



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CENTRO DE EDUCAÇÃO-CEDUC
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GEOAMBIÊNCIA E
RECURSOS HÍDRICOS DO SEMIÁRIDO**

GLAUCIENE JUSTINO FERREIRA DA SILVA

**DEGRADADAÇÃO AMBIENTAL NO MUNICÍPIO DE PARARI-PB: UMA
ANÁLISE POR MEIO DE SENSORIAMENTO REMOTO**

**CAMPINA GRANDE – PB
JUNHO DE 2013**

GLAUCIENE JUSTINO FERREIRA DA SILVA

**DEGRADADAÇÃO AMBIENTAL NO MUNICÍPIO DE PARARI-PB: UMA
ANÁLISE POR MEIO DE SENSORIAMENTO REMOTO**

Monografia apresentada ao Departamento de Geografia da Universidade Estadual da Paraíba, em cumprimento aos requisitos necessários para a obtenção do título de Especialista em Geoambiência e Recursos Hídricos do Semiárido.

Orientador(a): Prof. Dr^a Nadjacleia Vilar Almeida

**Campina Grande-PB
Junho de 2013**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL-UEPB

S586d Silva, Glauciene Justino Ferreira da.
Degradadação ambiental no município de Parari-PB
[manuscrito] : uma análise por meio de sensoriamento
remoto / Glauciene Justino Ferreira da Silva. – 2013.
73 f.: il.

Monografia (Especialização em Geoambiência e
Recursos Hídricos do Semiárido) – Universidade Estadual
da Paraíba, Centro de Educação, 2013.

“Orientação: Profa. Dra. Nadjacleia Vilar Almeida,
Universidade Federal da Paraíba”.

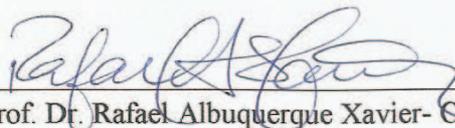
1. Região Semiárida 2. Degradação Ambiental 3.
Caatinga 4. Geotecnologia. I. Título.

21. ed. CDD 333.736

Monografia aprovada em 21/06/2013, pela banca examinadora:



Prof. Dr^a. Nadjacleia Vilar Almeida - DEMA/UFPB
(Orientadora)



Prof. Dr. Rafael Albuquerque Xavier - CEDUC/UEPB
(Examinador Interno)



Prof. Dr^a. Milena Dutra da Silva - PPGAU/UFPB
(Examinador Externo)

AGRADECIMENTOS

À Deus pelo privilégio da vida.

À minha família, pelo apoio incondicional, cuidado e dedicação, em especial aos meus pais (Graça e José) por terem mostrado desde cedo que a educação é o caminho ao qual devo seguir.

À professora Dr^a Nadjacleia Vilar Almeida pela orientação, dedicação, paciência e principalmente confiança que depositou no desenvolvimento deste trabalho.

Aos colegas da turma 2011 da Especialização em Geoambiência e Recursos do Semiárido em especial a (Danila Lima, Thiago Severo e Clênia Alcântara).

Aos professores da UEPB e os professores voluntários de outras instituições pela dedicação a turma 2011 da Especialização em Geoambiência e Recursos Hídricos do Semiárido.

A minha eterna gratidão a todos pelas orações.

RESUMO

A exploração não sustentada da cobertura vegetal, recursos hídricos e do solo em uma região traz sérias implicações à manutenção do equilíbrio ambiental. Em regiões semiáridas propícias à desertificação, por exemplo, a degradação das terras provoca o assoreamento dos rios, interfere nas propriedades físico-químicas dos solos e afetam a biodiversidade, modificando a paisagem e desencadeando conflitos socioambientais. Para um monitoramento mais eficiente das alterações e um planejamento adequado no combate a destruição do bioma Caatinga é necessário o monitoramento da degradação para prevenção dos problemas ambientais consequentes da ação humana. Nesse contexto, esse trabalho tem como objetivo analisar espacialmente a degradação da cobertura vegetal no município de Parari-PB. Com o auxílio do Sensoriamento Remoto, SIG e técnicas de análise espacial. Os mapeamentos das áreas de vegetação e de cobertura do solo permitiram um melhor entendimento da dinâmica da vegetação e da devastação da caatinga no município entre 1988 e 2005. A quantificação das classes de cobertura do solo e NDVI foram expostas por meio de gráficos e tabelas, fornecendo informações necessárias para criação de políticas de preservação e manutenção das áreas de mata na região em estudo e proporcionando subsídios ao combate a desertificação.

