



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE SOLOS E ENGENHARIA RURAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

FABIANA DONATO SOARES LISBOA

**USO DE GEOTECNOLOGIAS NA CARACTERIZAÇÃO
FÍSICO-AMBIENTAIS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO
FARINHA-PB**

Areia - PB
Março/ 2016

FABIANA DONATO SOARES LISBOA

**USO DE GEOTECNOLOGIAS NA CARACTERIZAÇÃO
FÍSICO-AMBIENTAIS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO
FARINHA-PB**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba, em cumprimento às exigências, para obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Guttemberg da Silva Silvino

Areia - PB
Março/ 2016

Ficha Catalográfica Elaborada na Seção de Processos Técnicos da
Biblioteca Setorial do CCA, UFPB, Campus II, Areia – PB.

L769u Lisboa, Fabiana Donato Soares.

Uso de geotecnologias na caracterização físico-ambientais da bacia hidrográfica do Rio Farinha-PB / Fabiana Donato Soares Lisboa. - Areia: UFPB/CCA, 2016.

58 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2016.

Bibliografia.

Orientador: Guttemberg da Silva Silvino.

1. Sensoriamento remoto 2. Geoprocessamento 3. Geotecnologias – Estudo geomorfológico I. Silvino, Guttemberg da Silva (Orientador) II. Título.

UFPB/CCA

CDU: 528.8(043.3)

FABIANA DONATO SOARES LISBOA

**USO DE GEOTECNOLOGIAS NA
CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-AMBIENTAIS DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO FARINHA-PB**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ciências do Solo, da
Universidade Federal da Paraíba aprovada em 21 de março de 2016.

BANCA EXAMINADORA




Prof. Dr. Guttemberg da Silva Silvino
(Orientador, PPGCS/ CCA)



Prof. Dr. Laudízio da Silva Diniz
(Examinador, CAGEPA)



Prof. Dr. Carlos Lamarque Guimarães
(Examinador, IFPB)



Prof. Dr. Fabrício Lopes de Macedo
(Examinador, PNPD/ CCA)

Dedicatória

Aos meus Pais, pelo amor e dedicação que cuidam de mim, à Minha Avó "*in memoriam*"
que me viu iniciar esta jornada lá do céu.

AGRADECIMENTOS

Agradeço acima de tudo a Deus pela força espiritual e superação das turbulências vividas durante a trajetória da pesquisa, superando as dificuldades, me mostrando o caminho nas horas incertas e suprindo em todas as minhas necessidades.

Aos meus pais, Betania e Flaviano, por terem me dado educação e valores e por muitas vezes, renunciarem aos seus sonhos para que eu pudesse realizar o meu, partilho a alegria deste momento.

Ao meu irmão, Fabio, pelas constantes brigas e imprescindível presença em todas as etapas da minha vida.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Guttemberg da Silva Silvino, por seu apoio, confiança e oportunidade de realizar este trabalho, além de sua dedicação, competência e sugestões, fatores fundamentais para a conclusão deste trabalho.

Aos Professores, Ricardo Aragão e Valéria Borges, que destinaram parte de seu precioso tempo para participarem desta pesquisa, pela competência no suporte de nossas necessidades acadêmicas.

Um agradecimento muito especial à Secretária do Programa Claudia, por sua dedicação, competência e sensibilidade profissional.

Aos nossos professores do Programa de Mestrado agradeço a dedicação e incentivo.

A todos os colegas da Pós-Graduação, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Ciências do Solo, pelo tumultuado e proveitoso convívio.

A AESA, pela infra-estrutura disponível durante a fase de elaboração da pesquisa e flexibilidade no trabalho.

À CAPES, pelo auxílio da bolsa que financiou esse estudo.

Aos amigos e tutores que pensam de formas tão distintas, enriqueceu significativamente a minha formação. Agradeço a enorme diversidade que me rodeia que, apesar de me desorientar às vezes, me ajudaram a captar diferentes olhares sobre a mesma realidade.

A todos aqueles que, direta ou indiretamente, acreditaram e me incentivaram a correr atrás dos meus ideais, sabendo que o caminho foi difícil, mas a caminhada engrandeceu o meu espírito.

RESUMO

A utilização de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento para as análises ambientais, aliado com novas metodologias a serem aplicadas, tem se tornado uma prática freqüente entre as áreas de pesquisa, contribuindo de modo expressivo para a rapidez, eficiência e confiabilidade nas análises que envolvem os processos e vem se tornando peças fundamentais para caracterização de uma região. A pesquisa foi desenvolvida tendo como apoio metodológico os produtos cartográficos, que teve como objetivo estudar a morfometria e analisar a evolução temporal do uso do solo na Bacia hidrografia do Rio Farinha, utilizando técnica de sensoriamento remoto, constituindo-se numa etapa importante dentro do estudo geomorfológico, pois pode explicar sobre os processos e a dinâmica da área. As características da bacia do Rio Farinha foram extraídos dos mapas temáticos gerados e imagens de satélite, obtidas dos satélites Landsat 5 TM e Landsat 8 OIT, resultando em índices que relacionam os dados obtidos e a comparação da cobertura do solo no período de 1994 e 2015. Os resultados demonstram que a Bacia, apresenta menor tempo de concentração das águas precipitadas e não está sujeita a processos de enchentes devido a sua forma, o que favorece o escoamento, retratados pelo coeficiente de compacidade de 2,03 e fator forma de 0,24. Foi possível analisar a evolução do processo degradativo, podendo estimar uma perda de 21% da vegetação densa ao longo dos 21 anos, confirmado pela situação atual, através da classificação das imagens.

Palavras chaves: Índice de vegetação; Classificação de imagens; Análise fisiográfica

ABSTRACT

The use of remote sensing and geoprocessing techniques for the purposes of environmental analysis, with the new methodologies to be applied, has been conceived as a frequent practice among the research areas, contributing to the expressive mode for rapid, reliable and Analyzes that involve the Processes and have become fundamental pieces for the characterization of a region. The research was developed with the methodological support of cartographic products, whose objective is to study a morphometry and analyze a temporal evolution of soil use in the Farinha river hydrographic basin, using the remote sensing technique, constituting an important stage Within the geomorphological study, can explain the processes and dynamics of the area. The characteristics of the Farinha River Basin were extracted from the thematic maps generated and satellite images obtained from the Landsat 5 TM and Landsat 8 OIT satellites, resulting in indices that relate the data obtained and the price of soil cover in the period 1994 and 2015 .The results show that the Basin has a shorter concentration of precipitated water and is not subject to flooding due to its shape, which favors flow, portrayed by the compaction coefficient of 2.03 and a form factor of 0, 24. It was useful to analyze the evolution of the degradation process, being able to estimate a loss of 21% of the dense vegetation over 21 years, confirmed by the current situation, through the classification of the images.

Keywords: Vegetation index; Image classification; Physiographic analysis

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Mapa das bacias hidrográficas do Estado da Paraíba	16
Figura 02 – Mapa da Bacia Hidrográfica do Rio Piranhas	17
Figura 03 – Estrutura de um Sistema de Informações Geográficas (SIG)	22
Figura 04 – Configuração das antenas a bordo do Endeavour para a missão SRTM	26
Figura 05 – Distribuição da cobertura e número de passagens da SRTM	26
Figura 06 – Localização geográfica da área de estudo	34
Figura 07 - Declividade da área de estudo	42
Figura 08 – Mapa de solos da bacia hidrográfica do Rio Farinha	43
Figura 09 – Hipsometria da área de estudo	44
Figura 10 – Mapas das imagens processadas referentes aos cálculos de NDVI, para dois períodos, maio 1994(a) e maio 2015 (b).	45
Figura 11 – Representação das áreas ocupadas por cada classe de cobertura vegetal.	47
Figura 12 – Trajeto percorrido com o auxílio do GPS, apresentado sobre o mapeamento da cobertura vegetal em 2015.	48
Figura 13 – Cultivo de palma (Ponto 07)	50
Figura 14 – Área de manejo florestal, vegetação rala (Ponto 04) e vegetação densa (Ponto 05)	51
Figura 15 – Pecuária da região em campos aberto para criação. (Ponto 29)	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características da bacia hidrográfica do Rio Farinha, PB.	41
Tabela 2 – Anotação da inspeção de campo realizada em setembro de 2015 para comprovação dos resultados.	49

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AESA	Agencia Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba
DOD	Departamento de defesa dos Estados Unidos
GPS	<i>Global Positioning System</i>
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
ITR	Imposto sobre a Propriedade Territorial Rural
NDVI	Índice de vegetação de diferença normalizada
MDE	Modelo digital de elevação
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NIMA	<i>National Imagery and Mapping Agency</i>
QGIS	Quantum Gis
REM	Radiação eletromagnética
SAR	<i>Synthetic Aperture Radar</i>
SIG	Sistemas de Informações geográficas
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
WGS	<i>World Geodetic System</i>

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	x
1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Objetivos	14
2 REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1 Bacias hidrográficas	15
2.2 Sensoriamento remoto	18
2.3 Os Sistemas de informações geográficas	21
2.4 Imagens SRTM	25
2.5 Morfometria	27
2.6 NDVI	29
3 MATERIAIS E METODOS	34
3.1 Caracterização da área de estudo	34
3.2 Materiais	35
3.3 Métodos	35
4 RESULTADOS E DISCURSÕES	40
4.1 Morfometria	40
4.2 NDVI	44
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	53
6 REFERÊNCIAS	54

1 INTRODUÇÃO

O planejamento ambiental tem adquirido importância nos tempos atuais, dado os interesses do Poder Público e da Sociedade Civil Organizada em direcioná-lo na consideração não apenas de ambientes modificados pelos seres humanos, mas também do ambiente natural ao seu redor. Na situação atual verifica-se que a sociedade em geral, não se preocupa com a questão ambiental, e esta falta de preocupação tem levado a impactos negativos significativos das principais atividades antrópicas na região semiárida do nordeste, dificultando assim seu desenvolvimento econômico e social, bem como a gestão dos seus recursos naturais, principalmente os recursos hídricos.

Para se entender e agir de forma coerente na gestão de recursos hídricos é de fundamental importância entender o funcionamento de uma bacia hidrográfica, e para isso torna-se necessário compreender as inter-relações entre as manifestações que ocorrem dentro dela, expressando quantitativamente seus fatores de forma física e seus processos (LIMA, 2008), elucidando as várias questões relacionadas com o entendimento da dinâmica ambiental local e regional.

Bacias hidrográficas, bacia de drenagem ou de contribuição são terminologias utilizadas para caracterizar uma área definida topograficamente, drenada por um rio principal e seus afluentes, cuja delimitação é feita a partir de um divisor topográfico, também chamado de divisor de águas. A drenagem interna de uma bacia é o principal fator a ser considerado, pois a entrada da água, seguindo da formação e da ação de seus cursos, pode ser entendida como um dos componentes do processo morfogenético mais ativo na esculturação da paisagem terrestre (CHRISTOFOLETTI, 1979).

O uso desordenado dos recursos naturais, principalmente da água e do solo, vem provocando fortes mudanças no seu ciclo natural e acarretando novas maneiras de adequação do homem ao seu habitat natural. O desmatamento na bacia hidrográfica e da mata ciliar sem controle técnico, as irrigações sem método eficiente e o uso do solo de forma desorganizada, têm ocasionado o assoreamento de rios, lagos e açudes, provocando, em alguns casos, o desaparecimento total da reserva hídrica depois de séculos de existência, em função da grande quantidade de material sólido carregado para os corpos de água, pelas chuvas. (LIMA, 1986)

De acordo com WILSON-JR (1998), as intervenções antrópicas nas bacias

hidrográficas, entre outros problemas, têm provocado uma produção cada vez maior de sedimentos e cargas sólidas nos rios, afetando negativamente as obras executadas em seus vales e contribuindo gravemente para a poluição, função das propriedades que os sedimentos finos possuem de fixar poluentes tóxicos provenientes de rejeitos industriais, domésticos e agrícolas.

As tecnologias de Geoprocessamento, em constante desenvolvimento, tem se mostrado ferramentas eficientes no auxílio a tomada de decisão na Gestão de Recursos Naturais, pois a partir desta, serão evidenciados os fatores antrópicos, a influência marcante no que tange a conservação física de determinada área e a perspectiva de integrá-la a questão da ocupação urbana e sua dinâmica (BELTRAME, 1994).

Nesse sentido, o uso de Geotecnologias será fundamental na caracterização dos atributos ambientais, a exemplo dos recursos hídricos superficiais, formas de relevo, solos e uso e ocupação do solo; a partir da produção e levantamento de dados primários e secundários obtidos na área da bacia em estudo e da utilização de técnicas de mapeamento apoiados pela utilização de sensores remotos e por Sistemas de Informações Geográficas. Dessa forma torna-se possível averiguar o atual cenário físico-ambiental da bacia em destaque para o conhecimento dos diferentes tipos de uso e ocupação do solo e o reconhecimento de suas fragilidades ambientais (SILVA, 2012).

Diante do exposto e como parte integrante do diagnóstico, destaca-se a importância de se conhecer e analisar as formas de uso e cobertura do solo, com o intuito de contribuir com o planejamento ambiental e de minimizar os impactos causados por atividades praticadas em ambientes vulneráveis, como o semiárido.

Nesse sentido, o presente estudo poderá oferecer um contributo ao conhecimento em relação a caracterização da bacia hidrográfica do Rio Farinhas bem como a atual situação do uso e ocupação do solo na região de estudo. Esta área de estudo foi selecionada para pesquisa por não dispor de estudos dessa natureza e pelo seu manancial (Barragem da Farinha) que possui relevância significativa para a população deste município.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Realizar a caracterização física ambiental, bem como o uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do Rio Farinha, utilizando técnicas de Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

1.1.2 Objetivos específicos

- Avaliar as características morfométricas da área de estudo;
- Classificar as áreas da bacia hidrográfica do Rio Farinhas quanto ao grau de degradação na cobertura vegetal nativa, em dois momentos distintos (1994 e 2015), utilizando SIG para processamento digital de imagens de satélites de observação da terra;
- Efetuar análise comparativa dos momentos para identificar o grau de evolução das ações antrópicas na área de estudo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Bacias Hidrográficas

Bacias hidrográficas são definidas como áreas drenadas por pequenos corpos hídricos, nas quais a água escoar para um único ponto de saída, conhecido como seção de controle. Todos os corpos d'água que nascem nas cabeceiras de uma bacia fluem para a seção de controle, também conhecida como exutório da bacia. Portanto, consiste de uma área na qual ocorre uma captação da água proveniente da atmosfera e que é convertida em escoamento, a partir de limites geográficos, conhecidos como divisores de água, e direcionamento do fluxo para a seção de controle.

Os conceitos de bacia e sub-bacias se relacionam a ordens hierárquicas dentro de uma determinada malha hídrica (FERNANDES; SILVA, 1994). Cada bacia hidrográfica se interliga com outra de ordem hierárquica superior, constituindo, em relação à última, uma sub-bacia. Portanto, os termos bacia e sub-bacias hidrográficas são relativos.

