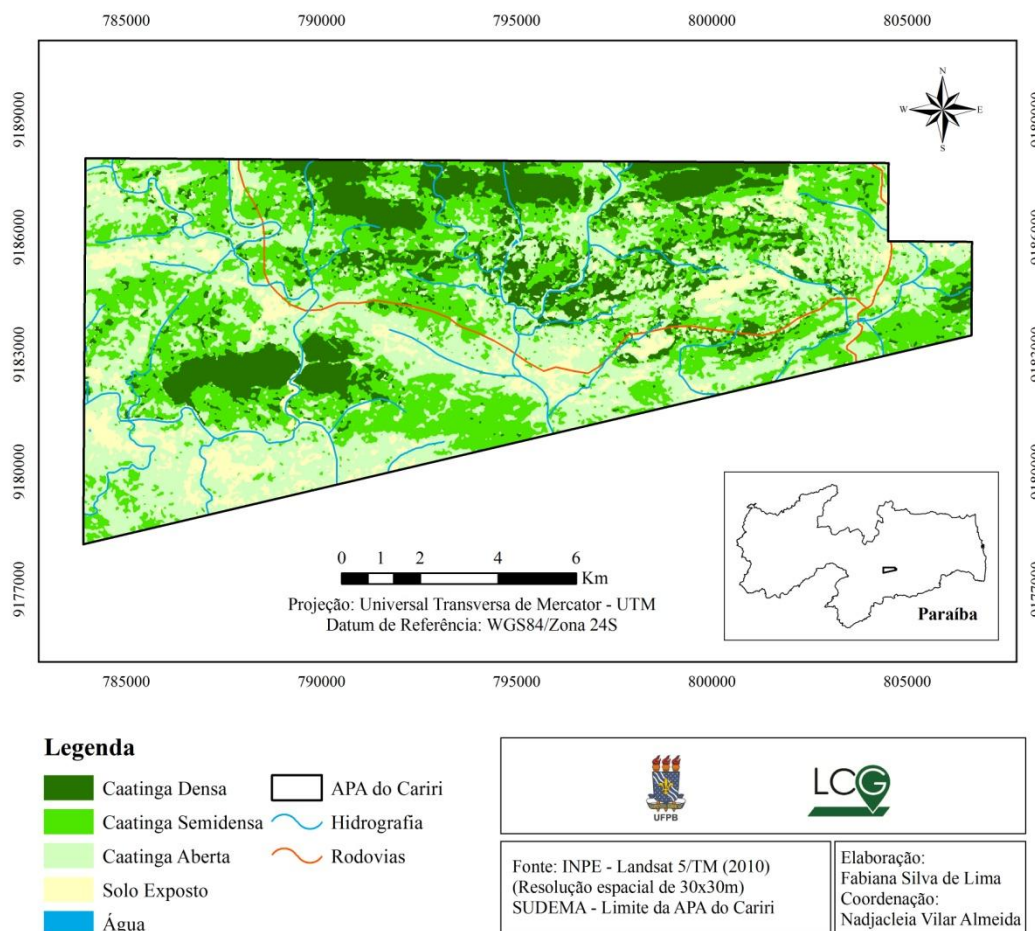


Figura 20. Cobertura da terra na Área de Proteção Ambiental do Cariri em 2010.

Foi observado um crescimento considerável das áreas classificadas como caatinga densa em 2010, apresentando uma área de 27,28 km² (17,3%). Relacionando ao mapeamento

anterior (2002), onde a classe apresentava uma área de 8,35 km² (5,3%), verifica-se um aumento em termos de área de 18,93 km² representando um ganho de 226,70% para a classe.

Houve também um aumento das áreas cobertas pela caatinga semidensa em relação ao mapeamento de 2002, onde essa tipologia apresentava uma área de 47,94 km² correspondendo a 30,4% da APA e em 2010 passou a ocupar 53,78 km² (34,11%).

As áreas de caatinga aberta ocupavam em 2002 71,98 km² (45,65%) passando a recobrir em 2010 62,54 km² (39,66%). As áreas desnudas de cobertura vegetal (solo exposto) apresentavam em 2002 uma área de 29,02 km² (8,4%) e vindo a apresentar em 2010 uma área de 14,03 km² (8,9%).

Portanto verifica-se que as áreas mais abertas, representadas pelas classes caatinga aberta e solo exposto, sofreram decréscimo em 2010, com perda de 9,44 km² (13,11%) e 14,98 km² (51,65%) para cada classe respectivamente. Esses resultados podem ser melhor visualizados na Figura 21.

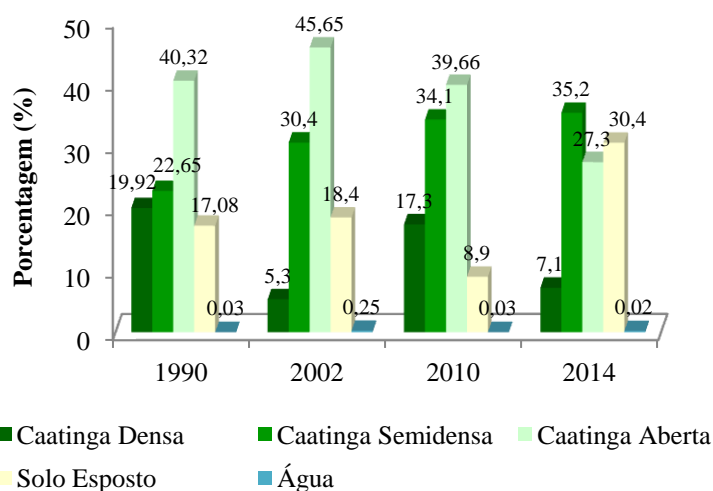


Figura 21. Percentual das classes de cobertura da terra na área de estudo nos anos de 1990 a 2014.

Por meio da análise do comportamento das chuvas na área de estudo no período que coincide com a época de captura da imagem (abril/2010) observa-se que a mesma foi obtida na estação chuvosa num momento posterior a um pico de precipitação, ocorrido em janeiro (Figura 22) onde choveu em média 102,7mm para a região da APA. Nos meses de fevereiro e março ocorreram chuvas moderadas. No mês de imageamento da cena (abril/2010) choveu em média 48,7mm na região da APA. Levando-se em consideração a data da imagem (estação chuvosa) é totalmente justificável a maior representatividade da cobertura vegetal no mapeamento.

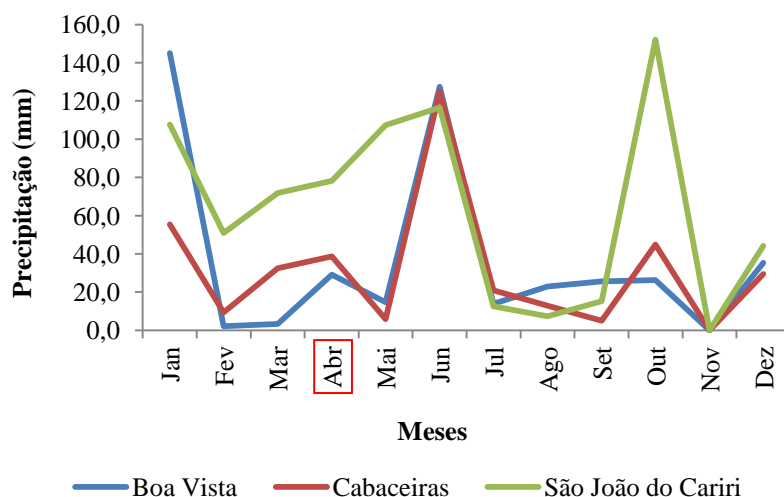


Figura 22. Chuvas acumuladas nos municípios de Boa Vista, Cabaceiras e São João do Cariri, sobre os quais se insere a APA do Cariri, abrangendo os meses de janeiro a dezembro de 2010. Fonte: AESA (2016).