Palavras-chave: cobertura do solo; geotecnologias; caatinga.

ABSTRACT

The exploration non- sustainable vegetable area, water sources and soil in a region provokes serious implications to the environmental equilibrium. In dry regions subjected by desertification, for instance, the degradation of the lands provokes rivers siltation and interferes in the chemical properties of the soil and affects the biodiversity. It also modifies the landscape and initiates socio environmental conflicts. In order to monitor more efficiently these alterations and an appropriated plan to combat the destruction of the Caatinga (name given by a region very dry in Brazil) biome it is necessary a monitoring of the degradation to prevent the environmental problems caused by human actions. In this contest, this work has as a goal to analyze spatially the degradation of the vegetable areas in the town of Parari – Paraíba State – Brazil. We are aided by remote sensing, GIS and spatial analysis techniques. The mappings of the vegetable areas and soil covering allowed us a better understanding of the dynamics of vegetation and Caatinga devastation in the town during the period of 1988 and 2005. The quantification of classes from the soil covering and NDVI were displayed by graphics and tables, giving necessary information to create politics of preservation and maintenance of the forest areas in the studied region and also giving conditions to face the desertification.

Key-words: cover soil; geotechnologies; Caatinga.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Áreas susceptíveis à desertificação e áreas afetadas por processos de desertificação.....	14
Figura 2	A área atingida pela dispersão do fogo de uma queimada para preparo do solo ao plantio, que sem controle afetou áreas mais próximas no município de São João do Tigre-PB.....	15
Figura 3	Áreas degradadas pela mineração no município de Junco do Seridó- PB, com destaque para as áreas circuladas em vermelho, e a área em primeiro plano na fotografia, onde a presença de areia e ausência de vegetação de grande porte é resultante da exploração do solo.....	17
Figura 4	Degradação do solo no município de Parari-PB.....	17
Figura 5	Processo de obtenção de informações (imagens).....	20
Figura 6	Resposta de reflectância de uma folha de magnólia (<i>Magnolia grandiflora</i>) à diferentes conteúdos de umidade.....	24
Figura 7	Reflectância espectral característica da folha vegetal verde sadia, para o intervalo de onda entre 0,4 e 2,6 μm	25
Figura 8	Localização do município de Parari.....	29
Figura 9	Fluxograma das etapas metodológicas desenvolvidas no estudo.....	30
Figura 10	Distribuição dos pontos de controle para o registro da banda 4 do sensor TM da imagem obtida com o Landsat-5 em 29/07/2005.....	32
Figura 11	Imagem sintética das bandas 3,4 e 5 (RGB) do sensor TM.....	33
Figura 12	Obtenção do NDVI no software ArcGIS.....	34
Figura 13	Imagem NDVI para o ano de 1988, resultante da operação algébrica dos níveis de cinza.....	34
Figura 14	Associação dos valores de NDVI as classes temáticas e cores propostas.....	35
Figura 15	Resultado da associação entre as classes e valores de NDVI.....	36
Figura 16	Coleta das amostras de treinamento para a posterior classificação da imagem.....	37

Figura 17	a) Imagem Landsat-5/TM de 29/07/2005 classificada; b) A imagem após aplicação da técnica de pós-classificação.....	38
Figura 18	Resultado da operação medida de classes no SPRING, que possibilita a quantificação das classes temáticas existentes em cada imagem.....	39
Figura 19	Representação da análise espacial Identity do ArcGIS 9.3.....	40
Figura 20	Metodologia utilizada para o cruzamento dos arquivos <i>shape</i>	40
Figura 21	Resultado do cruzamento entre os planos de informação correspondentes as áreas de matas em 1988 e o mapa de cobertura do solo em 1995.....	41
Figura 22	Tabela de atributos do <i>shape</i> resultante do cruzamento entre os PI's, com destaque para os campos referentes as informações dos <i>shapes</i> de origem.....	41
Figura 23	Classificação da situação das áreas de vegetação na tabela de atributos do <i>shape</i> resultante.....	42
Figura 24	Mapa hipsométrico do município de Parari.....	44
Figura 25	Mapa da cobertura do solo em 1988.....	45
Figura 26	Acúmulo de chuvas no posto de São João do Cariri em 1988.....	45
Figura 27	Mapa da cobertura do solo em 1995.....	47
Figura 28	Acúmulo de chuvas no posto de São João do Cariri em 1995.....	47
Figura 29	a) Vegetação de grande porte as margens do leito seco de rio em Parari. b) Algaroba (<i>Prosopis juliflora</i>) na estrada para Parari em janeiro de 2010.....	49
Figura 30	Mapa da cobertura do solo em 1999.....	50
Figura 31	Acúmulo de chuvas no posto de São João do Cariri em 1999.....	50
Figura 32	Mapa da cobertura do solo em 2005.....	52
Figura 33	Acúmulo de chuvas no posto de São João do Cariri em 2005.....	52
Figura 34	Gráfico com percentual das áreas de cobertura do solo.....	54
Figura 35	Gráfico das áreas de cobertura do solo em hectares.....	54