Segundo a Lei 9.433/97, que dispõe sobre a Política Nacional dos Recursos Hídricos, a Bacia Hidrográfica é a unidade territorial para a atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

As bacias hidrográficas são classificadas de acordo com o sistema e local de drenagem de suas águas, com o balanço hídrico, com o grau de concentração da rede de drenagem, quanto a sua ocupação territorial e de acordo com a zona hidrogeodinâmica (ZOBY; MATOS; CONEJO, 2004).

Quanto à caracterização, Lima (1986) explica que as bacias apresentam diferenças de forma, tamanho, componentes, recurso e população. As características de cada bacia determinam seu tipo, aptidão potencial, limitações e problemas, ajudando na identificação dos problemas presentes e seus potenciais, e as relações de causalidade que os determinam.

O Estado da Paraíba está dividido em onze bacias hidrográficas (Figura 01), definidas como: (1) Bacia Hidrográfica do Rio Piranhas, (2) Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba, (3) Bacia Hidrográfica do Rio Abiaí, (4) Bacia Hidrográfica do Rio Gramame, (5) Bacia Hidrográfica do Rio Mirirí, (6) Bacia Hidrográfica do Rio Mamanguape, (7) Bacia Hidrográfica do Rio Camaratuba, (8) Bacia Hidrográfica do Rio Guaju, (9) Bacia

Hidrográfica do Rio Curimataú, (10) Bacia Hidrográfica do Rio Jacu e (11) Bacia Hidrográfica do Rio Trairi

As bacias dos rios Piranhas, Jacu, Curimataú, Trairi e Guaju, ultrapassam as fronteiras do estado e englobam áreas do vizinho Estado do Rio Grande do Norte, constituindo assim bacias de domínio federal. A caracterização individual de cada uma das Bacias Hidrográficas mencionadas é apresentada logo a seguir.

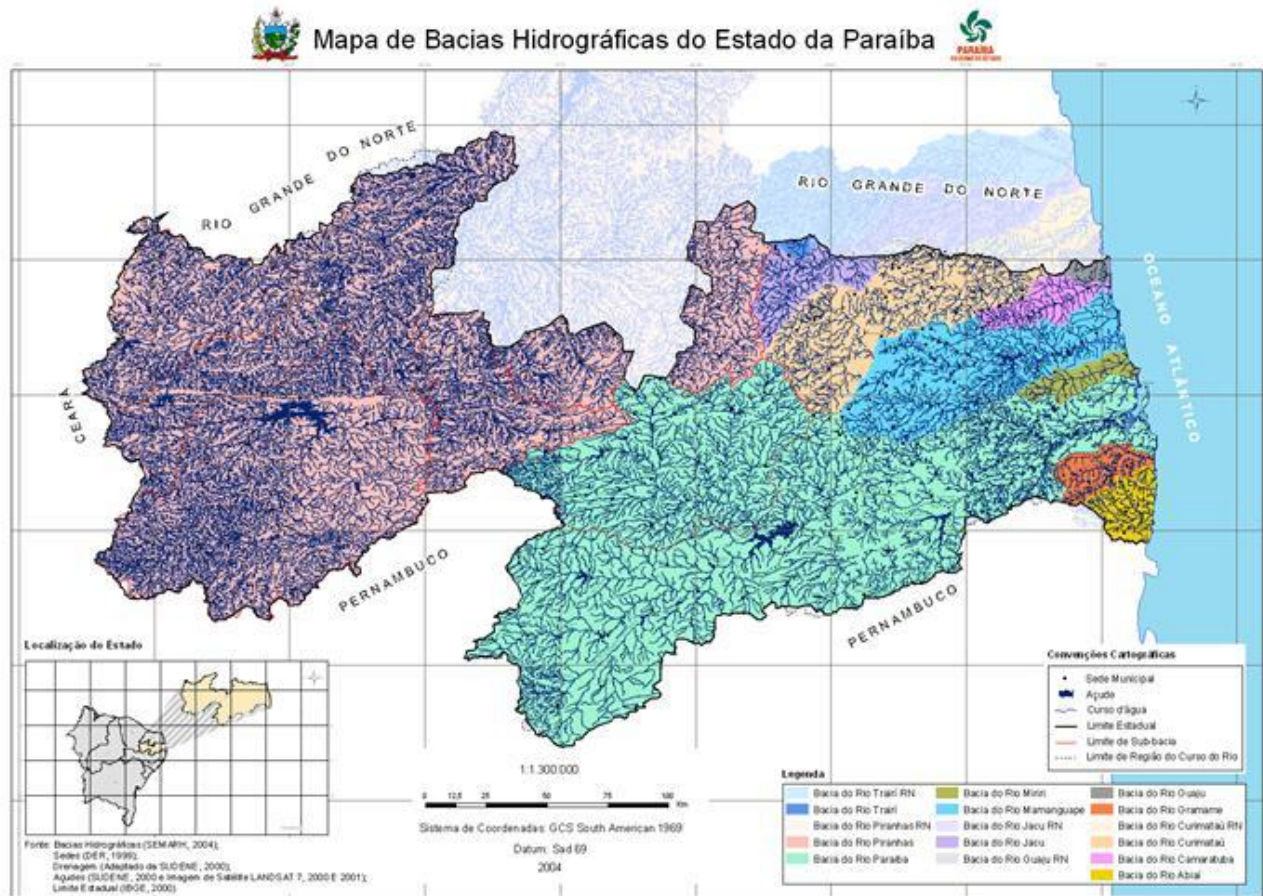


Figura 01 – Mapa das Bacias Hidrográficas do Estado da Paraíba
Fonte: Governo do Estado.

2.1.1 Bacia do rio Piancó Piranhas Açu

O Rio Piranhas nasce na Mesorregião do Sertão Paraibano, microrregião de Cajazeiras, nos divisores de água que correspondem aos limites geográficos dos Estados da Paraíba e do Ceará, formando um sistema hidrográfico constituído pelos Alto e Médio

cursos do Rio Piranhas e pelas sub-bacias dos rios do Peixe, Piancó, Espinharas e Seridó, seus principais afluentes em território paraibano.

A área da Bacia Hidrográfica do Rio Piranhas-Açu, que drena o Estado da Paraíba, corresponde a 26.041,59 km² (Figura 02). Esta bacia drena também uma grande área do Estado do Rio Grande do Norte, onde o rio desemboca no Oceano Atlântico com o nome de Baixo Açu. Trata-se, portanto, de uma bacia hidrográfica de domínio federal.

Essa bacia é uma das mais importantes do Nordeste Semiárido e, juntamente com a Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba, perfazem 84% da superfície total do estado da Paraíba.

Toda a área da bacia pertencente ao território paraibano está contida na mesorregião do Sertão Paraibano, incluindo as suas sub-bacias e regiões caracterizadas neste trabalho.

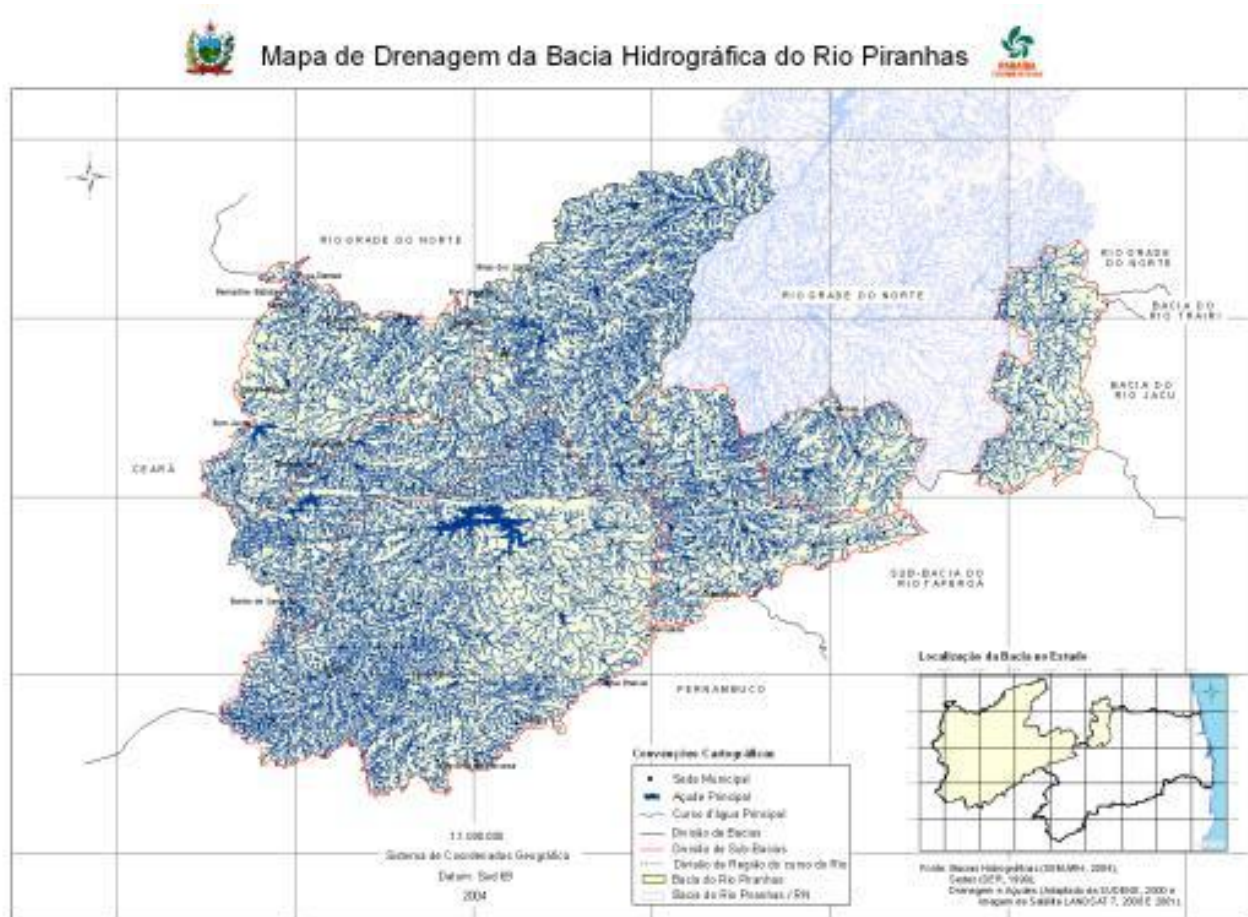


Figura 02 – Mapa da Bacia Hidrográfica do Rio Piranhas.

Fonte: Governo do Estado.

2.2 Sensoriamento remoto

O sensoriamento remoto é definido, como sendo o sistema de aquisição de dados a distância por meio de sensores acoplados em plataformas que captam a energia eletromagnética (radiação eletromagnética – RAM) refletida ou emitida pelos alvos em estudo, sendo, portanto, uma grande fonte geradora de dados para os sistemas de informações geográficas. Para Comitias (1988), o sensoriamento remoto pode ser definido como a disciplina científica que junta os conhecimentos e técnicas usadas para a observação, a análise, a interpretação e a gestão do espaço terrestre usando medidas adquiridas a partir de plataformas aéreas, espaciais, terrestres ou marítimas.

Moreira (2001) define sensoriamento remoto como o conjunto de processos e técnicas usados para medir propriedades eletromagnéticas de uma superfície, ou de um objeto, sem que haja contato físico entre o objeto e o equipamento sensor.

2.2.1 Radiação eletromagnética - REM

Não é difícil compreender-se que o elemento fundamental das técnicas de sensoriamento remoto é a REM, que no vácuo propaga-se à velocidade da luz e sua interação com o meio físico pode ser explicada através de dois modelos: o modelo corpuscular (ou quântico) e o ondulatório.

A energia eletromagnética refletida e emitida pelos objetos terrestres é a base de dados para todo o processo de sua identificação, pois ela permite quantificar a energia espectral refletida e/ou emitida por estes, e assim avaliar suas principais características. Essa energia eletromagnética é captada e convertida em sinais elétricos que são transmitidos para as estações terrestres. Os sinais enviados para essas estações são transformadas em dados na forma de gráficos, tabelas ou imagens. A partir da interpretação desses dados é possível obter informações a respeito da superfície da Terra (FLORENZANO, 2002).

A energia eletromagnética se constitui no mais útil campo de força para a atividade de sensoriamento remoto, formando um meio de transferência de informação de alta velocidade entre as substâncias ou objetos de interesse e o sensor (NOVO, 1992).

2.2.2. Espectro eletromagnético

A energia eletromagnética pode ser organizada por regiões, de acordo com o comprimento de onda e a frequência, recebendo o nome de espectro eletromagnético. O espectro abrange desde curtos comprimentos de onda, como os raios cósmicos e os raios gama, de alta frequência, até longos comprimentos de onda como as ondas de rádio e TV, de baixa frequência (FLORENZANO, 2002).

Existem regiões do espectro eletromagnético onde a atmosfera quase não afeta a energia eletromagnética, isto é, a atmosfera é transparente à energia eletromagnética proveniente do Sol ou da superfície terrestre. Estas regiões são conhecidas como janelas atmosféricas. Nessas regiões são colocados os detectores de energia eletromagnética, e, portanto, onde é realizado o sensoriamento remoto dos objetos terrestres.

As interações da energia eletromagnética com os constituintes atmosféricos influenciam a caracterização da energia solar e terrestre disponíveis para o sensoriamento remoto de recursos naturais (MORAES, 2002).

As imagens, produtos do sensoriamento remoto, são submetidos a diversos tipos de processamento digitais de modo que as tornem possíveis de interpretações e análises.

2.2.3 Comportamento espectral dos Alvos

A interação do fluxo da radiação eletromagnética com os elementos terrestres representa o comportamento espectral dos alvos (LILLESAND; KIEFER 1994). Cada objeto do terreno interage diferentemente com cada faixa espectral. Os átomos no estado fundamental, ao serem incididos por radiação eletromagnética, passam a ter elétrons excitados que absorvem a energia incidente e posteriormente a devolvem ao meio ambiente, completa ou parcialmente, dependendo do material em questão e da faixa espectral. A absorção de energia é caracterizada por uma diminuição relativa na porcentagem de reflectância em certas faixas de comprimentos de onda no espectro eletromagnético (ROSA, 1995).

As técnicas de processamento de imagens digitais são classificadas em: pré-

processamento, técnicas de realce e técnicas de classificação (NOVO, 1995).

O pré-processamento visa corrigir radiometricamente e geometricamente a imagem registrada pelo sensor. Os erros geométricos distinguem-se em: erros sistemáticos, resultantes do movimento de rotação da Terra, de sua curvatura, movimentos da plataforma e mudanças na elevação topográfica (essas distorções são retificadas, no Brasil, pelo INPE) e erros não-sistemáticos, que poderão ser corrigidos pelo usuário da imagem, através do processo de georreferenciamento.

2.2.4 Técnicas de realce

As técnicas de realce visam melhorar a qualidade “visual” da imagem, estacando elementos da cena que facilitem sua interpretação.