Dessa forma, supõe-se que as primeiras precipitações tornaram os solos favorável ao ressurgimento da cobertura vegetal semidensa e densa resultando no desenvolvimento mais exuberante das partes verdes da vegetação as quais recobriram boa parte dos solos da APA no mapeamento do referido ano.

Silva, Lima & Almeida (2011), em estudo da sazonalidade da vegetação do bioma Caatinga, observaram que em imagem classificada da estação chuvosa (abril) a cobertura vegetal apresentou boa representatividade (56%) do bioma e, com diferença de poucos meses, na imagem classificada do mês de setembro (estação seca) do mesmo ano, a paisagem foi modificada completamente e a vegetação passou a cobrir apenas 37% de sua paisagem.

Analisando o mapeamento da cobertura da terra em 2014 (Figura 23) é possível perceber que houve uma redução expressiva das áreas vegetadas, representadas pelas fitofisionomias caatinga aberta, semidensa e densa, por toda a extensão da UC, as quais somadas não chegam a atingir 70% da área total da APA.

Este fato provavelmente pode estar relacionado às intervenções antrópicas no meio, sobretudo, ao uso dos recursos naturais (vegetação) de forma pouco sustentável. Os usos inadequados associados à influência das chuvas é o que pode ter ocasionado a redução das áreas vegetadas no mapeamento das coberturas em 2014, uma vez que a ocorrência de precipitações é um fator determinante na resposta da vegetação de caatinga, levando-se em consideração que a partir do ano de 2011 a região na qual insere-se a APA sofreu com os efeitos de uma seca acentuada e que em 2014 já haviam passados três anos com ausência de chuvas na região.

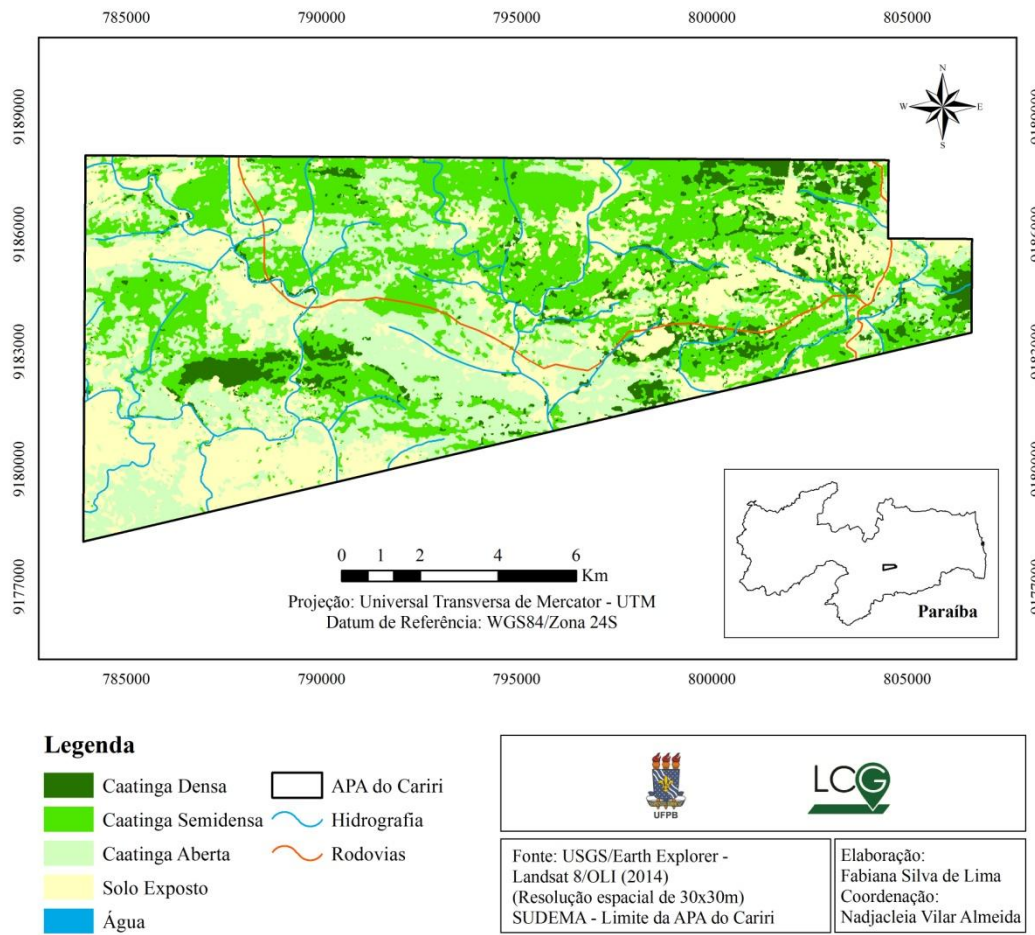


Figura 23. Cobertura da terra na Área de Proteção Ambiental do Cariri em 2014.

As áreas classificadas como caatinga densa em 2014 foram consideravelmente reduzidas, apresentando uma área de apenas 11,26 km² (7,14%) as quais apresentam-se na paisagem como fragmentos reduzidos e isolados, espalhados por toda a extensão da APA. Relacionando ao mapeamento de 2010, observa-se uma redução de 16,02 km² de cobertura vegetal densa representando uma perda na espacialidade da classe de 58,72%.

Observa-se que as áreas de maior densidade da caatinga estão localizadas sobretudo nas superfícies mais elevadas da APA, nas áreas de serras e morros isolados e nas áreas do entorno de afloramentos rochosos (Figura 24).

Quanto às áreas do entorno de afloramentos, os resultados aqui obtidos corroboram com as observações realizadas por Lunguinho *et al.* (2015) os quais estudando a influência dos lajedos na composição florística do seu entorno, em uma localidade dentro da APA do Cariri, colocam que as áreas de afloramentos rochosos funcionam como exportadores de água na época chuvosa devido a sua estrutura impermeável que favorece a ocorrência do escoamento superficial, o qual irá beneficiar as áreas do entorno propiciando a manutenção da

vegetação nessas áreas. Nessas condições, o meio físico, a geodiversidade, representada pelos lajedos, desempenha um papel ecológico imprescindível na manutenção da cobertura vegetal do seu entorno.



Figura 24. Área de caatinga densa localizada no entorno do afloramento rochoso Lajedo Salambaia, Cabaceiras – PB. Data: 07 mar. 2016 - Foto: Fabiana S. Lima

Ressalta-se que não foi objetivo da pesquisa a análise e diferenciação das formas de uso do solo existentes nas terras da UC. O foco da pesquisa repousa na análise da cobertura vegetal e suas oscilações no espaço ao longo do tempo. Assim, as áreas cobertas por algum tipo de cultura presente na área da UC, foram quantificadas às classes de cobertura vegetal consideradas no trabalho (caatinga densa, caatinga semidensa e caatinga aberta). Com relação às áreas cobertas com plantio de palma forrageira (*Opuntia fícus-indica*) (Figura 25), forma de cultivo bastante comum na região, ressalva-se que foram quantificadas à classe caatinga densa por apresentarem-se sempre verdes na paisagem. Francisco (2013) afirma que essas plantas, de folhas suculentas e arquitetura diferenciada, se destacam visualmente da vegetação seca da caatinga através de sua coloração verde intenso permanente.



Figura 25. Plantio de palma forrageira (*Opuntia fícus-indica*) no Sítio Salambaia, Cabaceiras – PB. Data: 05 mar. 2016 - Foto: Fabiana S. Lima

Verifica-se que houve um decréscimo das áreas cobertas pela classe caatinga aberta, que no mapeamento de 2010 apresentava uma área de 62,54 km² (39,66%) e em 2014 passou a apresentar uma área de 43,01 km² (27,28%), representando uma redução nessa classe de cobertura de 31,22%.