Figura 36	NDVI obtido a partir das bandas 3 e 4 da imagem Landsat-5/TM de 08/03/1988.....	55
Figura 37	NDVI temático obtido da imagem Landsat-5/TM de 08/03/1988.....	56
Figura 38	NDVI obtido a partir das bandas 3 e 4 da imagem Landsat-5/TM de 08/04/1999.....	57
Figura 39	NDVI temático obtido da imagem Landsat-5/TM de 08/04/1999.....	58
Figura 40	Histograma mostrando a distribuição dos valores de NDVI em 1988. b) Histograma mostrando a distribuição dos valores de NDVI em 1999.....	59
Figura 41	NDVI obtido a partir das bandas 3 e 4 da imagem Landsat-5/TM de 20/09/1995.....	60
Figura 42	NDVI temático obtido da imagem Landsat-5/TM de 20/09/1995.....	61
Figura 43	Área desmatada no Município de Parari nota-se o solo exposto e vulnerável as condições do clima.....	61
Figura 44	NDVI obtido a partir das bandas 3 e 4 da imagem Landsat-5/TM de 29/07/2005.....	62
Figura 45	NDVI temático obtido da imagem Landsat-5/TM de 29/07/2005.....	62
Figura 46	Vegetação densa verificada as margens e estrada em Parari.....	63
Figura 47	Histograma mostrando a distribuição dos valores de NDVI em 1999. b) Histograma mostrando a distribuição dos valores de NDVI em 2005.....	63
Figura 48	Pavimento desértico nas proximidades da estrada para o município de Parari em Janeiro de 2010.....	64
Figura 49	Mapa da evolução do desmatamento de 1988 a 2005.....	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Áreas mais afetadas pelo processo de desertificação no Estado da Paraíba.....	16
Tabela 2: Quantificação das áreas de classes temáticas em 1988.....	46
Tabela 3: Quantificação das áreas de classes temáticas em 1995.....	48
Tabela 4: Quantificação das classes de cobertura do solo em 1999.....	51
Tabela 5: Quantificação das classes de cobertura do solo em 2005.....	53

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	10
1.0 REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1 Degradação ambiental no Semiárido.....	12
2.2- Geotecnologias no estudo de áreas degradadas.....	18
2.2.1 - Processamento digital de imagens.....	21
2.2.2 - O comportamento espectral da vegetação.....	24
2.2.3 - Índices de vegetação empregados nos estudos de degradação.....	26
3.0 METODOLOGIA	29
3.1 - Caracterização da área de estudo.....	29
3.2 – Materiais.....	29
3.2.1 - Procedimentos metodológicos.....	30
3.3 Pré-processamento e processamento das imagens.....	31
3.4 - Determinação do NDVI (Normalized Difference Vegetation Index - NDVI).....	33
3.5 - Classificação das imagens.....	36
3.6 Quantificação das áreas de vegetação no período 1988-2005.....	38
3.7 - Cruzamento dos mapas temáticos.....	39
4.0 RESULTADOS E DISCUSSÕES	44
4.1 - Mapa da cobertura do solo em 1988.....	44
4.1.2 - Mapa de cobertura do solo em 1995.....	46
4.1.3 - Mapa da cobertura do solo em 1999.....	49
4.1.4 - Mapa de cobertura do solo em 2005.....	51
4.2 - Análise do NDVI (Normalized Difference Vegetation Index - NDVI).....	54
4.2.1- NDVI e NDVI temático para o município em 1988 e 1999.....	55

4.2.2 - NDVI e NDVI temático para o município em 1995 e 2005.....	59
4.2.3 – Mapa da situação das áreas desmatadas de 1988-2005.....	65
CONCLUSÕES.....	67
REFERÊNCIAS.....	68

INTRODUÇÃO

A exploração predatória dos recursos naturais no semiárido brasileiro tem causado a devastação do bioma Caatinga. Como resultado de um processo histórico de uso e ocupação da região, o desgaste provocado pelas ações humanas, contribuiu para que os remanescentes florestais fossem quase que totalmente destruídos.