Em imagens de sensores remotos, os níveis de cinza aparecem agrupados em um pequeno intervalo dentro do histograma da imagem. Para melhorar o realce, distribui-se esses níveis de cinza por todo o intervalo possível. A isso, dá-se o nome de aumento de contraste. Assim, o contraste de uma imagem é uma medida do espalhamento dos níveis de intensidade de cinza que nela ocorrem. (CROSTA, 1993)

O realce é subjetivo, dependendo do interpretador e da imagem. Sendo assim, é normalmente implementado de forma iterativa, ou seja, o sistema mostra o histograma da imagem e o interpretador faz a distribuição do nível de cinza.

2.2.5 Processos de segmentação de imagens

A segmentação, segundo HARALICK e SHAPIRO (1984), é processo de formação de regiões uniformes e homogêneas com respeito a alguma característica (níveis de cinza, por exemplo). O interior das regiões deve ser simples e sem muitos segmentos pequenos. Regiões adjacentes precisam ter valores significativamente distintos em relação à característica nos quais eles são uniformes. As bordas das regiões precisam ser simples, não rugosas e espacialmente corretas.

O processo de segmentação divide a imagem em regiões que devem corresponder às áreas de interesse da aplicação. Entende-se por regiões um conjunto de "pixels" contíguos, que se espalham bidirecionalmente e que apresentam uniformidade.

A divisão em porções consiste, basicamente, em um processo de crescimento de regiões, de detecção de bordas ou de detecção de bacias.

2.2.6 Classificação de imagens

A classificação é o processo de extração de informações de imagens para reconhecimento de padrões e objetos homogêneos tendo como base a segmentação. Tem-se uma imagem digital como produto onde os “pixels” classificados são representados por símbolos gráficos ou cores, onde cada símbolo ou cor representa uma classe (área urbana, tipo de solo, tipo de vegetação, etc) definida pelo analista/classificador (INPE, 1996).

A classificação de imagens, propriamente dita, consiste em decidir a qual classe pertence um determinado “pixel” ou grupo de “pixels” da cena. Richards; Jia (1999) definem classificação como um método para rotular os “pixels” de uma imagem a partir de suas características espectrais, sendo que essa rotulação é implementada por um programa computacional apto a reconhecer “pixels” espectralmente similares.

Para Moreira (2001), o método não supervisionado não utiliza nenhum conhecimento “a priori” sobre as classes existentes na imagem e define uma estratificação da cena, atribuindo um “pixel”, ou grupo de “pixels”, a uma determinada classe, sem que o analista tenha conhecimento dessa classe. Segundo Richards; Jia (1999), nas abordagens supervisionadas o analista, a partir de um conhecimento prévio da cena, fornece informações específicas ao sistema de análise, possibilitando o seu treinamento no reconhecimento de classes pré-definidas. A partir dos elementos amostrais, que correspondem a padrões conhecidos das classes, são estimados os parâmetros estatísticos de cada classe e realizado o treinamento do algoritmo de classificação.

2.3 Os Sistemas de Informações Geográficas

O termo geoprocessamento representa a área do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e ferramentas computacionais para o tratamento da informação geográfica. Tais ferramentas computacionais, conhecidas como Sistemas de Informação Geográfica (SIG), permitem realizar análises complexas a partir da integração de dados de diversas

fontes e da criação de banco de dados georeferenciados. Os SIGs vêm influenciando de maneira crescente as áreas de cartografia, análise de recursos naturais, transportes, comunicações, energia e planejamento urbano e regional.

Segundo Câmara, D`Alge e Monteiro (2001), um SIG é normalmente composto pelos seguintes componentes (Figura 03):

- Interface com o usuário;
- Entrada e integração de dados;
- Funções de consulta e análise espacial;
- Visualização e plotagem;
- Armazenamento e recuperação de dados.

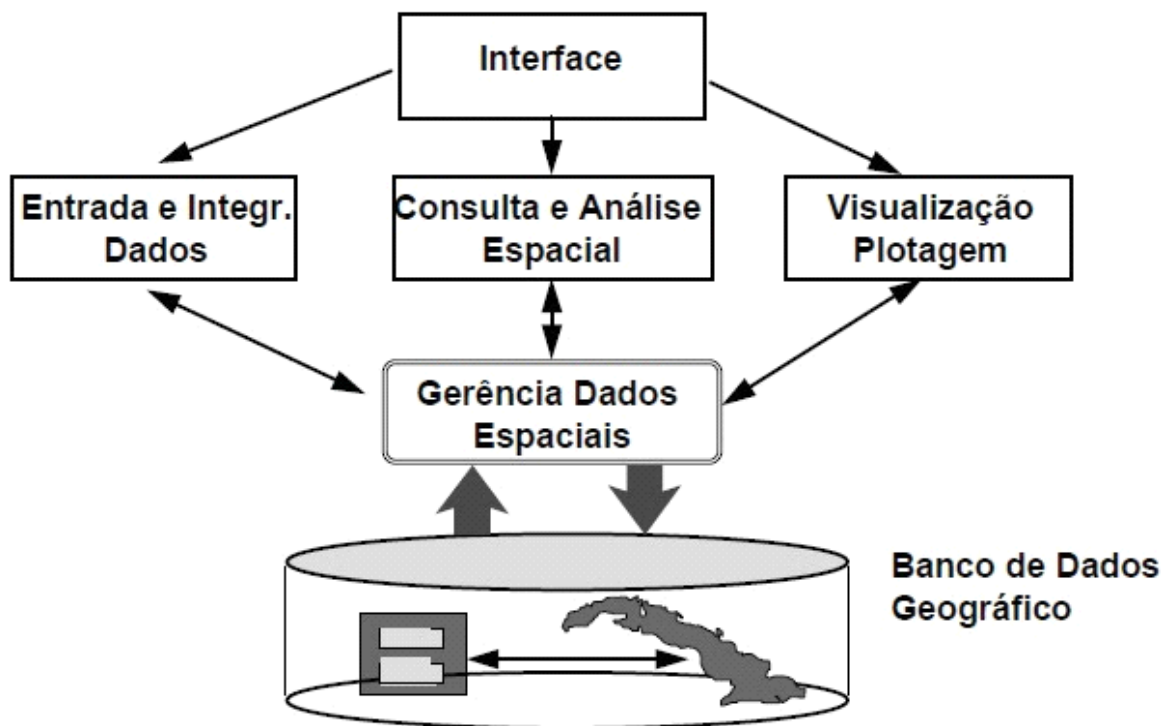


Figura 03 – Estrutura de um Sistema de Informações Geográficas(SIG).
Fonte: Câmara, D`Alge e Monteiro (2001)

2.3.1 Interface com o usuário

A interface com o usuário, também denominada interface homem-máquina, define

como o sistema é operado e controlado. Através de janelas, todos os comandos são executados, desde a entrada de dados, consultas, processamento e análise espacial, até a visualização de resultados na forma de tabelas, gráficos e mapas. Em face da grande complexidade das operações disponíveis num SIG, a interface com o usuário representa um dos componentes fundamentais para sua plena utilização e eficácia.

2.3.2 Entrada e integração de dados

Todo SIG deve permitir a digitalização de dados gráficos em formato vetorial, associar imagens digitais ao banco de dados, realizar análises de consistência sobre os dados vetoriais, efetuar procedimentos de “limpeza” ou correção sobre os dados adquiridos, receber, converter e tratar dados provenientes de outros sistemas de informação etc. Os dados num SIG podem ser classificados em cinco tipos a saber:

- **Temáticos:** Descrevem a distribuição espacial de uma grandeza geográfica, expressa de forma qualitativa, como os mapas de pedologia e cobertura vegetal de uma região.
- **Imagens:** Representam formas de captura indireta de informação espacial, tais como imagem de satélite, fotografia aérea entre outras. São armazenadas como matrizes, sendo cada ponto (pixel) caracterizado por um valor proporcional à energia eletromagnética refletida ou emitida pela área da superfície terrestre correspondente.
- **Modelos Numéricos de Terreno:** Utilizados para representar quantitativa uma grandeza que varia continuamente no espaço, a exemplo da altimetria, e para gerar mapas topográficos, análises de corte a terra para projeto de estradas e barragens, mapas de declividade para análises de erodibilidade etc. (GUIMARÃES, 2007).
- **Cadastrais:** Distingue-se de um temático, pois cada um de seus elementos é um objeto geográfico, que possui atributos e pode estar associado a várias representações gráficas. Por exemplo, as propriedades rurais de um município são elementos do espaço geográfico que possuem atributos, tais como dono, valor venal, ITR devido etc.
- **Redes:** Utilizados para armazenar informações associadas a redes de

drenagem (bacias hidrográficas), rodovias, serviços de utilidade pública, como água, luz e telefone etc.

2.3.3 Funções de consulta e análise espacial

As funções de manipulação, consulta e análise espacial de dados geográficos são realizadas de acordo com o tipo de dado a ser tratado, por exemplo:

- **Análise geográfica:** Permite a combinação de informações temática se cadastrais através de procedimentos de reclassificação, intersecção, operações booleanas e matemáticas entre mapas, consulta espacial ao banco de dados etc.
- **Processamento de imagens:** Possibilita a manipulação de imagens por meio de funções de realce por modificação de histograma, filtragem espacial, classificação estatística, rotação espectral (componentes principais), registro etc.
- **Modelagem de terreno:** Permite cálculo de declividade, volumes, cortes transversais e linha de visada, geração de mapas de isolinhas, de declividade e de aspecto, visualização 3D etc.
- **Modelagem de redes:** Além do cálculo de percurso ótimo e crítico, permite operações de consulta e cálculo de fluxo sem decorrência da interligação dos elementos vetoriais ao banco de dados.

2.3.4 Visualização e plotagem

As funções de visualização e plotagem de um SIG disponibilizam ferramentas para visualização de dados em tela ou produção de cartas impressas. Com recursos sofisticados de apresentação gráfica, estas ferramentas permitem a definição interativa de uma área de plotagem, aplicação de legendas, textos explicativos e notas de crédito, representação gráfica e numérica de escala, utilização de bibliotecas de símbolos etc.

2.3.5 Armazenamento e recuperação de dados

As funções de armazenamento e recuperação de dados são normalmente desempenhadas por sistemas gerenciadores de banco de dados (SGBD). São sistemas que funcionam independentemente do sistema aplicativo, armazenando os dados em arquivos no disco rígido e carregando-os em memória para sua manipulação. Assegura três requisitos importantes na operação de dados:

- Integridade: Controle de acesso por vários usuários;
- Eficiência: Acesso e modificações de grande volume de dados;
- Persistência: Manutenção de dados por longo tempo, independente dos aplicativos que dão acesso ao dado.

2.4 Imagens SRTM

O projeto SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) surgiu a partir da cooperação entre a NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) e a NIMA (*National Imagery and Mapping Agency*), do Departamento de Defesa dos Estados Unidos (DOD) e das agências espaciais da Alemanha e da Itália. A missão foi lançada a bordo do ônibus espacial Space Shuttle Endeavour em fevereiro de 2000, a partir do Centro Espacial de Kennedy, EUA com o principal objetivo de obter dados topográficos da Terra (VALERIANO, 2004).

Para aquisição dos dados tridimensionais, o sistema foi configurado para coletar duas imagens ao mesmo tempo, através de duas antenas posicionadas separadamente, com distância de 60m entre si (Figura 04). Os radares empregados na missão tiveram os seguintes comprimentos de onda e frequências: banda C (5,6 cm, 5,3 GHz) e banda X (3,1 cm, 9,6 GHz). Cada antena SAR (*Synthetic Aperture Radar*) possui fases diferentes e, por meio da diferença de sinais, foram medidas as elevações (SILVA, 2009).

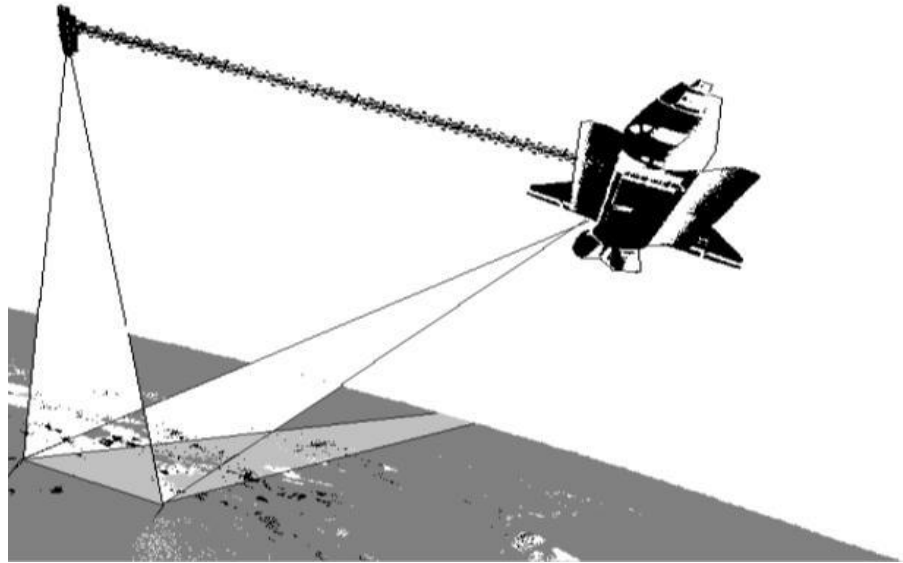


Figura 04- Configuração das antenas a bordo do Endeavour para a missão SRTM
 Fonte: Valeriano, 2004

A Figura 05 demonstra a área imageada e o número de passagens que foi necessário para a coleta de dados em cada área do globo, onde a parte terrestre é representada pelos níveis de verde, a aquática por níveis de roxo e a área que não foi possível à coleta de dados pela cor branca, no mar, e laranja claro, no continente.