Por outro lado, a classe solo exposto registrou um aumento de 241,48% em comparação ao mapeamento anterior. As figuras (26a e 26b) representam áreas de solo exposto na APA em decorrência da supressão da cobertura vegetal.

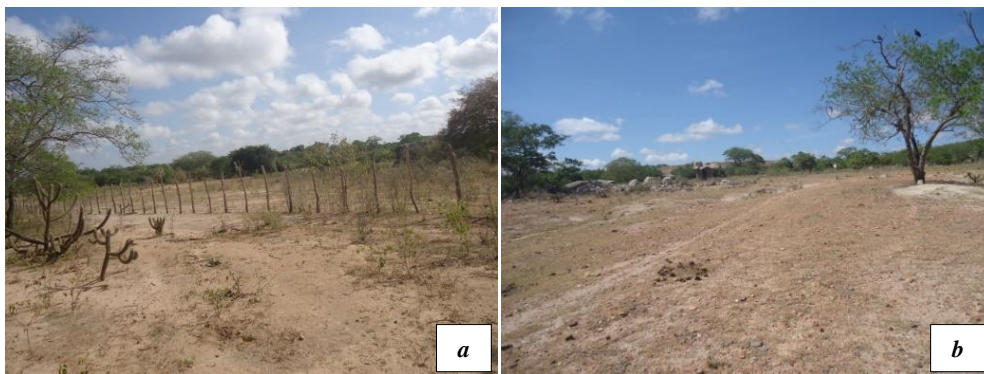


Figura 26. a) e b) Áreas com solos desprovidos de vegetação próximas ao Sítio Salambaia, Cabaceiras – PB.
Data: 05 mar. 2016 - Foto: Fabiana S. Lima

A Figura 27 mostra o comportamento pluviométrico ao longo do ano de 2014 para a região. Decorrente de sua análise percebe-se que a imagem foi capturada numa época imediatamente após a estação chuvosa, ocorrida entre os meses de março e maio em que houve uma maior intensidade pluviométrica na região. Apesar das precipitações ocorridas, a representatividade da cobertura vegetal no mapeamento não foi significativa, apresentando-se na paisagem como polígonos já bastante reduzidos, isso mostra que provavelmente a região está sendo utilizada mais intensamente nos últimos anos.

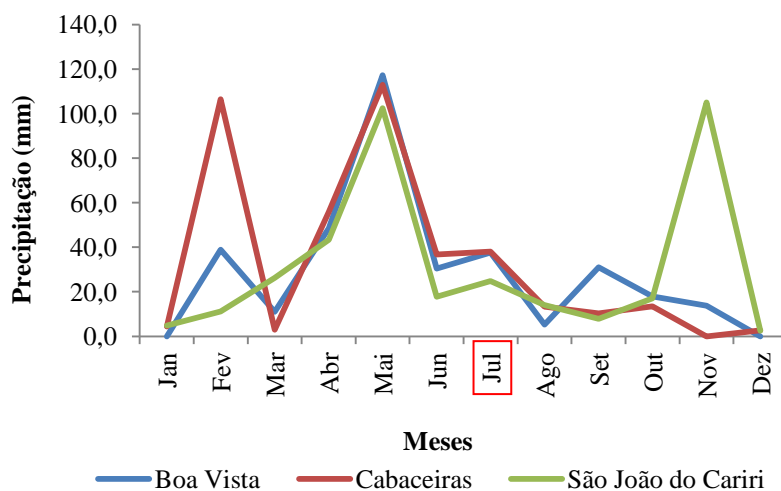


Figura 27. Chuvas acumuladas nos municípios de Boa Vista, Cabaceiras e São João do Cariri, sobre os quais se insere a APA do Cariri, abrangendo os meses de janeiro a dezembro de 2014. Fonte: AESA (2016).

O gráfico exposto na Figura 28 permite uma melhor observação das mudanças ocorridas nas classes de cobertura da terra ao longo do período analisado, sendo que o aumento ou decréscimo na espacialização de dada classe em área, medida em quilômetros, têm relação direta com as alterações no ambiente da área estudada.

Observa-se que a classe caatinga densa foi a que apresentou maior variabilidade espacial no período estudado, com decréscimo considerável no ano de 2002, vindo a aumentar sua área em 2010 e novamente um decréscimo no último ano estudado (2014). Verifica-se ainda que as classes que menos variaram entre 1990 e 2014 foram a caatinga semidensa e caatinga aberta.

A classe solo exposto apresentou pouca variabilidade nos dois primeiros anos avaliados, vindo a apresentar um decréscimo em 2010, provavelmente devido ao aumento nas espacializações das classes de caatinga (densa e semidensa) nesse ano, e registrando em 2014 sua maior representatividade no período considerado para a pesquisa.

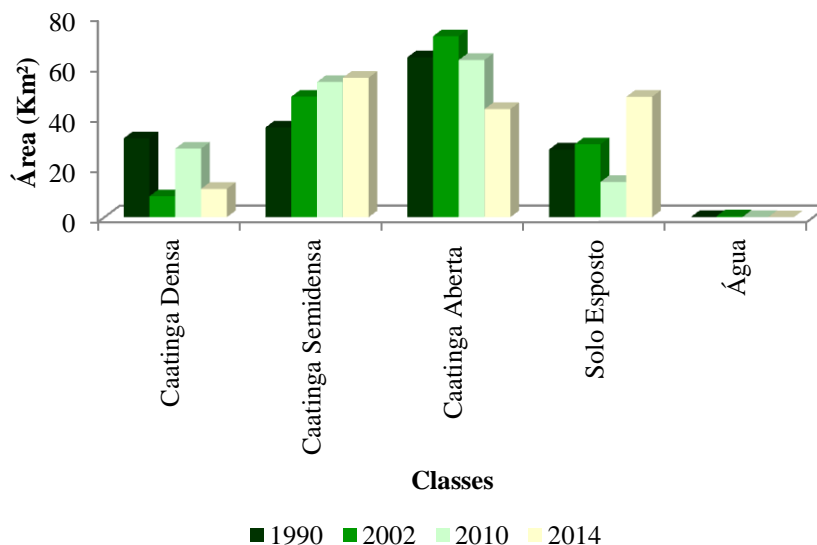


Figura 28. Gráfico comparativo entre as classes de cobertura da terra para a área de estudo nos anos de 1990 a 2014.

De modo geral, os resultados obtidos no processamento das imagens e nos trabalhos de campo, estão em concordâncias com as observações de Silva, Lima & Almeida (2011) quando afirmam que os fatores ambientais naturais condicionam a heterogeneidade da caatinga, sobretudo quanto a densidade e ao porte de sua vegetação. Os autores apontam como exemplo o déficit hídrico nas áreas de lajedos (superfície de afloramentos rochosos) as quais apresentarem plantas de menor porte associadas. Nesses ambientes, predominam bromélias e cactáceas que estabelecem-se em fendas formadas na rocha pela ação do intemperismo físico.

Os resultados obtidos sugerem uma relação entre o relevo da superfície com a ocorrência de cobertura vegetal mais densa. Foi observado que os remanescentes da caatinga que apresentam maior densidade, recobrem as superfícies mais elevadas, sugerindo áreas mais bem preservadas dentro da UC onde a intervenção antrópica, provavelmente é menos efetiva devido a dificuldade no acesso para exploração. Esse resultado corrobora com as observações feitas por Paes-Silva, Chaves & Sampaio (2003) os quais realizando o inventário da cobertura vegetal na sub-bacia hidrográfica do Açude Namorados, São João do Cariri-PB, observaram relação entre a vegetação e as áreas mais declivosas, onde verificaram a ocorrência de vegetação mais densa em áreas com maiores altitudes.