Não diferente dos demais estados inseridos no semiárido brasileiro, a Paraíba possui municípios que sofrem com a degradação ocasionada por atividades como a agricultura de sequeiro e a pecuária extensiva, praticadas sem qualquer planejamento ou preocupação com o equilíbrio ambiental.

Segundo a literatura a vegetação de caatinga em grande parte do estado da Paraíba foi desmatada para dar lugar à agropecuária e para a retirada de lenha durante os períodos de escassez hídrica que garantiam o sustento da população local. O mesmo fato provocou a devastação da mata ciliar ao longo dos rios, da cobertura vegetal nos brejos de altitude e das áreas úmidas que existem na região. A destruição gerada durante séculos de exploração e que perdura até os dias de hoje, tem contribuído de forma significativa para a degradação do solo, assoreamento dos rios e principalmente para o avanço do processo de desertificação.

Todos estes fatores associados ao ambiente potencialmente frágil que é o semiárido acarretam não só problemas ambientais como também socioeconômicos. Pois, colaboram com o aumento da pobreza, diminuição da produção agrícola, migrações da população local para os municípios de maior porte em busca de melhores condições de vida, desestruturação familiar, além da perda da ligação do homem do campo com a terra.

No município de Parari localizado no Cariri Paraibano, a deterioração ambiental ocorre principalmente com a devastação da caatinga e degradação da terra, tornando áreas impróprias a agricultura e provocando desequilíbrio ambiental. Com o desmatamento e queimadas na caatinga perdas incomparáveis da biodiversidade local também são somadas as consequências deste processo.

A degradação ambiental no semiárido paraibano e as modificações ocorrem de forma dinâmica e temporal, dessa forma, o estudo deste problema necessita de técnicas seguras que possibilitem o monitoramento e que forneçam dados confiáveis servindo de suporte para a tomada de decisões.

Partindo deste pressuposto, as geotecnologias permitem a obtenção de informações que ajudam a entender o atual quadro, além de estimar a expansão e intensidade das alterações no meio. O Sensoriamento Remoto e os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) possibilitam através da análise de imagens de satélites espacializar a ocorrência desses processos.

Diante do exposto, este trabalho objetiva por meio das geotecnologias analisar a degradação ambiental no município de Pararí inserido no semiárido paraibano, na tentativa de entender e representar espacialmente a dinâmica da vegetação de caatinga e consequentemente combater a destruição do bioma no estado e servir de subsídio para diagnosticar o processo de desertificação.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1- Degradação ambiental no Semiárido

As alterações provocadas pela exploração predatória dos recursos naturais, associado às condições climáticas tem contribuído gradativamente para tornar o bioma Caatinga mais vulnerável ao processo de desertificação. E como consequência os problemas socioeconômicos gerados por esse processo afetam diretamente a vida da população.

De acordo com Drew, (1998) desertificação é um vocábulo de significado amplo, que inclui várias alterações climáticas, ecológicas e geomorfológicas que diminuem a produtividade biológica de uma área tornando-a inaproveitável para a agricultura.

Diante do exposto, o processo de degradação ambiental em áreas áridas, semiáridas e sub-úmidas secas é entendido como desertificação. Oficialmente aceito pela Convenção das Nações Unidas para Combate à desertificação (UNCCD) e incluso na Agenda 21 global, para alguns especialistas esse conceito para a desertificação carece de discussões e debates, tendo em vista à complexidade dos processos de desertificação.

Nas áreas vulneráveis à desertificação, as atividades humanas são em sua maioria voltadas a agricultura de subsistência, e devido à falta de alternativas para desenvolver outros meios de produção alimentícia e geração de renda, os produtores rurais praticam: o cultivo excessivo que desgasta os solos; realizam o desmatamento da cobertura vegetal que o protege e as queimadas; utilizam a irrigação de forma errônea e sem planejamento.