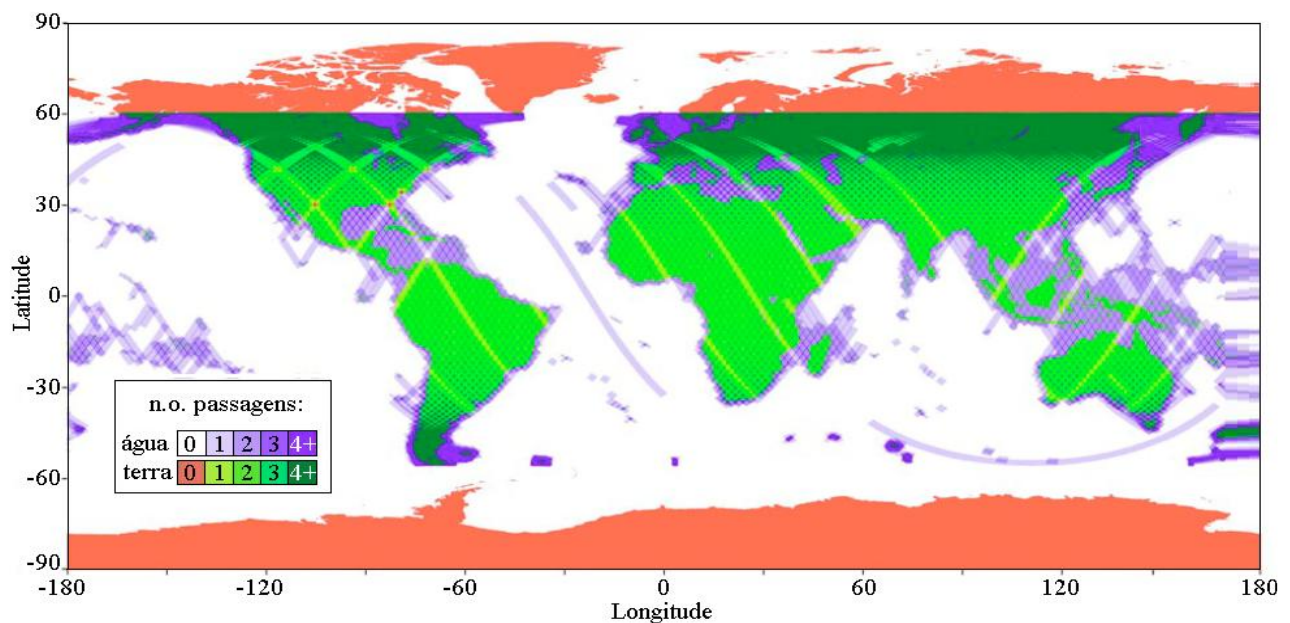


Figura 05 - Distribuição da cobertura e número de passagens da SRTM.
 Fonte: Valeriano, 2004

O Datum e o elipsóide de referência são WGS 84 (*World Geodetic System 1984*), com dados de altitude (h) em metros. Cabe citar que com a resolução espacial de 90m, o uso do MDE SRTM é mais indicado em escala de 1/250.000 ou menores. Até agora, é evidenciado que a utilização dos modelos SRTM é preferível para áreas com características de baixa declividade. (SILVA, 2009).

Utilizando dados SRTM, Silva (2009) diz que algumas formas de análise, que não poderiam ser feitas satisfatoriamente pelo processo manual, podem ser efetuadas com baixo custo com imagens SRTM, como: cálculo da declividade, aspecto, intensidade do sol ao longo de uma área, delimitação automática de bacias hidrográficas, etc.

2.5 Morfometria

A Morfometria é o estudo matemático das formações e configurações da superfície de uma bacia hidrográfica, que podem ser divididas em características geométricas, características da rede de drenagem e características do relevo.

O cálculo das características morfométricas, também denominadas morfológicas ou simplesmente físicas, de uma bacia hidrográfica é fator primordial para seu conhecimento. Tais características são extremamente úteis na orientação dos técnicos durante a elaboração de projetos hidro agrícolas, na construção de barragens, na escolha de fontes de abastecimento de água, na regularização e regionalização de vazões, dentre outros (NOVAES et al, 2004). Estes índices são fundamentais para qualquer estudo hidrológico, sendo de grande importância para a definição de uma sequência de prioridades na gestão e elaboração de planos de ação.

Foram calculadas as seguintes características morfométricas associadas a características geométricas:

- Coeficiente de compactidade (K_c): O coeficiente de compactidade consiste na relação entre o perímetro da bacia hidrográfica e a circunferência de um círculo hipotético cuja área seja igual à área de drenagem da bacia em questão.
- Fator de forma (K_f): O valor do fator de forma representa a relação entre a área e o comprimento axial da bacia.

- Razão de alongação (Re): Razão de alongação é a relação entre o diâmetro do círculo de área igual à área da bacia e o comprimento do eixo da bacia.
- Índice de circularidade (Ic): Esse índice representa a relação entre a área total da bacia e a área de um círculo de perímetro igual ao da bacia hidrográfica.
- Índice entre o comprimento e a área da bacia (ICO): O ICO pode ser calculado dividindo-se o diâmetro da bacia pela raiz quadrada da área.

Características associadas ao sistema de drenagem:

- Densidade de Drenagem (Dd): É expressa pela relação entre o somatório dos comprimentos de todos os canais da rede, sejam eles perenes ou intermitentes e a área total da bacia.
- Coeficiente de torrencialidade (Ct): Permite quantificar a tendência de uma bacia hidrográfica em relação à ocorrência de inundações, através da multiplicação da densidade hidrográfica pela densidade de drenagem.
- Relação de bifurcação (Rb): Relação de bifurcação é a relação entre o número total de segmentos de certa ordem e o número total dos de ordem imediatamente superior.
- Sinuosidade do curso d'água (SIN): A sinuosidade do canal principal é um fator controlador da velocidade do fluxo de água.
- Índice de Sinuosidade (Is): Para comparação entre rios diferentes utiliza-se o índice de sinuosidade expresso em porcentagem em relação ao comprimento total do rio.

Características relacionadas ao relevo:

- Retângulo equivalente (L e l_r): O retângulo equivalente foi introduzido por hidrologistas franceses com o objetivo de comparar melhor a influência das características físicas da bacia sobre o escoamento, onde lado maior do retângulo equivalente (L) e lado menor do retângulo equivalente (l_r).

- Coeficiente de rugosidade (CR): O risco de degradação ambiental em bacias hidrográficas pode ser estimado pelo CR, obtido do produto entre a densidade de drenagem e sua declividade média.
- Declividade: A declividade da bacia é uma característica de grande interesse hidrológico, especialmente para as bacias pequenas, nas quais o escoamento superficial será determinante na forma do hidrograma.

2. 6 NDVI

Moraes (2002) explica que a vegetação apresenta alta absorção da energia eletromagnética na região do espectro visível, pois essa é capturada pela clorofila para a realização da fotossíntese. A alta reflectância no infravermelho próximo (até 1,3 μm) é devido à estrutura celular, sendo que a partir deste comprimento de onda é o conteúdo de água na vegetação quem define as bandas de absorção presentes em seu comportamento espectral.

No caso do solo, as combinações e arranjos dos materiais constituintes é que definem o seu comportamento espectral, sendo que os principais fatores são a composição mineral, a matéria orgânica, a umidade e a granulometria (textura e estrutura). Já o comportamento espectral da água pura apresenta baixa reflectância (menor do que 10%) na faixa do visível (entre 0,38 e 0,7 μm) e máxima absorção na banda do infravermelho (acima de 0,7 μm). A autora observa ainda que o comportamento espectral de corpos d'água é modulado principalmente pelos processos de absorção e espalhamento da radiação produzidos por materiais dissolvidos e em suspensão. É verificado que a presença de matéria orgânica dissolvida desloca o máximo de reflectância espectral para o verde-amarelo, enquanto que a presença de matéria inorgânica em suspensão resulta num deslocamento em direção ao vermelho.

Para fazer uso da característica peculiar da assinatura espectral da vegetação (alta absorção no visível e alta reflectância no infravermelho próximo), diversos índices foram propostos na literatura. Estes índices são relacionados a parâmetros biofísicos da cobertura vegetal, como fitomassa e índice de área foliar (SHIMABUKURO; NOVO; PONZONI, 1998)

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) é o mais conhecido e utilizado para mapeamento de cobertura vegetal. O NDVI é obtido pela equação (1).

$$\text{NDVI} = (\text{IV} - \text{VIS})/(\text{IV} + \text{VIS}), \quad (1)$$

Onde IV é a resposta espectral do pixel na banda do infravermelho próximo (LANDSAT-5/TM4) e VIS é a resposta espectral do pixel na banda do visível vermelho (LANDSAT-5/TM).

Diferentes coberturas vegetais têm sido avaliadas por meio da relação existente entre bandas espectrais individuais, e/ou técnicas de realce das imagens, com parâmetros biofísicos da vegetação, entre eles a fitomassa (QI et al.,2000).

No caso da Caatinga, vegetação típica do semiárido brasileiro, a fitomassa foi especificamente avaliada por Costa (2002) em uma área piloto do núcleo de desertificação do Seridó e relacionada ao NDVI. Dezesesseis transectos de 500m, georeferenciados, foram selecionados e usados para a coleta de dados de fitomassa (Peso Seco Total–PST) e de Índice de Área de Planta (IAP), para árvores e arbustos com diâmetro na base igual ou superior a 1 cm. Então, foram estabelecidas as equações de regressão entre o IAP, PST e dados espectrais do sensor LANDSAT-5/TM, realçados por meio do NDVI.

Com base nessas equações, o autor propôs a seguinte classificação em função do IVDN: as áreas ocupadas com caatinga com fitomassa inferior a 5 ton/ha podem ser consideradas em avançado estágio de desertificação ou desertificadas. As áreas de caatinga com fitomassa igual ou superior a 20 ton/ha podem ser consideradas como preservadas. As áreas de caatinga no intervalo entre 5 e 20 ton/ha de fitomassa apresentam diferentes estágios de desertificação.

2.5.1 Estudos sobre NDVI

Num esforço contínuo de mapear o processo de desertificação no Semiárido Brasileiro, diversas pesquisas têm sido realizadas utilizando técnicas de sensoriamento remoto e SIG. Sá e Angelotti (2009) apresentaram estudos em escala regional realizados pela Embrapa Semiárido (no prelo) sobre a espacialização dos processos de desertificação no bioma Caatinga. Mapas temáticos foram elaborados para os estados do Piauí, Ceará,

Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia apontando o estado atual do processo de desertificação numa escala de degradação que vai desde a ausência do processo até o nível de maior severidade.

Nos estudos em escalas mais detalhadas, diferentes áreas na região semiárida do Nordeste foram avaliadas quanto à degradação de suas terras, com ênfase para as áreas conhecidas como Núcleos de Desertificação.

No Núcleo de Desertificação do Seridó, no Rio Grande do Norte, estudos foram conduzidos por Costa (2002) para mapeamento da fitomassa da caatinga através do IVDN derivado de imagens do satélite LANDSAT-5 TM. Após a utilização de técnicas de processamento de imagens e aplicação de equações de Peso Seco Total (PST) em função do IAP e do IVDN, obteve-se que 28% da área de estudo é ocupada por pastagens, agricultura, açudes e zonas urbanas, enquanto que 33% é coberta por caatinga aberta (PST entre 0,1 e 5 ton/ha), 36% por caatinga semi-densa (PST entre 5 e 20 ton/ha), e 3% com caatinga densa (PST maior ou igual a 20 ton/ha), ocupando principalmente áreas de relevo acentuado.

Sá e Silva (2006) avaliaram a cobertura vegetal remanescente e ou só atual das terras do Núcleo de Desertificação de Cabrobó, que compreende os municípios de Santa Maria da Boa Vista, Orocó, Cabrobó e Belém do São Francisco, todos na região sul do estado de Pernambuco. Foram utilizadas imagens do satélite LANDSAT-7 ETM, data de 2002, para mapeamento das área sem processo de desertificação através de interpretação visual e automática, analisando-se os aspectos espaciais e espectrais dos alvos. A área foi então classificada em diversos graus de severidade dos processos de desertificação: severo, correspondendo á ocupação com agropecuária (15%); acentuado, para a Savana Estépica Arborizada (76%); moderado, para a Savana Estépica Florestada (3%), e baixo, correspondendo à área de vegetação com influência fluvial (6%).

Sá e Angelotti (2009) estudaram ainda os municípios de Araripina, Bodocó, Ouricuri, Trindade e Ipubi que formam o pólo gesseiro do Araripe Pernambucano para avaliar a cobertura vegetal através de imagens de satélites. Foi utilizado o NDVI, estratificado em 14classes, para separação das fisionomias existentes na região estudada. Como resultado encontraram que a região possui cerca de 44% de áreas degradadas e 54% de remanescentes de vegetação passíveis de exploração sustentável com vistas a preservar

a matriz energética (lenha) das indústrias de gesso da região.

Carvalho e Almeida Filho (2007), por sua vez, avaliaram a extensão da degradação no Núcleo de Desertificação de Gilbués, sul do estado do Piauí, utilizando imagens do satélite LANDSAT-5 TM dos meses de junho de 2005 (estação seca) e novembro de 2005 (início da estação chuvosa). Aplicando técnicas de classificação automática durante o processamento das imagens, constataram que na estação chuvosa as áreas de solos nus, indicativas do processo de desertificação, ocupavam cerca de 14% do total da região investigada. A área de solos com cobertura vegetal rala representava 10%, enquanto que a região com cobertura vegetal degradada ocupava 49% e, por fim, os remanescentes de caatinga e cerrado preservados atingiram apenas 27% da região de estudo. Uma análise também foi efetuada com imagens do período seco e constatou-se que há diferenças significativas na avaliação da cobertura vegetal em função da característica caducifólia da vegetação. Para mapeamento e monitoramento de solos expostos, os autores recomendam o uso de imagens de satélite colhidas durante a estação chuvosa.

Pinto, Carvalho e Alvalá (2009) utilizaram imagens do satélite LANDSAT (sensores MSS, TM e ETM+) para monitorar o uso e cobertura da terra nos municípios de Sobral, Irauçuba e Forquilha, localizados na região noroeste do estado do Ceará, conhecida como Núcleo de desertificação de Irauçuba. Imagens dos anos de 1976, 1987, 1999 e 2006 foram processadas, classificadas e associadas a oito categorias de uso e ocupação do solo (floresta perene, floresta decídua, caatinga, agropecuária, solo exposto, zona urbana, água e estradas). Observou-se no período de 30 anos que houve uma redução contínua das três primeiras classes sendo a caatinga a mais afetada, com redução de 41% para 22% da área ocupada. Coerentemente, a atividade agropecuária cresceu no mesmo período e ampliou de 55% para 74% a área utilizada.

Na Paraíba, Sousa (2007) promoveram estudos sobre a dinâmica da cobertura vegetal no município de Itaporanga, estado da Paraíba, no período de 1987 a 2005. Utilizando imagens dos satélites LANDSAT-5 TM e CCD/CBERS-2, constataram que houve uma recuperação da cobertura vegetal em função da interrupção da cotonicultura arbórea, a partir de 1986, e da consequente migração da população rural para o meio urbano. A classe de cobertura densa a semi densa teve um acréscimo de 14% no período enquanto que as classes mais comprometidas - semi densa a semi-rala, semi-rala a rala e

rala + solo exposto, foram diminuídas em 5%, 3% e 6%, respectivamente.

Ainda na Paraíba, Sousa (2007) aplicaram geotecnologias para diagnosticar a degradação das terras do município de São João do Cariri, situado na microrregião dos Cariris Velhos, utilizando imagens de 1987 e 2004 do satélite LANSAT-5 TM. No processamento digital das imagens foram usadas técnicas de realce de contraste, operações aritméticas (NDVI), composição multiespectral ajustada, segmentação da imagem e classificação em regiões homólogas. Foram definidos seis níveis de degradação das terras. Os níveis de degradação muito baixo, baixo e moderado tiveram suas áreas de ocorrência diminuídas em 2,59%; 11,80% e 12,86%, respectivamente, durante o período de 1987 a 2004. De modo oposto, as áreas de degradação moderado grave e muito grave aumentaram em 20,14% e 7,95%, respectivamente.