Resultado semelhante foi encontrado por Seabra *et al.* (2014) os quais analisando a distribuição espacial dos remanescentes da caatinga na bacia do rio Taperoá, observaram que as áreas serranas com topos ondulados apresentam percentual considerável de remanescentes

da caatinga. Esses autores colocam que os terrenos mais íngremes e com maiores altitudes oferecem maiores dificuldades para o estabelecimento das atividades responsáveis pela supressão da caatinga e com isso mantenham ainda ótimas condições de preservação de manchas.

5.3 Dinâmica da cobertura vegetal na APA do Cariri no período compreendido entre 2002 - 2014

Como descrito na metodologia, visando diagnosticar a variabilidade espacial da cobertura vegetal nos anos analisados foram elaborados, através da operação de álgebra de mapas, os mapas temáticos da dinâmica da cobertura vegetal que espacializam as alterações ocorridas, quanto à supressão, regeneração e/ou manutenção da vegetação nos anos de 2002, 2010 e 2014.

Por meio da análise do mapa da dinâmica da vegetação 1990-2002 (Figura 29), percebe-se a maior representatividade das áreas cuja cobertura vegetal se manteve preservada (Conservada/Preservada) de 1990 a 2002, apresentando uma área de 66,65 km² equivalentes a 42,27% da área da APA (Tabela 2).

Verifica-se que as áreas onde ocorreram perdas na cobertura vegetal (Perda de Cobertura) estão concentradas principalmente a norte, a oeste e a nordeste da APA, apresentando uma área de 35,89 km² representando 22,76% da área total mapeada.

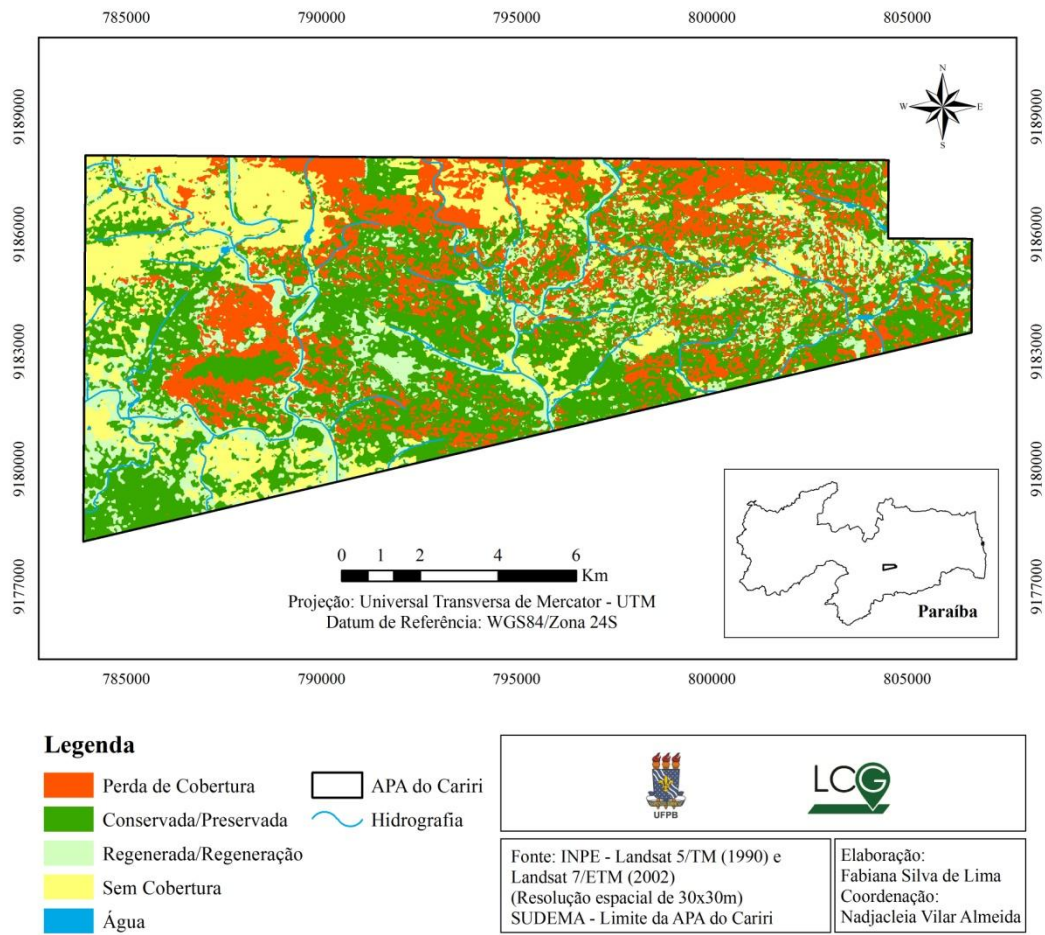


Figura 29. Dinâmica da cobertura vegetal na APA do Cariri 1990-2002.

Tabela 2. Quantificação das áreas ocupadas pelas classes de cobertura da terra em 1990-2002, 2002-2010 e 2010-2014 na área de estudo.

CLASSES	1990-2002		2002-2010		2010-2014	
	Área (Km ²)	Área (%)	Área (Km ²)	Área (%)	Área (Km ²)	Área (%)
Conservada/Preservada	66,65	42,27	67,74	42,96	64,47	40,89
Regenerada/Regeneração	25,72	16,31	65,17	41,33	7,27	4,61
Perda de Cobertura	35,89	22,76	10,69	6,78	38,01	24,11
Sem Cobertura Vegetal	29,02	18,41	14,04	8,9	47,91	30,38
Água	0,39	0,25	0,05	0,03	0,02	0,01
TOTAL	157,67	100	157,69	100	157,68	100

Comparando-se os resultados dos mapas da dinâmica da vegetação em 1990-2002 com o mapa de 2002-2010 (Figura 30) verifica-se que as áreas classificadas como regenerado ou em estado de regeneração (Regenerada/Regeneração) tiveram um acréscimo de 153,38% para a classe em relação a 1990-2002. Essas áreas estão concentradas a norte e a noroeste da

UC. Enquanto as áreas classificadas como Perda de Cobertura tiveram em 2002-2010 um decréscimo considerável de 70,21%, vindo a apresentar uma área de 10,69 km² (6,78%) quando em 1990-2002 a área coberta por essa classe era de 35,89 km² (22,76%).