Essas atividades provocam entre outros problemas a salinização dos solos, e para agravar a situação, às terras ainda são afetadas pelo subrepastejo¹ animal. Dessa forma, deve-se considerar além dos fatores físicos naturalmente responsáveis por modificações ambientais, o efeito intensificador e até mesmo acelerador das atividades humanas inadequadas.

Os processos de degradação, principalmente nos níveis mais altos, provocam impactos sociais, econômicos, culturais, políticos e ambientais, os quais se relacionam entre si e, ao longo dos anos, tem se intensificado e aumentado à vulnerabilidade da população, produzindo grandes perdas sociais e econômicas para a região Nordeste (SOUSA, et. al., 2007).

No país, a desertificação está relacionada ao fato de degradação das terras, o que acarreta a perda de produtividade biológica ou econômica. Não diferente de outras áreas vulneráveis do planeta, no Brasil há uma necessidade latente de monitorar temporalmente esse processo.

¹ Superpopulação de animais numa área muito restrita.

O semiárido é marcado pela pobreza e atraso das infraestruturas social, política e econômico que por muito tempo estagnou seu desenvolvimento.

Geoambientalmente além das vulnerabilidades, grande parte dos solos encontra-se degradada. Os recursos hídricos apresentam níveis elevados de poluição e os frágeis ecossistemas regionais não estão sendo protegidos, ameaçando a sobrevivência de várias espécies e criando riscos à ocupação humana, inclusive associados a processos, em curso, de desertificação (SUDENE, 2012).

Além das limitações físicas e climáticas a relativa escassez de recursos naturais, a deficiência hídrica, baixa fertilidade do solo associados à utilização não planejada dos recursos da região tem contribuído para a degradação das terras. A agricultura exercida nessas áreas é muito impactante sobre os recursos naturais, são práticas errôneas de manejo do solo, utilização de água para irrigação de lavoura entre outros que convergem na acentuação do processo de desertificação. A dimensão dos processos de degradação e as áreas mais frágeis no semiárido brasileiro podem ser verificados na Figura 1.

A precipitação pluviométrica média anual na região semiárida brasileira é inferior a 800 milímetros, o índice de aridez é de até 0,5 calculado pelo balanço hídrico que relaciona as precipitações e a evapotranspiração potencial, no período entre 1961 e 1990, o risco de seca maior que 60%, tomando-se por base o período entre 1970 e 1990 (BRASIL, 2009).