Lima (2010) realizou estudo avaliando o processo de desertificação no município de Juazeirinho, utilizando imagens LANDSAT 5 TM dos anos de 1990 a 2005, onde as imagens foram processadas para obtenção do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para os dois momentos citados, com apoio do Sistema de Informação Geográfica (SIG).

3 MATERIAIS E METODOS

3.1 Caracterização da área de estudo

A área de estudo corresponde a bacia hidrográfica do Rio Farinha, localizada no município de Patos/ PB, inserido no Estado da Paraíba. A localização está compreendida entre as coordenadas geográficas: 07° 01' 39" a 07° 16' 50" de latitude Sul e 36° 43' 41" a 37° 16' 28" de longitude a Oeste, com uma área de 783,65 km². Segundo o último censo do IBGE, realizado em 2011, a população de Patos está estimada em 101.358 habitantes.

A bacia está totalmente inserida na área rural que engloba os municípios de Passagem, Assunção, Salgadinho, Junco do Seridó, Santa Luzia, São Mamede, Quixaba, Patos, Teixeira, Cacimbas, Taperoá e Areia de Baraúnas. Por esse motivo, em suas margens quase não existe vegetação, o solo é intensamente instável, e áreas ocupadas por edificações variadas. Esta situação, associada aos problemas naturais, conduz a impactos ambientais diversos (Figura 06).

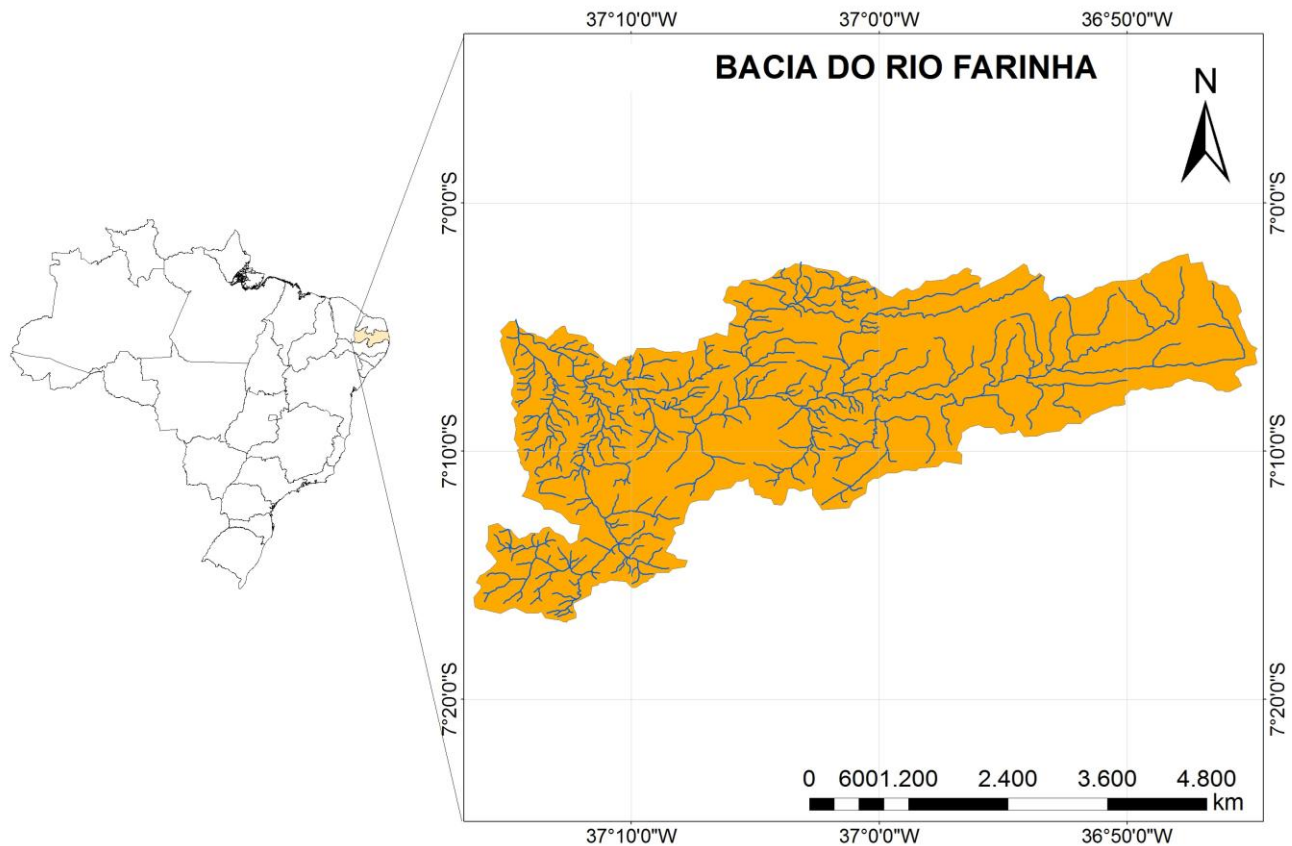


Figura 06. Localização geográfica da área de estudo.

3.2 Materiais

Os materiais utilizados no desenvolvimento da pesquisa foram:

- Conjunto de imagens LANDSAT 5, sensor TM e imagens LANDSAT 8, sensor OLI, referentes as órbitas 215 e 65, bandas 3 e 4, de maio de 1994 e 2015, selecionada a partir do grau da cobertura de nuvens e do período de chuvas na região, disponível em *USGS Science for a Changing World*.
- Modelo digital de elevação (MDE) elaborado pelo SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*); para delimitação da bacia a partir da escolha de um ponto de exutório na rede de drenagem gerada, disponível na AESA.
- Arquivos do tipo *shape*, contendo as principais estradas, drenagens, sede municipais e distritais, bem como limite de municípios e açudes do Estado da Paraíba, disponível na AESA.
- Software ARQGIS 9.3[®] e QGIS[®] para o processamento de informações geoferenciadas.
- Equipamento de localização, GPS Garmin modelo GPSMAP 76CSx.

3.3 Métodos

3.3.1 Análise Morfométrica

De acordo com Macedo et al (2010), é imprescindível a obtenção de determinados parâmetros morfométricos, a exemplo da área de drenagem, do perímetro, do fator de forma, do coeficiente de compacidade, do índice de circularidade, do sistema de drenagem, da ordem dos canais, da densidade de drenagem e da extensão média do escoamento superficial, para um diagnóstico integral do meio físico, que podem ser divididas em características geométricas; características da rede de drenagem e características do relevo.

O cálculo das características morfométricas, também denominadas morfológicas, fisiográficas ou simplesmente físicas, de uma bacia hidrográfica é fator primordial para o seu conhecimento. Tais características são extremamente úteis na orientação dos técnicos durante a elaboração de planejamento e gestão dos recursos naturais e elaboração de planos de ação.

Foram calculadas as seguintes características morfométricas

- ***Coefficiente de compacidade (Kc)***

Em que Kc é o coeficiente de compacidade, P é o perímetro em km e A é a área da bacia em km². Esse coeficiente é um número adimensional que varia com a forma da bacia independente do seu tamanho, assim quanto mais irregular ela for, maior será o coeficiente de compacidade, ou seja, quanto mais próxima da unidade, mais circular será a bacia e será mais sujeita a enchentes (VILLELA; MATTOS, 1975).

$$Kc = 0,28x \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (2)$$

- ***Fator de forma (Kf)***

Em que Kf é o fator de forma, A é a área da bacia em km² e Lx é o comprimento axial da bacia em km. Uma bacia com fator de forma baixo indica que a mesma é menos sujeita a enchentes que outra, de mesmo tamanho, porém com fator de forma maior (VILLELA; MATTOS, 1975).

$$Kf = \frac{A}{Lx^2} \quad (3)$$

- ***Razão de alongação (Re)***

Razão de alongação é a relação entre o diâmetro do círculo de área igual à área da bacia e o comprimento do eixo da bacia (MOSCA, 2003).

$$Re = 1,128 \left(\frac{A^{0,5}}{L_{ax}} \right) \quad (4)$$

- ***Índice de circularidade (Ic)***

Em que Ic é o índice de circularidade, A é a área em km² e P é o perímetro em km (TONELLO, 2005).

- ***Índice entre o comprimento e a área da bacia (ICO)***

O ICO pode ser calculado dividindo-se o diâmetro da bacia pela raiz quadrada da área, de acordo com EPAGRI (1997), onde o diâmetro da bacia equivale ao diâmetro da circunferência de mesmo perímetro da bacia em que ICO é o índice entre comprimento e a área da bacia. Este índice apresenta significância para descrever e interpretar tanto a forma como o processo de alargamento ou alongamento da bacia hidrográfica. O seu significado advém do fato de podermos utilizar figuras geométricas simples como ponto de referência. Quando o valor do ICO estiver próximo de 1,0, a bacia apresenta forma semelhante a um quadrado; quando o valor for acima da unidade, mais alongada será a forma bacia.

$$ICO = 12,57 \frac{A}{P^2} \quad (5)$$

- ***Densidade de Drenagem (Dd)***

Este índice é indicativo da maior ou menor velocidade com que a água deixa a bacia hidrográfica, dando uma idéia a respeito do grau de desenvolvimento do sistema de drenagem, ou seja, fornece uma indicação da eficiência da drenagem da bacia. De acordo com Villela; Mattos, (1975) o cálculo da densidade de drenagem é importante na análise das bacias hidrográficas porque apresenta relação inversa com o comprimento dos rios. À medida que aumenta o valor numérico da densidade, há diminuição quase proporcional do tamanho dos componentes fluviais das bacias de drenagem.

$$Dd = \frac{L_{tot}}{A} \quad (6)$$

- ***Declividade***

A declividade da bacia é uma característica de grande interesse hidrológico, especialmente para as bacias pequenas, nas quais o escoamento superficial será determinante na forma do hidrograma.

3.3.2 Cálculo do NDVI

Para medir a quantidade e condição da área da bacia determinada nos diferentes tipos de cobertura vegetal, optou-se por utilizar o índice de vegetação por diferença normalizada - NVDI, que foi calculada utilizando as porções da energia eletromagnética refletida pela vegetação nas bandas do vermelho (Banda 3) e do Infravermelho próximo (Banda 4)

$$NDVI = \frac{Banda\ 4 - Banda\ 3}{Banda\ 4 + Banda\ 3} \quad (7)$$

Esse cálculo matemático das bandas 3 e 4 se baseou na assinatura espectral das plantas, onde as plantas verdes e com vida absorvem fortemente radiação solar na região do vermelho para utilizar esta radiação como fonte de energia no processo de fotossíntese, realçando em tons de cinza mais claros para as áreas com vegetação presente e nas áreas de solo exposto tons de cinza mais escuros.

Para fins de cálculo, o QGIS possui operações matemáticas pré definidas para obtenção do NDVI, através da *Calculadora Raster* do menu *Raster*, dada pela equação $[\text{Float}(\text{Banda4}@1 - \text{Banda3}@1) / \text{Float}(\text{Banda4}@1 + \text{Banda3}@1)]$, com índice de variação entre -1 a 1, foi necessário reclassificar a imagem para as atribuir novos valores para cada um dos pixels a fim de estabelecermos a classe de cada um dele. Assim, para todos os pixels que possuíram valores no intervalo menos que 0,2 de NDVI foi estabelecido um novo valor de 1; para todos os pixels que com valores no intervalo de 0,2 a 0,3 estabeleceu o novo valor de 2; valores no intervalo de 0,3 a 0,4 estabeleceu o novo valor de 3; valores acima de 0,4 estabeleceu para as outras classes de NDVI que compuseram a imagem, onde foram utilizados 4 classes de vegetação respectivamente, Solo exposto, Vegetação rala, vegetação semi-densa e vegetação densa.

3.3.3 Reconhecimento no campo

A certificação sobre os resultados obtidos pelo processamento das imagens, realizou-se viagem de reconhecimento das áreas classificadas utilizando o GPS para posicionamento geográfico, percorrendo toda a área. As visitas foram realizadas as

principais vias de acesso, para identificação da cobertura vegetal processada no mapeamento, observando as características predominantes da vegetação, do solo, do relevo e de atividade humano, quando existia.

Esse percurso, foi registrado e adicionado a base de dados do QGIS para comparação da real situação de campo em 2015, de acordo com a classificação proposta anteriormente.

3.3.4 Elaboração dos Mapas Temáticos

Para geração dos mapas temáticos de cobertura vegetal, foi executada a etapa de mapeamento das áreas classificadas seguida de edição matricial para definição e identificação das regiões ocupadas por espelhos d'água, área urbana, nuvens e suas respectivas sombras. A partir do mapa temático, foi calculada então a extensão das áreas ocupadas por cada tema utilizando-se, para tanto, utilizou-se o QGIS (mostrar caminho de execução da tarefa).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Morfometria

A bacia hidrográfica do Rio Farinha tem orientação geral leste - oeste e foi classificada como uma unidade média, pois sua área de drenagem e perímetro foram de 742,75 km² e 197,18 km, respectivamente (Tabela 01), e, desse modo, com boas possibilidades de controle dos fatores hidrológicos que ali interferem.

A forma da bacia hidrográfica do rio Farinha influencia no tempo de escoamento da precipitação e sua comprovação na seção de controle. Isso é verificado pelos coeficientes que permitem quantificar a influência da forma no modo de resposta da bacia à ocorrência de uma precipitação, o tempo necessário para que toda a bacia contribua para a sua saída, quanto maior o tempo de concentração, menor a vazão máxima de enchente, se mantidas constantes as outras características (VILLELA; MATTOS, 1975). Esta forma da bacia é determinada por índices que relacionam com formas geométricas conhecidas, como o fator de forma (F), coeficiente de compacidade (Kc) e índice de circularidade (IC).

A bacia hidrográfica do rio Farinha apresenta menor tempo de concentração de água da chuva pelo fato de o coeficiente de compacidade apresentar o valor afastado da unidade (2,03) e de seu fator de forma exibir valor baixo (0,24). Esses valores indicam que a bacia não possui formato semelhante ao de uma circunferência, correspondendo, portanto, a uma bacia alongada, com menor concentração do percurso e que não é sujeita a grandes enchentes, nas condições normais de precipitação. Tal fato pode, ainda, ser comprovado pelo índice de circularidade, cujo valor é de 0,24 e sua razão de alongamento de 0,46. Tais características, aliadas à baixa razão altimétrica e às classes de declividade, contribuíam para o controle da drenagem durante as cheias e, conseqüentemente, dos processos erosivos.

Tabela 1 – Características da bacia hidrográfica do Rio Farinha, PB.