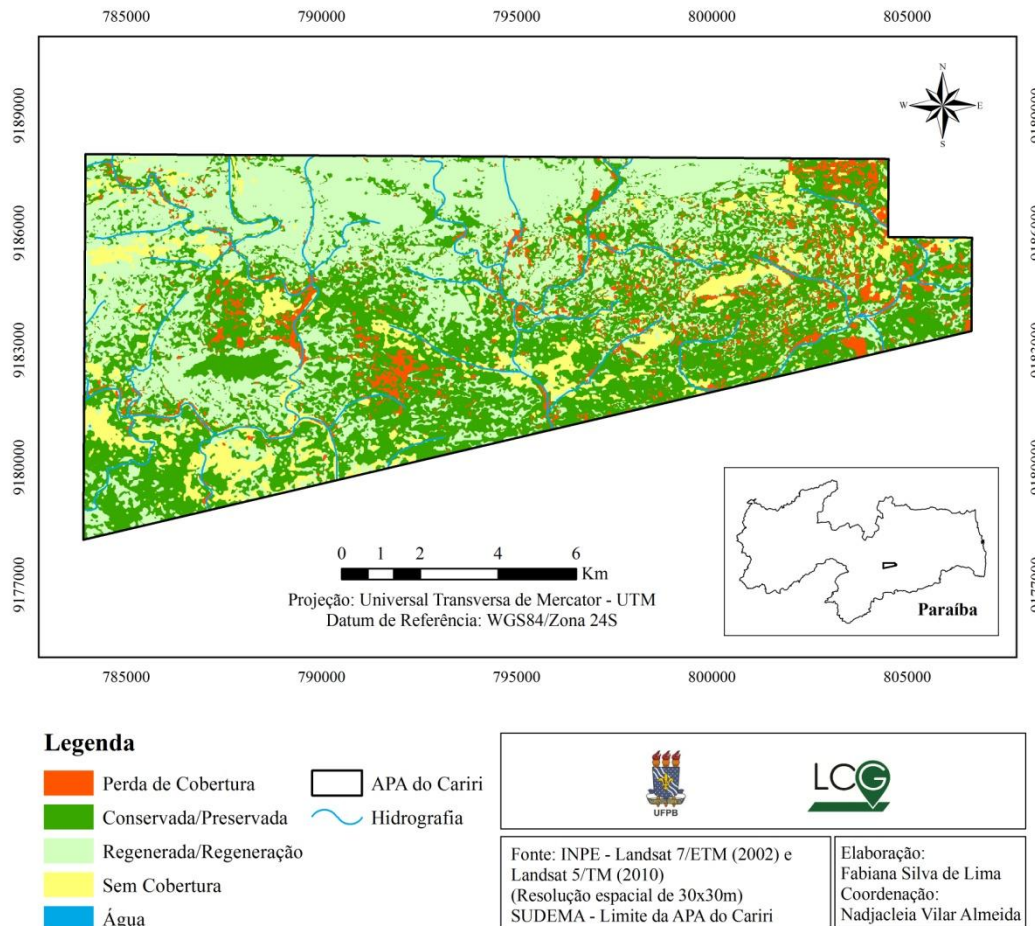


Figura 30. Dinâmica da cobertura vegetal na APA do Cariri 2002-2010.

Com relação às áreas classificadas como Sem Cobertura vegetal, verifica-se que ocorreu uma significativa redução em sua distribuição espacial, onde em 1990-2002 cobriam uma área de 29,02 km² (18,41%), passou a apresentar em 2002-2010 uma área de 14,04 km² representando 8,9% da APA. Verifica-se que houve uma redução de 14,98 km² de área representando uma perda na espacialidade dessa classe de 51,61%.

Confrontando com a tendência encontrada no mapeamento anterior, os resultados do mapeamento da dinâmica da cobertura vegetal de 2010-2014 (Figura 31) mostram que houve uma expansão significativa das áreas classificadas como Perda de Cobertura vegetal e da classe Sem Cobertura, apresentando uma aumento/ganho na espacialidade da classe de 255,56% e 241,23% respectivamente em relação ao mapeamento anterior.

As áreas Sem Cobertura representam 30,38% da área estudada, ou 47,91 km² de extensão em termos de área. Essas áreas estão localizadas principalmente próximo ao leito dos rios, com uma maior representatividade a sudoeste da APA. Supõe-se, que o avanço na espacialidade das áreas Sem Cobertura e com Perda de Cobertura seria fruto da seca severa que estava instalada na região nesse período.

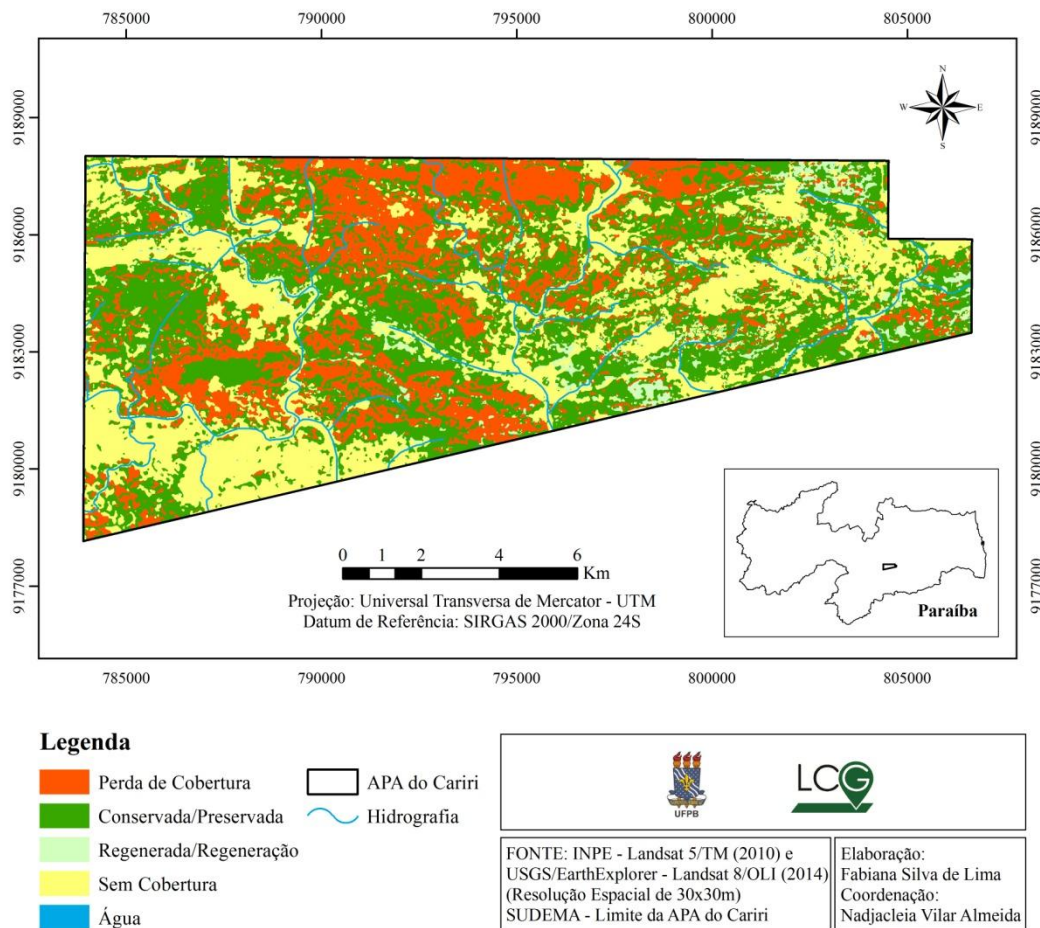


Figura 31. Dinâmica da cobertura vegetal na APA do Cariri 2010-2014.

A figura 30 representa graficamente a dinâmica da vegetação no período avaliado. Por meio de sua análise, percebe-se que as áreas classificadas como Preservado/Conservado mantiveram-se estáveis ao longo do período de análise (2002/2014) não apresentando variações significativas de uma década para outra. Em contrapartida, a categoria Regenerado/Regeneração foi a classe que apresentou maior variabilidade espacial ao longo do período, seguida pela classe Sem Cobertura Vegetal.

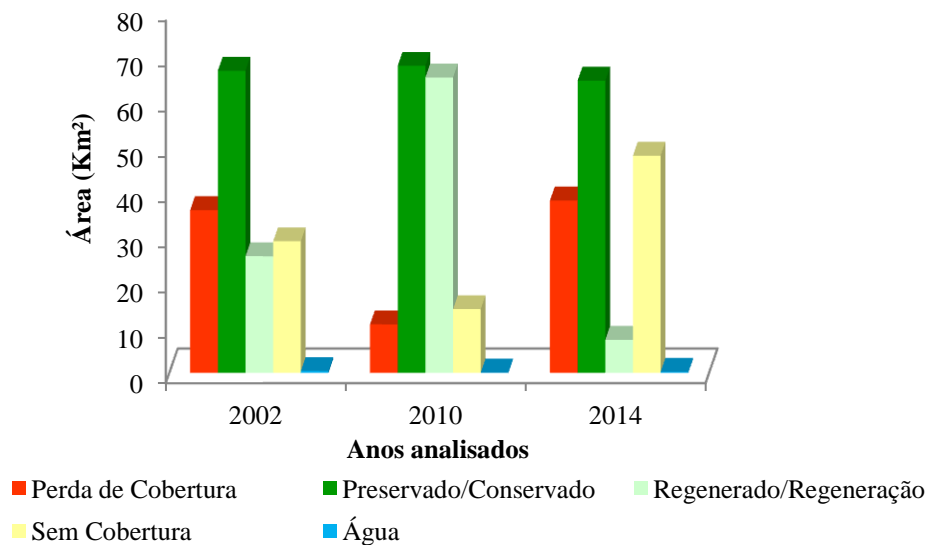


Figura 32. Gráfico comparativo entre as classes de situação da cobertura vegetal na área de estudo nos anos de 2002, 2010 e 2014.

A classe Água pouco representou no mapeamento da situação dos anos avaliados, em termos de porcentagem e de área, mesmo nos anos onde os índices pluviométricos foram relativamente altos, levando-se em consideração as condições de semiaridez com temperaturas elevadas que favorece a evaporação dos corpos d'água.

Quanto a dinâmica no comportamento das classes temáticas definidas para diagnosticar a situação das coberturas da terra na área de estudo ao longo do tempo, os resultados obtidos no presente trabalho assemelham-se aos resultados alcançados por Silva *et al.* (2013) os quais em estudo semelhante, utilizando-se de álgebra de mapas e classes temáticas para espacializar a evolução do desmatamento e dinâmica da cobertura vegetal no município de Parari-PB no período compreendido entre 1988-2005, concluíram que as áreas de mata presentes no município foram desmatadas até 2005 e as áreas onde antes eram cobertas por vegetação densa, foram substituídas por vegetação rala.

6 CONCLUSÃO

Qualquer intervenção no meio, seja de ordem natural ou antrópica, causa mudança no ritmo do ecossistema. Essa disritmia reverbera na forma de alterações nos componentes ambientais mais sensíveis da paisagem. Um desses componentes, altamente sensível às mudanças no meio, é a cobertura vegetal que naturalmente possui um comportamento dinâmico que por sua vez pode ser intensificado negativamente ou não em consequência das interferências no seu entorno.

O comportamento dinâmico da cobertura vegetal da área estudada, ao longo do tempo, foi espacializado no estudo através da manipulação de imagens captadas por sensores remotos com auxílio de ferramentas do geoprocessamento e das técnicas do sensoriamento remoto num SIG.

A utilização de tais técnicas em consonância com a confecção de mapas temáticos com fins de espacializar mudanças na cobertura vegetal na APA do Cariri demonstrou-se satisfatória.

O método da Classificação Supervisionada para o mapeamento da dinâmica da cobertura vegetal na área de estudo mostrou-se eficiente e satisfaz perfeitamente as perspectivas do trabalho.

Os estudos desenvolvidos no âmbito da pesquisa demonstram que a distribuição espacial e dinâmica temporal das classes de caatinga e demais coberturas da terra na APA do Cariri estão atreladas aos aspectos fisiográficos da paisagem da região semiárida paraibana. Dentre estes aspectos, de ordem natural, conclui-se que a precipitação pluviométrica exerce um papel importante para a distribuição espacial e o estágio em que as coberturas apresentaram-se nas imagens e consequentemente nos mapeamentos, ora mais preservados (maior biomassa vegetal) nos períodos cujas precipitações ocorreram de forma mais significativa nos meses antecedentes à data de captura da imagem, ora menos preservados (menor biomassa) nos períodos cujos índices pluviométricos foram menos expressivos quando da época de imageamento das cenas.

Outro aspecto diz respeito ao grau de declividade do terreno o qual confere à cobertura vegetal, de certa forma, um fator de proteção devido a dificuldade de acesso.

No que se refere aos mapeamentos, conclui-se que a cobertura vegetal da APA do Cariri oscilou ao longo do período analisado: em 1990 a vegetação densa recobria 31,4 km² (19,92%) da APA, registrando no mapeamento seguinte (2002) uma redução significativa, onde as áreas cobertas por essa classe de cobertura da terra apresentaram 8,35 km² (5,3%).

Em 2010, período posterior à transformação da área em uma UC, foi registrado um decréscimo da classe solo exposto (8,9%) e aumento das classes caatinga densa (17,3%) e semidensa (34,11%). Em 2014 houve redução das classes caatinga densa (7,14%) e aberta (27,28%) enquanto as áreas com solo exposto aumentaram, com 47,91 km² (30,39%).

Os resultados mostraram que a vegetação da caatinga tem relações significativas com os fatores físicos (precipitações e relevo) os quais influenciam na distribuição espacial e temporal da vegetação. Questões relacionadas ao antropismo associado a questões ligadas aos solos também exercem influencia na distribuição espaço-temporal da vegetação.

Para subsidiar o monitoramento dos recursos naturais da caatinga presentes na APA, sobretudo, da flora remanescente pertencente a esse ecossistema único, estudos complementares agregando novas variáveis para análise e/ou metodologias para espacializar mudanças na paisagem, sobretudo, mudanças na cobertura vegetal devem ser realizados, com vistas a se obter resultados análogo, complementar e/ou discordantes quanto aos resultados aqui apresentados.

REFERÊNCIAS

- AB'SÁBER, A. N. **O domínio morfoclimático das caatingas brasileiras.** In.: Geomorfologia. São Paulo, Instituto de Geografia, Universidade de São Paulo, n. 43, 1974.
- AESA. Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. Disponível em: < <http://www.aesa.pb.gov.br> >. Acesso em: 15 jan. 2016.
- AESA. Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. **Relação dos postos/municípios monitorados.** Disponível em: < <http://site2.aesa.pb.gov.br/aesa/monitoramentoPluviometria.do?metodo=listarMesesChuvamMensais> >. Acesso em: 01 abr. 2016.
- ALMEIDA, N. V. **Ordenamento territorial geoambiental da bacia hidrográfica do Rio Taperoá, semiárido paraibano.** Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal Fluminense. Niterói-RJ: [s.n.], 2012. 238f.
- BASTOS, F. H.; CORDEIRO, A. M. N. **Fatores naturais da evolução das paisagens no semiárido brasileiro: uma abordagem geral.** Revista GEONORTE, Edição Especial. v. 2. n. 4. p.464-476. 2012.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. **Levantamento/reconhecimento de solos do estado da Paraíba.** Convênio MMA/CONTAP/USAID/Brasil. Rio de Janeiro: SUDENE/DRN, 1972. 670 p.
- CÂMARA, J. B.; DAVIS, C. **Introdução.** In: Geoprocessamento: teorias e aplicações. Introdução à ciência da geoinformação. CÂMARA, G.; DAVIS, C. & MONTEIRO, A. M. V. (Orgs.). DPI. INPE. 2008.
- CARVALHO, V. C. & FREITAS, M. W. D. **Mapeamento das paisagens em nível de geossistema de três áreas representativas do bioma Caatinga.** Anais XII Simpósio de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abr. 2005, INPE, p. 2087-2099.
- CARVALHO, M. G. F. **Estado da Paraíba: Classificação geomorfológica.** João Pessoa: Editora Universitária, 1982. 72p.
- CASTELLETTI, C. H. M.; SANTOS, A. M. M.; TABARELLI, M. & SILVA, J. M. C. **Quanto ainda resta da caatinga? Uma estimativa preliminar.** In.: LEAL, I. R.; TABARELLI, M. & SILVA, J. M. C. (Orgs.). Ecologia e conservação da caatinga. – Recife: Editora Universitária da UFPE, 2003, p.719-734.
- CHAVES, I. B.; FRANCISCO, P. R. M.; LIMA, E. R. V.; SILVA, B. B.; BRANDÃO, Z. N.; CHAVES, L. H. G. **Índices espectrais, diagnóstico da vegetação e degradação da caatinga na Bacia do Rio Taperoá-PB.** Cap.2, p.23-47, 2013. In: SILVA, B. B. da (org.). Aplicações brasileiras de geoprocessamento e sensoriamento remoto. EDUFPG: Campina Grande-PB, 2013.