Características Físicas	Valor
Área de drenagem (km ²)	742,75
Perímetro (km)	197,18
Comprimento da bacia (km)	55,86

Comprimento do rio principal (km)	52,70
Comprimento total dos corpos d'água (km)	725,72
Padrão de drenagem	Dentrítico
Coefficiente de compacidade (K_c)	2,03
Fator de forma (K_f)	0,24
Índice de circularidade (I_c)	0,27
Razão de Elongamento	0,55
Ordem da bacia	5ª
Densidade de drenagem (D_d) (km/km ²)	0,98
Altitude mínima (m)	242
Altitude máxima (m)	992
Declividade	Suave ondulado
Solo predominante	Neossolo Litólico Eutrófico Típico

O resultado da análise morfométrica mostrou que a densidade de drenagem obtida foi de 0,98 km/ km², que indica a eficiência da bacia. Segundo Villela; Mattos (1975), esse índice pode variar de 0,5 km/km² em bacias com drenagem pobre a 3,5 ou mais nas bacias excepcionalmente bem drenadas, indicando, portanto, que a bacia em estudo apresentava baixa capacidade de drenagem. Valores baixos de densidade de drenagem estão geralmente associados a regiões de rochas impermeáveis e de regime pluviométrico caracterizado por chuvas de baixa intensidade ou pouca concentração da precipitação.

O sistema de drenagem, a ordem dos rios reflete na eficiência do sistema de drenagem, apresentou o grau de ramificação dentro da bacia do Rio Farinha de 5ª (quinta) ordem na época de cheia. Quando mais ramificado for a rede, melhor o sistema, e menor é o reflexo dos efeitos direto do uso da terra.

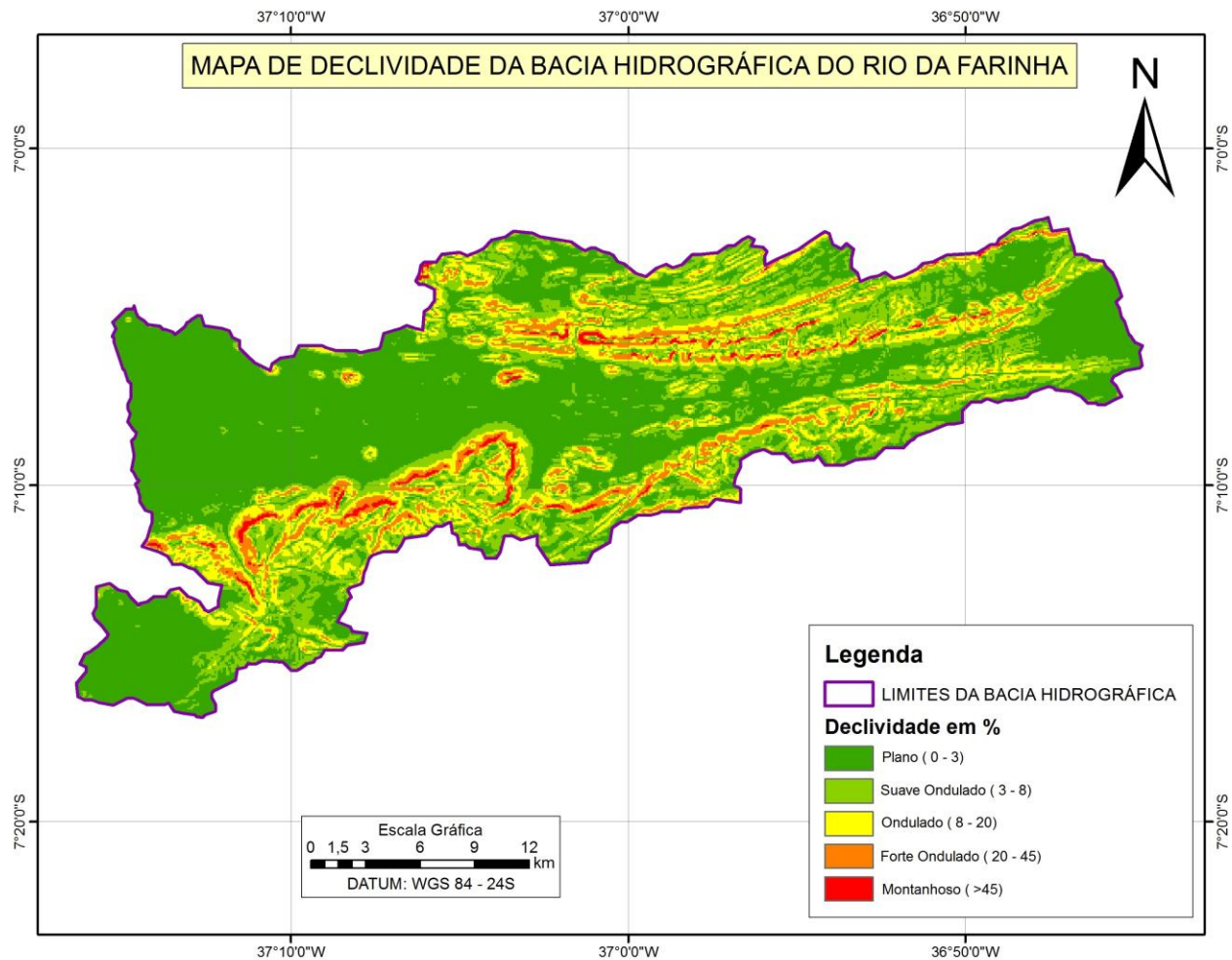


Figura 07. Declividade da área de estudo

A declividade encontrada na bacia hidrográfica variam bastante, sendo encontrado regiões plana (Figura 07). A declividade média da bacia hidrográfica é relevante no planejamento, possui importante papel na distribuição da água entre o escoamento superficial e subterrâneo, dentre outros processos. Alguns fatores, influenciado pela declividade, intensificam as ações no escoamento superficial, como ausência de cobertura vegetal, classe de solo e intensidade de chuvas, dentre outros, que conduzirá à maior velocidade de escoamento, menor quantidade de água armazenada no solo, sujeitando a bacia à degradação.

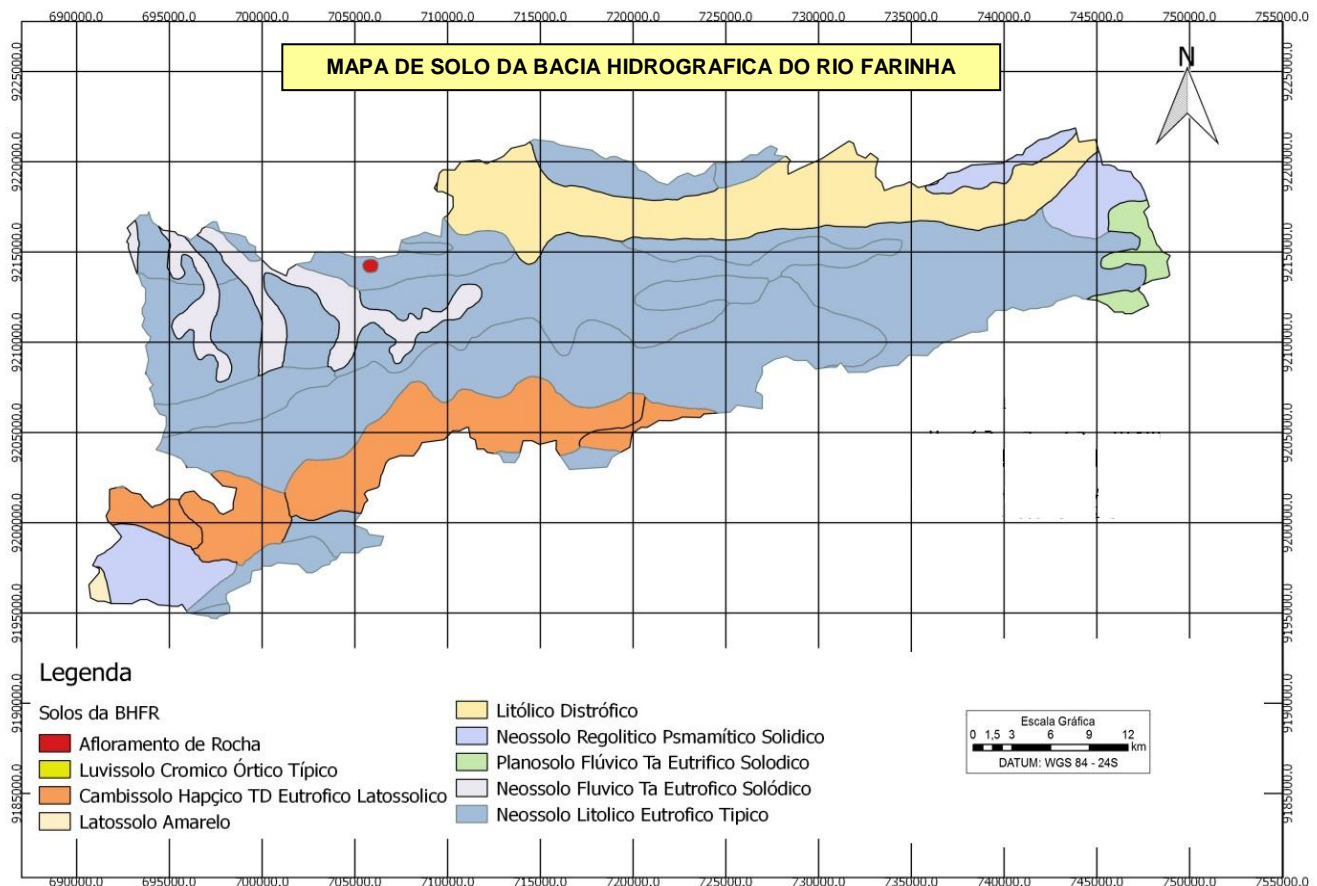


Figura 08- Mapa de solos da bacia hidrográfica do Rio Farinhas

A figura 08, apresenta oito classes de solos na área da bacia, sendo o Neossolo Litólico Estrófico Típico distribuído em maior parte na bacia como o solo mais predominante na região estudada, estão relacionadas a pouca profundidade, presença da rocha e aos declives acentuados e apresentam alta fertilidade, estão classificados segundo a nova classificação da Embrapa (1999).

As altitudes variam de 242 metros, atingindo até 922 metros nas cabeceiras de drenagem (Figura 09), ou seja, um desnível de quase 680 metros distribuído ao longo de um eixo de 55,86 km, que constitui o comprimento axial da bacia, sendo a altitude média de 487 m, que influencia na quantidade de radiação que a bacia recebe, com relação direta na evapotranspiração, temperatura e precipitação na região, onde maior a altitude menor

será a energia solar que o área receberá, então, menos energia disponível para o fenômenos naturais, variando temperatura e precipitações, causando variações na evapotranspiração.

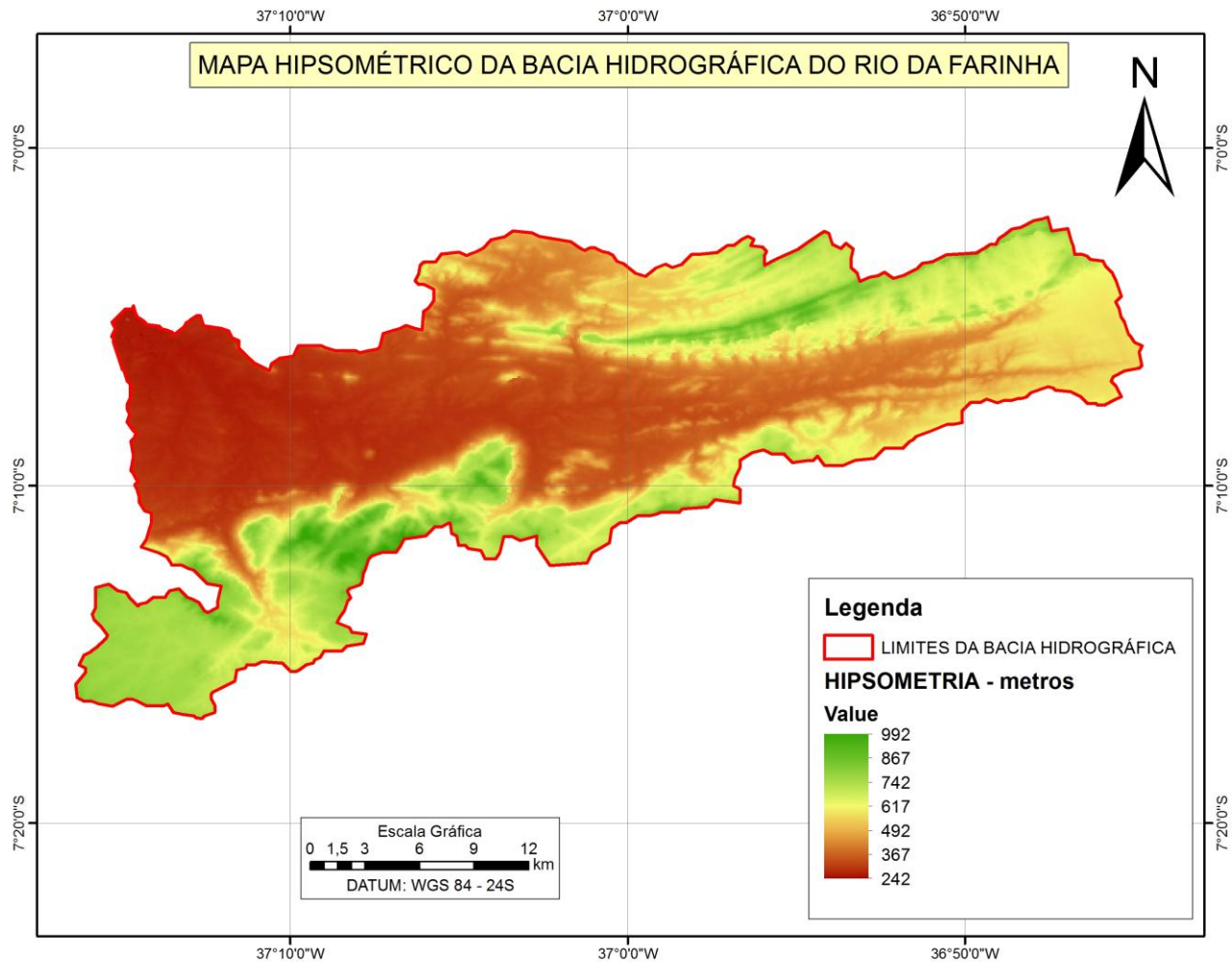


Figura 09. Hipsometria da área de estudo

4.2 NDVI

Os resultados referentes à análise dos valores de NDVI descritiva dos atributos na área em estudo, podemos observar que os valores quanto maior, mais densa é a vegetação e esse índice concentra-se em dois aspectos o monitoramento de mudanças anuais da atividade e do desenvolvimento da vegetação e na redução de ruídos, como sombras de nuvens, variações topográficas e diferença de iluminação solar.

A Figura 10 mostra os mapas das imagens processadas referente aos cálculos de NDVI, para as duas épocas estudadas, em maio de 1994 (a) e outro maio de 2015 (b), houve a preocupação em utilizar as mesmas épocas para comparação da cobertura vegetal do solo sem as influência das variações de precipitação, acompanhado das respectivas composições coloridas, em falsa cor. Verifica-se que nesta composição, a vegetação densa é representada pela cor verde mais escuro, o solo exposto pela cor alaranjada e as áreas com diferentes estágio de vegetação em combinação com tons de verde mais claro.

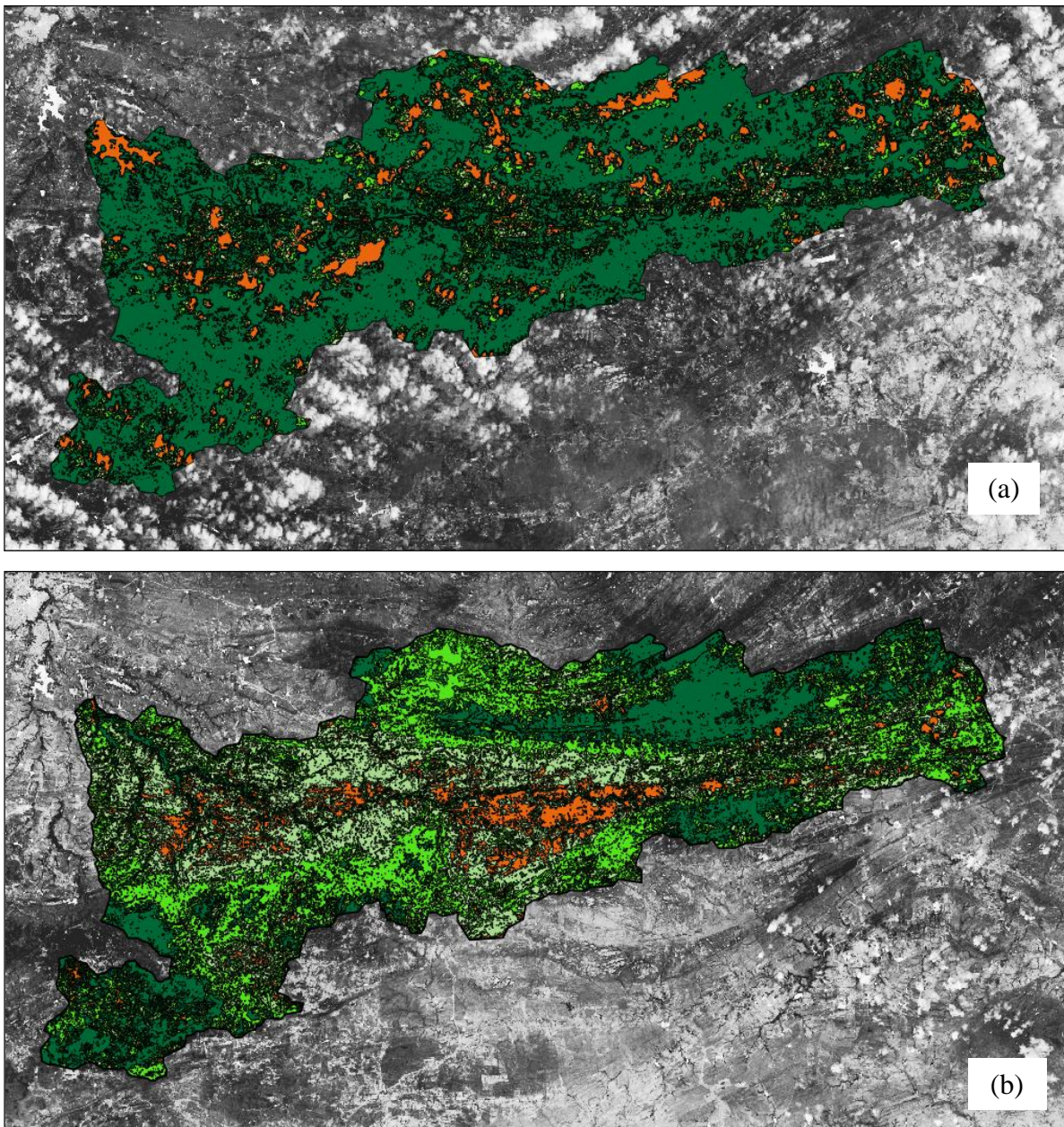


Figura 10 - Mapas das imagens processadas referentes aos cálculos de NDVI, para dois períodos, maio 1994 (a) e maio 2015 (b).

Observando a imagem e conhecendo a região, constata-se que, tanto em 1994 quando em 2015, as áreas com vegetação mais densa e preservadas encontram-se na área com relevo fortemente ondulado e montanhoso, o que inibe as atividades agrícolas e pecuaristas na região, pela dificuldade de acesso, já nas regiões mais planas e suavemente onduladas, encontramos diversas atividades antrópicas relacionadas a estas práticas, em criação de gado, bode, ovelhas, além de produções agrícolas como palma, culturas de sequeiro e temporárias, em virtude da pluviosidade ser diminuta e as características pedregosas do solo.

O levantamento evidenciou a influência de alterações nas características físicas sobre o padrão de distribuição do bioma na bacia em questão, destacando um aumento de áreas menos adensadas ao longo da bacia. Entretanto, a presença crescente da urbanização na região e demais fontes de impactos provenientes de atividades antrópicas proporcionam a redução de áreas de vegetação nativa e o aumento da densidade populacional no sentido leste-sudeste da cidade de Patos, onde as variações ambientais não são resistentes.

A presença de distúrbios e a dominância das ações antrópicas em detrimento das espécies mais sensíveis estabelecem marcantes alterações na estrutura e distribuição da flora. No ambiente analisado, em época distinta se evidenciaram tais alterações, ocorrendo tendência de separação entre o ambiente rural e urbano.

A crescente demanda hídrica e territorial tem sido constante, sendo a bacia hidrográfica do rio Farinha possuir um reservatório próximo ao município vem sendo um facilitador para o crescimento das cidades em busca de abastecimento, entre outros.

A área constitui uma característica de transição, onde se encontra centros urbanos, fazendas com lavouras e pecuárias e reservas ambientais, com características de uma vegetação de caatinga.

A Figura 11 apresenta o resultado do cálculo da área de cada tema nos mapas. Observa-se que, no período de 21 anos, as áreas ocupadas por vegetação rala sofreu um aumento de quase 35%, passando dos antigos 85,02 km² para os atuais 282,15 km² e a vegetação densa que outrora era encontrada numa área de 458,83 km² passou por uma redução de 35,8%. De maneira oposta, a vegetação semi-densa foi acrescida de áreas, o que

antes seria 142,61 km² para os atuais 317,47 km², correspondente a 33,4% da área total da bacia.

Comportamento diferente foi observado pela área de solo exposto, no período, houve pouco crescimento de 67,40 km² no ano de 1994 e 83,71 km² no ano de 2015, um aumento de 2,2%, onde esse aumento pode ter ocorrida nas área de lavoura.

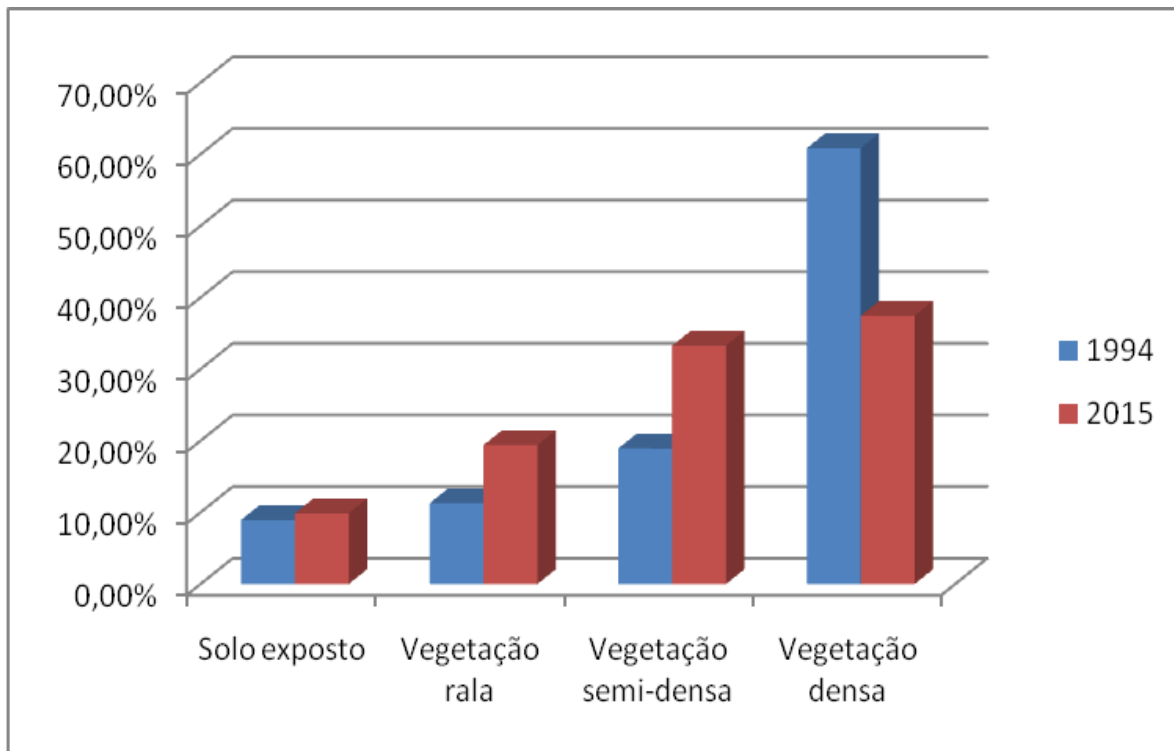


Figura 11 - Representação das áreas ocupadas por cada classe de cobertura vegetal.

Os resultados mostram, que a vegetação densa e semi-densa, em sua maior parte do tipo caatinga arborea-arbustiva preservada ou em avançado estágio de recuperação por sucessão natural, perdeu uma área de 119,58 km² no período de 21 anos, uma diminuição de 16,0% da área ocupada em 1994, o que representa uma taxa média de desmatamento de 5,69 km² ao ano. Por outro lado, as áreas com vegetação rala e/ou solo exposto, ocupadas principalmente por caatinga degradada, campos de agricultura e pecuária, cresceram 213,4 km² no período, uma taxa média de ampliação de 10,1 km² ao ano, elevando para 365,86 km², ou 46,7% da área total da bacia.

Após o mapeamento das áreas classificadas através do NDVI, imagens de 1994 e 2015, foi realizada a viagem de campo para identificação da área e validação dos resultados

obtidos, utilizando o equipamento GPS, com a área de estudo definida, registrando os pontos visitados, bem como o trajeto percorrido. (Figura 12)

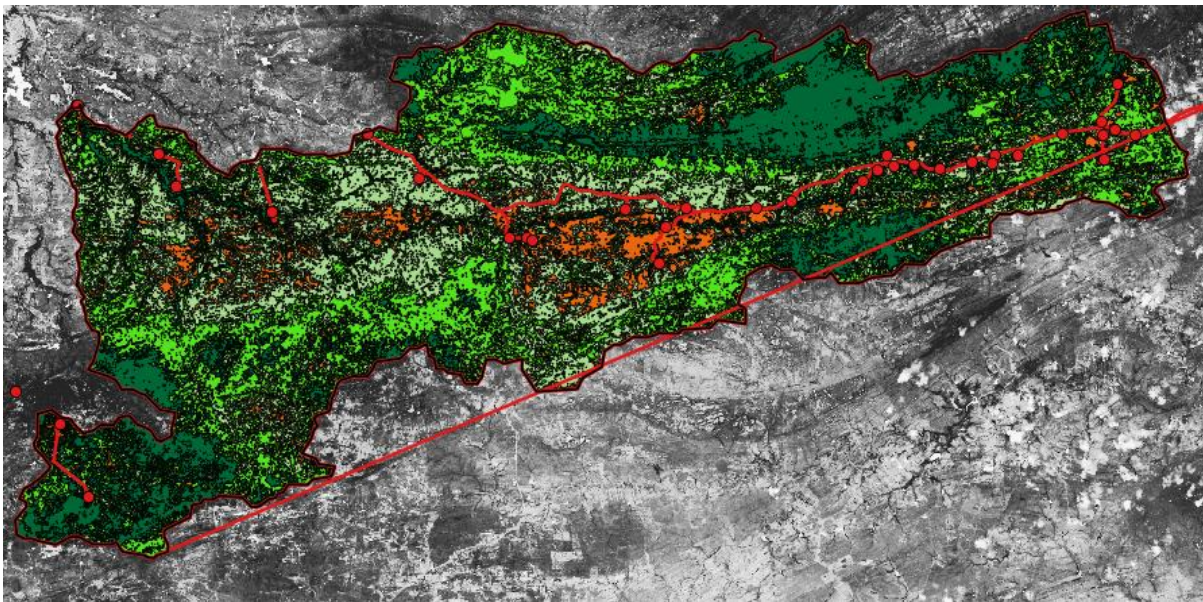


Figura 12 - Trajeto percorrido com o auxílio do GPS, apresentado sobre o mapeamento da cobertura vegetal em 2015.

Para visualização da paisagem, foi realizada na época seca (setembro/ 2015), para facilitar o reconhecimento, tentando cobrir as áreas representativas das diversas situações em campo. A comprovação dos resultados foi realizada pela comparação da realidade atual com a classificação das imagens de 2015, observando as situações reais da bacia em questão.

Observando o percurso realizado na visita de campo, foram registrada as coordenadas dos locais selecionados, fazendo os registros fotográficos e a descrição sucinta da vegetação, do solo, altitude e do relevo. (Tabela 02)

Tabela 2 - Anotação da inspeção de campo realizada em setembro de 2015 para comprovação dos resultados.

Ponto	Altitude (m)	Vegetação	Solo	Relevo	Observação
01	593	Densa	Pedregoso	Plano	
02	597	Semidensa	Pouco pedregoso	Plano	
03	622	Rala	Areanoso	Suave ondulado	

Ponto	Altitude (m)	Vegetação	Solo	Relevo	Observação
04	591	Rala	Pedregoso	Suave ondulado	Área de manejo florestal
05	550	Densa	Pedregoso	Suave ondulado	Área de manejo florestal
06	589	Semidensa	Pouco pedregoso	Ondulado	
07	549	Campo de Pastagem	Pouco pedregoso	Ondulado	Plantação de Palma
08	560	Semidensa	Argilo pedregoso	Forte ondulado	
09	510	Rala	Argilo pedregoso	Forte ondulado	
10	444	Área urbana	Alvenaria	Suave ondulado	Cidade de Salgadinho
11	415	Rala	Pedregoso	Forte ondulado	
12	408	Semidensa	Pedregoso	Ondulado	
13	424	Semidensa	Pedregoso	Suave ondulado	
14	420	Rala	Argilo pedregoso	Ondulado	Pecuária
15	419	Densa	Argilo pedregoso	Ondulado	
16	404	Semidensa	Argilo pedregoso	Suave ondulado	
17	371	Rala	Pedregoso	Suave ondulado	
18	385	Área urbana	Alvenaria	Suave ondulado	Cidade de Areia de Baraúna
19	356	Solo exposto	Pedregoso	Suave ondulado	
20	337	Solo exposto	Pedregoso	Suave ondulado	
21	331	Semidensa/ Rala	Pedregoso	Ondulado	Açude pequeno
22	310	Área urbana	Alvenaria	Ondulado	Cidade de Passagem
23	313	Rala	Arenoso	Suave ondulado	Área de exploração de lenha
24	329	Semidensa/ Rala	Pouco pedregoso	Suave ondulado	
25	350	Rala	Pedregoso	Ondulado	
26	291	Rala/ Zona urbana	Pedregoso / Alvenaria	Suave ondulado	Cidade de Cacimba de Areia
27	281	Semidensa	Arenoso	Plano	Açude pequeno
28	276	Densa	Areno pedregoso	Suave ondulado	

Ponto	Altitude (m)	Vegetação	Solo	Relevo	Observação
29	275	Semidensa	Arenoso	Suave ondulado	Pecuária
30	766	Densa/ Urbana	Alvenaria	Forte ondulado	Cidade de Teixeira
31	747	Densa	Argilo pedregoso	Forte ondulado	

Existiu uma dificuldade de acesso nas extremidades da área de estudo, por ser cercada por regiões montanhosas e não haver trânsito para essas áreas de difícil acesso, o que já era de se esperar o predomínio de caatinga densa.