CENTENO, J. A. S. **Sensoriamento remoto e processamento digital de imagens digitais.** – Curitiba: Ed. Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná, 2004. 219 p.

COE, H. H. G.; SOUZA, L. O. F.; RICARDO, S. D. F. & DIAS, R. R. **Ecologia e biodiversidade vegetal do bioma caatinga – alguns exemplos no Rio Grande do Norte.** Teresina: Revista Equador, Ed. especial 02. v. 04, n. 03, ano 2015.

CONTI, J. B.; FURLAN, S. A. **Geoecologia: o clima, os solos e a biota.** In: Geografia do Brasil. ROSS, J. L. S. (org.). --3 ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo – Edusp, – (Didática; 3). 2000.

COSTA, T. C. C.; ACCIOLY, L. J. O.; OLIVEIRA, L. M. T.; OLIVEIRA, M. A. J.; GUIMARÃES, D. P. **Interação de fatores biofísicos e antrópicos com a diversidade florística na indicação de áreas para conservação do bioma Caatinga.** Sociedade & Natureza, Urberlândia, 21 (1): 19-37, Abr. 2009.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. C. F. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico econômico e ao ordenamento territorial.** São José dos Campos, SP: INPE, 2001, 113p.

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

FERREIRA, P. S. M; TROVÃO, D. M. B. M; MELO, J. I. M. **Leguminosae na APA do Cariri, Estado da Paraíba, Brasil.** Hoehnea 42(3): 531-577, 1tab., 4 fig., 2015.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em sensoriamento remoto.** -- 3 ed. atualizada e ampliada. - São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 128 p.

FLORENZANO, T. G. **Sensoriamento remoto para geomorfologia.** In.: FLORENZANO, T. G. (Org.) Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais. -- São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

FORMIGONI, M. H.; XAVIER, A. C.; LIMA, J. S. S. **Análise temporal da vegetação na região Nordeste através de dados EVI MODIS.** Ciência Florestal, Santa Maria, v. 21. n. 1. p. 1-8, jan.-mar., 2011.

FRANCA-ROCHA, W; SILVA, A B; NOLASCO, M. C; LOBÃO, J; BRITTO, D; CHAVES, J M; ROCHA, C. C. **Levantamento da cobertura vegetal e do uso do solo do Bioma Caatinga.** In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 13. Anais..., Florianópolis, 2007, INPE, p.2629-2636.

FRANCISCO, P. R. M. **Modelo de mapeamento de deterioração do Bioma Caatinga da Bacia Hidrográfica do Rio Taperoá, PB.** Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)/UFCC-Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. – Campina Grande, 2013. 97f.

FURLAN, M. C. **Modelagem dinâmica de Uso e Cobertura da terra da bacia do Arroio Grande – RS**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Geomática, Rio Grande do Sul, 2012. 129 f.

GEOBANK – CPRM – Banco de Dados Geológico da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Serviço Geológico do Brasil. Disponível em: <<http://geobank.cprm.gov.br/>>. Acesso em: 16 de fev. de 2016.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Catálogo de Imagens**. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>> Acesso em: 24 fev.2016.

INPE. Manual do Usuário SPRING: **Tutorial de Geoprocessamento**. Disponível em <<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/index.html>>. Acesso em 14 mar. 2016.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. Tradução: EPIPHANIO, José Carlos Neves (coordenador)... [et al.]. 2 ed.– São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009. 598p.

LAGES, G. A.; MARINHO, M. S.; NASCIMENTO, M. A. L.; MEDEIROS, V. C.; DANTAS, E. L. FIALHO, D. **Mar de Bolas do Lajedo do Pai Mateus, Cabaceiras, PB – Campo de matacões graníticos gigantes e registros rupestres de civilização pré-colombiana**. In: WINGE, M.; SCHOBENHAUS, C.; SOUZA, C. R. G.; FERNANDES, A. C.S.; BERBERT-BORN, M.; SALLUN FILHO, W.; QUEIROZ, E. T. (Edit.) *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*. Disponível em: <<http://sigep.cprm.gov.br/sitio068/sitio068.pdf>>. 2013. Acesso em 18/05/2013.

LEAL, I. R.; SILVA, J. M. C.; TABARELLI, M.; LACHER JR, T. E. **Mudando o curso da conservação da biodiversidade na Caatinga do nordeste do Brasil**. In: Conservação Internacional do Brasil (ed). Megadiversidade. Belo Horizonte, v.1.p. 139-146, 2005.

LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. **Ecologia e conservação da caatinga: uma introdução ao desafio**. In.: LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. (Orgs.) *Ecologia e conservação da caatinga*. – Recife: Editora Universitária da UFPE, 2003. 8222 p.

LIMA, E. A.; MACHADO FILHO, H. O.; MELO, J. I. M. **Angiospermas aquáticas da Área de Proteção Ambiental (APA) do Cariri, Paraíba, Brasil**. *Rodriguésia* 64(4): 667-683. 2013.

LIMA, E. R.; CHAVES, I. B; OLIVEIRA, W. M. **Índices espectrais de vegetação de caatinga em um Neossoli Litólico do semiárido paraibano**. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal – RN: INPE, 2005, p.2103-2110.

LIESENBERG, V.; PONZONI, F. J. **Avaliação de cenários referentes à cobertura vegetal, em área de domínio da Mata Atlântica, com base no Código Florestal Brasileiro**. XI SBSR, Belo Horizonte, Brasil, 05-10 abr. 2003. INPE, p. 1863-1865.

LIU, W. T. H. **Aplicações de sensoriamento remoto**. Campo Grande: Ed. UNIDERP, 2006. 908 p.

LUNGUINHO, R. L.; SOUZA, B. I.; QUEIROZ, R. T. & CARDOSO, E. C. M. **Influência dos lajedos na composição florística do seu entorno, no sítio Salambaia – Cabaceiras-PB.** Teresina: Revista Equador, Ed. especial 02. v. 04, n. 03, ano 2015.

MACHADO FILHO, H. O. **Composição florística de um ambiente rochoso da Área de Proteção Ambiental (APA) do Cariri, Paraíba: diversidade, riqueza e fitogeografia /** Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação) – Universidade Estadual da Paraíba, Pró-Reitoria de Pós-Graduação. 118 f. 2011.

MAIA-SILVA, C.; HRNCIR, M.; QUEIROZ, R. T. & IMPERATRIZ-FONSECA, V. L. **Guia de plantas: visitadas por abelhas na caatinga.** --1. ed. -- Fortaleza, CE: Editora Fundação Brasil Cidadão, 2012. 99p.

MALDONADO, F. D; SANTOS, J. R.; CARVALHO, V. C. **Rotação espectral controlada como alternativa em análise por componentes principais para detecção de mudanças em região do semiárido.** XI SBSR, Belo Horizonte, Brasil, 05-10 abr. 2003, INPE, p. 1969-1976.1975 In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10. Foz do Iguaçu, Paraná. Abril, 2001. *Anais...* São José dos Campos: INPE, 2001.

MEDEIROS, J. R.; MAIA, R. S.; SILVA NETO, M. L.; SOUZA, B. I. **Levantamento da vegetação na área do lajedo da Salambaia-PB/Brasil.** In.: *Biogeografia: Propostas teóricas, metodológicas e técnicas para fins de conservação ambiental.* XVI Simpósio de Geografia Física e Aplicada. “Territórios Brasileiros: Dinâmicas, potencialidades e vulnerabilidades”. Teresina, Piauí 28/jun a 04/jul de 2015. p. 3511-3518.

MENESES, L. F.; NASCIMENTO, M. A. L. **Proposta de frameworks para inventariação de geossítios do Cariri Paraibano.** Caderno de Geografia, v. 24, n. 42, 2014.

MENESES, P. R. **Sensores imageadores multiespectrais na faixa óptica (0,45 – 2,5 µm).** In: MENESES, P. R. & ALMEIDA, T. (Orgs.). *Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto.* CNPq. Brasília, 2012a. p.34-46.

MENESES, P. R. **Princípios de Sensoriamento Remoto.** In: MENESES, P. R. & ALMEIDA, T. (Orgs.). *Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto.* UnB. CNPq. Brasília, 2012b. p.01-33.

MENESES, P. R. & ALMEIDA, T. **Distorções e correções dos dados da imagem.** In: MENESES, P. R. & ALMEIDA, T. (Orgs.). *Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto.* UnB. CNPq. Brasília, 2012. p.82-102.

MENESES, P. R.; SANO, E. E. **Classificação pixel a pixel de imagens.** In: MENESES, P. R. & ALMEIDA, T. (Orgs.). *Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto.* UnB. CNPq. Brasília, 2012. p. 191-208.

MORAES, E. C. **Fundamentos de sensoriamento remoto.** Cap. 1. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. São José dos Campos, 2002.

MONTEIRO, T. R. R. **Uso dos solos, índice de vegetação e degradação na APA das Onças-PB.** Dissertação (Mestrado) – UFPB/CCEN. João Pessoa, 2013. 104f.:il.

MMA/IBAMA, (2010). Monitoramento dos biomas brasileiros por satélite acordo de cooperação técnica MMA/IBAMA. **Monitoramento do Bioma Caatinga 2002 a 2008**. Centro de Sensoriamento Remoto – CSR/IBAMA. Brasília, 12 de mar. 2010.

NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. -- 4 ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2010. 387p.

PAES-SILVA, A. P.; CHAVES, I. B.; SAMPAIO, E. V. S. B. **Cobertura vegetal da bacia hidrográfica do açude Namorado no Cariri paraibano**. Agropecuária Técnica - Areia, PB, CCA/UFPB, v.24, n.1, 2003.

PARAÍBA. **Atlas Geográfico do Estado da Paraíba**. Secretaria da Educação – Governo do Estado da Paraíba. Universidade Federal da Paraíba – UFPB. João Pessoa. *Grafiset* – p. 100, 1985.

PARAÍBA. Decreto nº 25.083, de 08 de junho de 2004. Dispõe sobre a criação da Área de Proteção Ambiental do Cariri. João Pessoa, 2003. Disponível em: <<http://www.sudema.pb.gov.br>>. Acesso em 21 fev. 2016.

PEREIRA, R. A.; MELO, J. A. B.; SILVA, M. T.; ALMEIDA, N. V. **Análise do comportamento espectral da cobertura vegetal de uma área de caatinga, após sucessivas estiagens**. Caminhos de Geografia, v. 10, n. 29, p. 88-96. Uberlândia, 2009.

PEREIRA, R. A.; MELO, J. A. B.; DANTAS NETO, J.; BARBOSA, E. M. **Análise do comportamento espectral da cobertura vegetal de São João do Cariri-PB no espaço temporal de vinte anos (1987-2007), sob condições diversas de utilização**. Caminhos de Geografia, v. 11, n. 38, p. 68-80. Uberlândia, 2010.

PIMENTEL, J. V. F.; GUERRA, H. O. C. **Semiárido, caatinga e legislação ambiental**. Publicado pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências Jurídicas, UFPB – 2009.

PONZONI, F. J; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos: Editora Parêntese, 2007. v. 1. 140p.

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

PRADO, D. E. **As caatingas da América do Sul**. In.: LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. (Orgs.) Ecologia e conservação da caatinga. – Recife: Editora Universitária da UFPE, 2003. 03-74p.

PROGRAMA DE AÇÃO ESTADUAL DE COMBATE À DESERTIFICAÇÃO E MITIGAÇÃO DOS EFEITOS DA SECA NO ESTADO DA PARAÍBA: PAE-PB. –João Pessoa: secretaria de Estado dos Recursos Hídricos, do Meio Ambiente e da Ciência e Tecnologia. Superintendência de Administração do Meio Ambiente – SUDEMA, 2011.

RIBEIRO, G. N.; SILVA, J. R. S.; ROCHA, R. N. R.; FRANCISCO, P. R. M. **Análise da utilização do NDVI em estudos ambientais na Paraíba na última década (2004-2014)**. Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), João Pessoa-PPB, Brasil, 25 a 29 abr.2015. INPE.

ROSA, R. **Geotecnologias na geografia aplicada**. Revista do Departamento de Geografia, 16, p.18-90, 2005.

RODAL, M. J. N.; SAMPAIO, E. V. de S. B.; FIGUEIREDO, M. A. (org.). **Manual sobre métodos de estudos florístico e fitossociológico: ecossistema caatinga**. Brasília: SB, 2013. 24p.

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

SANTOS, J. Processamento Digital. Geotecnologias e software livre. **ARCGIS: Rescale em Batch, composição colorida RGB e fusão de imagens Landsat 8**. Tutorial. 2013. Disponível em: <<http://docplayer.com.br/11975333-Arcgis-rescale-em-batch-composicao-colorida-rgb-e-fusao-de-imagens-landsat-8.html>>. Acesso em: 17 mar. 2016.

SANTOS, J. Processamento Digital. Geotecnologias e software livre. **QGIS 2.6 + GDAL. Transformação radiométrica para imagens Landsat 8: conversão de 16 bit para 8 bit**. Tutorial. 2014. Disponível em: <http://www.processamentodigital.com.br/wp-content/uploads/2014/12/20141203_QGIS26_Landsat8_16Bit_para_08Bit.pdf>. Acesso em: 17 mar. 2016.

SARAIVA, A. G. S. **Análise multitemporal do processo de desertificação do município de Boa Vista-PB utilizando dados de sensoriamento remoto e técnicas de tratamento digital de imagens**. Monografia (Curso Superior de Tecnologia em Geoprocessamento). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – IFPB. João Pessoa-PB, 2010. 110p.

SEABRA, V. S.; XAVIER, R. A.; DAMASCENO, J.; DORNELLAS, P. C. **Distribuição dos remanescentes de caatinga por unidades geomorfológicas da bacia do Rio Taperoá-PB**. Anais do Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto – GEONORDESTE 2014. Aracajú, Brasil, 18-21 nov. 2014.

SILVA, G. J.; ALMEIDA, N. V. GOMES, L. C. F.; SANTOS, O. K. A. **Degradação ambiental na microrregião do Cariri paraibano**. Revista Brasileira de Geografia Física. v.6, n. 4. 2013. p.823-837.

SILVA, K. S. T.; LIMA, A.; ALMEIDA, A. M. **Estudo da sazonalidade da caatinga com dados do sensor MODIS**. In.: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR. Anais.... INPE. p.1881-1887. Curitiba, PR, Brasil. 30 abr. a 05 mai de 2011.

SOUZA, B. I. **Cariri paraibano: do silêncio do lugar à desertificação**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Programa de Pós-Graduação em Geografia. – Porto Alegre, RS: UDRGS/PPGEO, 2008. [198 f.]. II.

SISTEMA NACIONAL DE UNIDADES DE CONSERVAÇÃO DA NATUREZA - SNUC, lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000; decreto nº 4.340 de 22 de agosto de 2002. 5 ed. aum. Brasília: MMA/SBF,2004. 56p.

SUDENE - Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. Carta topográfica na escala 1:100.000: folha Boqueirão (SB.24-Z-D-III). 2ª ed. 1972.

USGS – Earth Explorer. 2016. Disponível em: <<http://earthexplorer.usgs.gov>>. Acesso em 14 mar. 2016.