O percurso foi iniciado na extremidade leste da bacia, percorrendo pela rodovia e estradas vicinais da região. Foi encontrada áreas com relevo plano com altitude media de 400 m, com uma predominância de solo pedregoso e exploração de campos com cultivo de palmas e culturas temporárias. Pôde-se observar, que essas áreas tem características fortes das ações humanas, onde a vegetação nativa cedeu espaço inteiramente às práticas agrícolas e pecuária (Figura 13).



Figura 13 - Cultivo de palma (Ponto 07)

Continuando o percurso na área, observou-se que existe uma área de manejo florestal (Ponto 04 e 05) com presença de dois estágios de vegetação rala, em fase de

regeneração natural, e densa, preparada para o corte da lenha, na presença de um relevo suave ondulado.



Figura 14 - Área de manejo florestal, vegetação rala (Ponto 04) e vegetação densa (Ponto 05)

Os pontos 10, 18, 22, 26 e 30, são centros urbanos situados dentro da bacia em questão, são os municípios de Salgado, Areia de Baraúna, Passagem, Cacimba de Areia e Teixeira, respectivamente. Áreas totalmente descaracterizadas, pela alvenaria, sem

presença de vegetação representativa. Tratando-se de uma área de relevo suave. Nesta parte, observou-se que a vegetação da parte alta da serra, caracterizada pela caatinga densa de porte arbóreo-arbustivo, de difícil acesso em decorrência da forte declividade do terreno.

Como foi constatado na região, a criação de animais é pequena (ponto 14 e 29), mas que descaracteriza a área pela pecuária, deixando campos sem a cobertura vegetal, dando espaço à campos de pastagens, em relevo suave ondulado e solo Argilo/ pedregoso. (Figura 15)



Figura 15 - Pecuária da região em campos aberto para criação. (Ponto 29)

As últimas visitas foram realizadas na região de serra, essa área é caracterizada pelo difícil acesso devido ao relevo fortemente ondulado, com solo Argilo pedregoso. Pe dificuldade de acesso são áreas pouco exploradas e mantém a vegetação densa e bem preservada.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A caracterização morfométrica de uma bacia hidrográfica é um dos primeiros e mais comuns procedimentos para elucidar as várias questões relacionadas com o entendimento da dinâmica ambiental local.

Com os resultados obtidos e interpretados pode-se concluir que a bacia do rio Farinha possui forma alongada, que favorece o escoamento da água precipitada, e menos riscos a enchentes em condições normais de pluviosidade anual. Com uma declividade caracterizada como plano, com drenagem fraca ($Dd = 0,98 \text{ km/km}^2$), que afeta diretamente o escoamento superficial e, conseqüentemente, não resulta na perda de solo, água e matéria orgânica. O padrão de drenagem formado pelos cursos d'água caracteriza-se como do tipo dendrítico, com grau de ramificação de 5° ordem.

A utilização de um sistema de informações geográficas para calcular e processamento do NDVI derivado de imagens de satélite, permitiu avaliar o avanço do processo de degradação na área para diversos fins, através da análise da cobertura vegetal nativa, na bacia hidrográfica do rio Farinha, e qualificar o avanço deste processo ao longo de 21 anos, compreendidos entre 1994 e 2015.

Foi possível, também, avaliar a evolução do processo de degradação da vegetação ao quantificar as áreas mapeadas nos dois momentos selecionados, permitindo assim verificar o avanço da atividade humana sobre a vegetação nativa na bacia. Onde, o reconhecimento de campo, por sua vez, apresentou as possíveis causas desse processo ao identificar as principais atividades da população, tais como centros urbanos, agricultura, extração de lenha na mata nativa, entre outros.

6 REFERÊNCIAS

- ANDRADE, J. B. **NAVSTAR-GPS**. Trabalho acadêmico. Setor de Tecnologia, Departamento de Geociências, Curso de Pós- Graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1998.
- ARAÚJO, L. V. C. **Composição Florística, Fitossociologia e Influência dos Solos na Estrutura da Vegetação em uma Área de Caatinga no Semiárido Paraibano**. 2007. 111 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2007.
- ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistema de informações geográficas Aplicações na agricultura**. Serviço de produção de informação - SPI, Brasília, 1998.
- BELTRAME, A. V. **Diagnóstico do meio ambiente físico de bacias hidrográficas: modelo de aplicação**. Florianópolis: UFSC, 1994.
- BERTONI, J.; NETO, F. L., **Conservação do Solo**. 3 ed. São Paulo: Editora Ícone, 1993. 355 p.
- BORGES, F. S. P. **Estimativa de Batimetria utilizando Sensoriamento Remoto e Krigagem Bayesiana. Estudo de caso: Reservatório Morro Grande, Rio de Janeiro**. 2004. 108 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.
- BRASIL. **Lei n. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998**. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências.
- BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília, DF. 1997.
- CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M.; D`ALGE, J. C. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. 2 ed. São José dos Campos: IMPE, 2001.
- CARVALHO, C. M.; ALMEIDA FILHO, R. **Uso de imagens Landsat-TM para avaliar a extensão da desertificação na região de Gilbués, sul do Estado do Piauí**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, ISBN 978-85-17-00031-7, Florianópolis. São José dos Campos: INPE, 2007.
- CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia Prática**, Rio de Janeiro: CPRM, 1994.
- CARVALHO, N. O.; JÚNIOR, N. P. F.; SANTOS, P. M. C.; LIMA, J. E. F. W. **Guia de Avaliação de Assoreamento de Reservatórios, Brasília, DF**. Ed. Brasília: ANEEL 2000.

CHRISTOFOLETTI, A. **Análise de Sistemas em Geografia**. São Paulo: Hucitec-Edusp, 1979.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blucher, 1980.

COMITAS. **Glossaire des termes officiels de la télédétection aérospatiale, Bulletin de la Société française de photogrammétrie et télédétection**, n° 112, 1988.

COSTA, I. C. da. **Análise da Evolução Volumétrica do Aporte de Sedimentos ao Reservatório Epitácio Pessoa – PB**. 2002. Especialização (Especialização Gestão de Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Virtual e Tutoria a distância da Fundação Universitária Iberoamericana, FUNIBER. Santa Catarina, 2002.

CROSTA, A. P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Ed. Campinas: IG/UNICAMP, 1993. 10 p.

EPAGRI, J. R., **Idrisi for Windows – User’s Guide Version 2.0**. Clark Labs for Cartographic Technology and Geographic Analysis, Clark University, Worcester, MA. 1997.

EPAGRI. **Gerência Regional da E. E. de Urussanga. Plano de gestão e gerenciamento da bacia do Rio Araranguá – Zoneamento da disponibilidade e da qualidade hídrica. Análise das Características Físicas**. V. 3. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente/Secretaria de Estado do Desenvolvimento Rural e da Agricultura. Florianópolis – SC, 1997.

FERNANDES, M. R.; SILVA, J. C. **Programa Estadual de Manejo de Sub-Bacias Hidrográficas: Fundamentos e estratégias**. Ed. Belo Horizonte: EMATER-MG. 1994. 24 p.

FLAUZINO, F; SILVA, M; NISHIYAMA L; ROSA, R., Geotecnologias aplicadas à gestão dos recursos naturais da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba do Cerrado Mineiro. **Revista Sociedade e Natureza**, Minas Gerais, v. 22, p. 75-91, 2010.

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

GUARIZ, H.R. **Morfometria e atributos físicos do solo da microbacia do Córrego Jaqueira-Alegre**, ES. Dissertação de Mestrado. Alegre, UFES, 2008.

GUIMARÃES, C. L. **Geotecnologia na Determinação do Assoreamento do Açude Cachoeira dos Alves, Itaporanga-PB: Um Desenvolvimento Metodológico**. Dissertação de Mestrado, CTRN/ UFCG, 2007.

HARALICK, R. M.; SHAPIRO, L. G., **Image segmentation techniques**. **Machine Vision International**: Ann Arbor, 1984.

IBGE. **Censo 2011.** Disponível em: <<http://www.censo2011.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=21&uf=25>> Acesso em: ago. 2014.

INPE. **Processamento Digital de Imagens.** ed. São José dos Campos: INPE, 1996. 145 p.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W. **Remote Sensing and Image Interpretation.** 3 ed. John Wiley & Sons, Inc., 1994.

LIMA, R. C. C. **Avaliação do processo de desertificação no semiárido Paraibano utilizando geotecnologias.** Dissertação de Mestrado. PPGCTA/UEPB, 2010.

LIMA, W. P. **Princípios de hidrologia florestal para o manejo de bacias hidrográficas.** 2 ed. Piracicaba: ESALQ, 2008. 245 p.

LIMA, W. P. **Princípios de hidrologia florestal para o manejo de bacias hidrográficas.** Piracicaba: ESALQ, 1986.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS:** Descrição, fundamentos e aplicações. Ed. Presidente Prudente: Editora UNESP, 2000. 287 p.

MORAES, E. C. **Fundamentos de Sensoriamento Remoto.** Capítulo I – INPE, Cachoeira Paulista: INPE, 2002.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação.** ed. São José dos Campos: INPE, 2001.

MOSCA, A.A.O. **Caracterização Hidrológica de duas Microbacias Visando a Identificação de Indicadores Hidrológicos para o Monitoramento Ambiental do Manejo de Florestas Plantadas.** Dissertação de Mestrado. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, USP. Piracicaba/SP. 2003.

NOVAES, L.F.; AMARAL, L.G.H.; TERRA, A.A. **Determinação das Características Físicas da Bacia Hidrográfica do Rio Corrente.** In: Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem. Porto Alegre, 2004.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto – Princípios e Aplicações.** São Paulo, Editora Edgard Blucher Ltda, 1992.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações.** 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 1995.

OLIVEIRA, A. M. M. Caracterização de indicadores da erosão do solo em bacias hidrográficas com o suporte de geotecnologias e modelo predictivo. **Estudos Geográficos,** Rio Claro, v. 5, n. 1, p. 63-86, 2007.

PARAÍBA. PDRH-PB - **Plano Diretor de Recursos Hídricos da Paraíba.** João Pessoa/PB: Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA)/Governo

do Estado da Paraíba. 2006.

PARAÍBA. Relatório Técnico – Levantamento Batimétrico Automatizado do Açude Epitácio Pessoa. Campina Grande/PB: Agência Executiva de Gestão das (AESAs)/ Governo do Estado da Paraíba. 2004.

PINTO, R. M. S.; CARVALHO, V. C.; ALVALÁ, R. C. S. **Mapas de variabilidade temporal do uso e cobertura da terra do núcleo de desertificação de Irauçuba (CE) para utilização em modelos meteorológicos.** In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto ISBN 978-85-17-00044-7, São José dos Campos: INPE, 2009.

QI, J.; KERR, Y.H.; MORAN, M.S.; WELTZ, M.; HUETE, A.R.; SOROOSHIAN, S.; BRYANT, R. **Leaf area index estimates using remotely sensed data and BRDF model in a semiarid region.** Remote Sensing of Environment, v.73, 2000.

RICHARDS, J. A.; JIA, X.; **Remote sensing digital image analysis: an introduction.** 3.ed. New York: Springer Verlag, 1999.

ROSA, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto.** 3a ed. Uberlândia, Ed. da Universidade Federal de Uberlândia, 1995.

SÁ, H. C. A de; SILVA, R. R. da. **Contextualização e interdisciplinaridade: concepções de professores no ensino de gases.** 2006. Disponível em: <<http://www.quimica.ufpr.br/eduquim/eneq2008/resumos/R0621-1.pdf>>. Acesso em: Agosto de 2014.

SÁ, I. B.; ANGELOTTI, F. **Degradação ambiental e desertificação no Semi-Árido brasileiro.** Petrolina/ PE: Embrapa Semi-Árido, 2009.

SHIMABUKURO, Y. E.; NOVO, E. M.; PONZONI, F. J. **Índice de vegetação e modelo linear de mistura espectral no monitoramento da região do Pantanal.** Pesquisa agropecuária brasileira, Brasília, v.33, Número Especial, 1998.

SILVA, B. T. **Uso de Geotecnologias na Determinação das Condições Ambientais e do Assoreamento do Açude Vaca Brava.** 2012. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2012.

SILVA, J. S. **Extração de Atributos Hidrológicos de Bacias Hidrográficas, Utilizando Software Livre.** Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba - IFET-PB. João Pessoa: 2009.

SOUSA, R. F. de. **Terras agrícolas e o processo de desertificação em municípios do semiárido paraibano.** 2007. 180p. Tese (Doutorado Engenharia Agrícola) - UFCG. Campina Grande, 2007.

TONELLO, K.C.; DIAS, H.C.T.; SOUZA, A.L.; RIBEIRO, C.A.A.S.; LEITE, F.P. **Morfometria da Bacia Hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhões – MG.** Revista Árvore, Viçosa/MG, v.30, n.5, 2006.

VALERIANO, Márcio de M. **Modelo Digital de Elevação com Dados SRTM Disponíveis para a América do Sul**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. São José dos Campos: 2004. Disponível em: < <http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2004/06.30.10.57/doc/publicacao.pdf>>. Acesso em: Agosto de 2014.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245p

WILSON JR, J. G. **Áreas Urbanas: o Exemplo da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP)**, In: III Encontro de Engenharia de Sedimentos, Anais. v. 1, pp. 135-143, Belo Horizonte, MG, setembro de 1998.

ZOBY, J. L. G.; MATOS, B. A.; CONEJO, J. G. **Disponibilidade de água subterrâneas na bacia do rio São Francisco, São Paulo, Brasil**. In: XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, São Paulo, Brasil. Anais. São Paulo: XVII CBAS, p. 1-21, 2004.