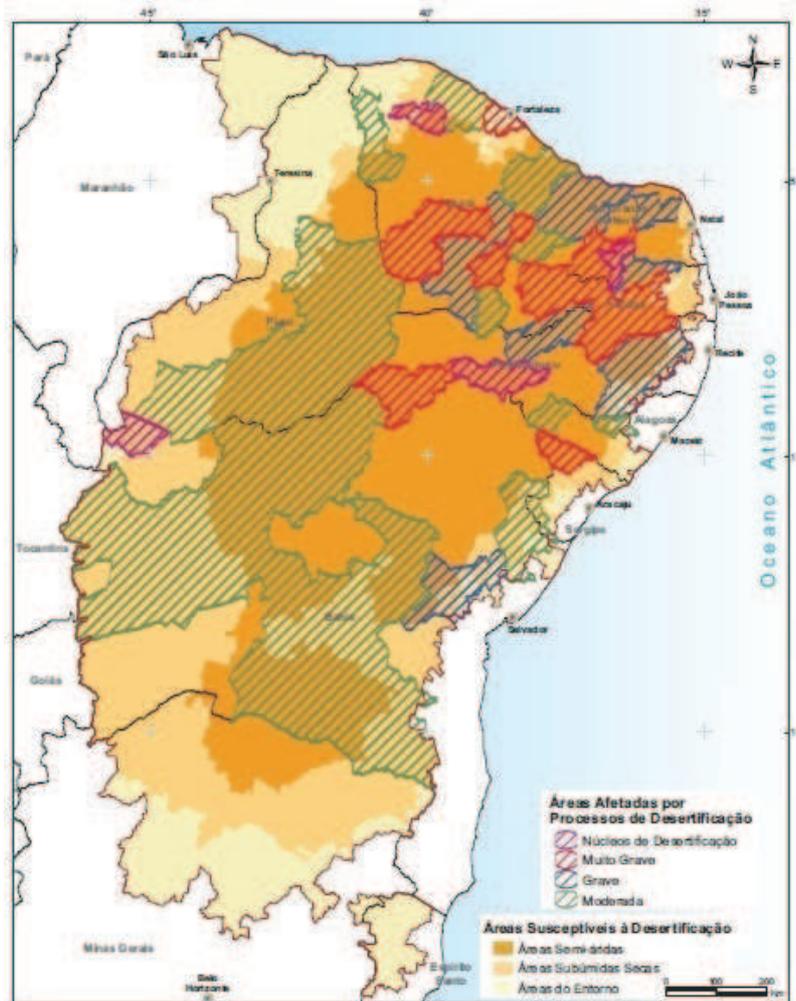


Figura 1: Áreas suscetíveis à desertificação e áreas afetadas por processos de desertificação.

Fonte: Brasil, 2009

Diante do exposto, fica evidente a vulnerabilidade ambiental da região ao processo de desertificação, que aliado as atividades humanas não planejadas interferem diretamente na manutenção dos solos (propriedades físico-químicas), na conservação das biodiversidade e dos recursos hídricos.

Por carência de outros meios para a sobrevivência e pela ineficiência das políticas públicas de convivência com a seca na região semiárida boa parte da cobertura vegetal existente foi praticamente devastada, grandes áreas foram desmatadas e queimadas para dar lugar a pasto e para a plantação de lavouras, além de nos períodos de seca servir de lenha para a fabricação de carvão vegetal, gerando renda a população.

Segundo Tabarelli e Vicente (2003), menos de 2% da Caatinga está protegida em unidades de conservação de proteção integral. Os poucos fragmentos de caatinga ainda

existentes vem sofrendo uma grande pressão sendo comprometidos pelo processo de desertificação e falta de políticas de proteção colabora para a devastação.

Dessa forma, as queimadas (Figura 2) e o desmatamento para o preparo da terra que precede o plantio é um dos fatores de desgaste do solo, que provoca alterações nos ecossistemas locais, na biodiversidade e também problemas socioeconômicos, ou seja, causa a perda de produtividade biológica e econômica. Por isso, há uma necessidade latente em monitorar temporalmente a degradação das terras em ambientes potencialmente vulneráveis.



Figura 2: A área atingida pela dispersão do fogo de uma queimada para preparo do solo ao plantio, que sem controle afetou áreas mais próximas no município de São João do Tigre-PB.

Fonte: Glauciene Justino 25/01/2012.

Os nutrientes e a matéria orgânica do solo diminuem devido à agricultura praticada, que extrai elementos nutritivos em quantidades superiores à capacidade de regeneração natural do solo, evitando sua reconstituição. O resultado é um efeito acumulativo da degradação do ambiente e da pobreza, causas principais da desertificação (DRUMOND et al., 2004).

De acordo com Oliveira et al, (2009) a Paraíba é o Estado brasileiro com maior percentual de áreas com nível de degradação das terras muito grave, o estado possui 170 municípios (86,22% do território) incluídos na região Semiárida, sendo 63,54% de seu

território comprometido com a desertificação. As áreas mais afetadas podem ser verificadas de acordo com a (Tabela 1).

Tabela 1. Áreas mais afetadas pelo processo de desertificação no Estado da Paraíba

Áreas afetadas pelo processo de desertificação (km²)									
Estágios da desertificação	Microrregião do Seridó		Sub-bacia do Rio Taperoá		Microrregião do Piancó		Total (km²)		% do Estado
	(3.884 km²)		(5.657 km²)		(9.207 km²)		(18.748 km²)		
	Km	%	Km	%	Km	%	Km	%	
Baixo	490	12,62	781	13,8	3.402	26,09	4.673	24,93	8,26
Moderado	1.847	38,29	2.265	40,03	3.727	40,48	7.479	38,89	13,22
Severo	1.916	49,33	2.611	46,17	2.078	33,43	6.605	36,18	11,67

Fonte: Oliveira et. al, 2009)

O uso inadequado dos recursos naturais se tornou um dos maiores problemas no semiárido e nas áreas mais frágeis e susceptíveis aos processos de degradação. A mineração presente em alguns municípios paraibanos, por exemplo, tem devastado grandes áreas remanescentes do bioma Caatinga e proporcionado à aceleração do desgaste dos solos, que perdem não só os nutrientes necessários para a produção agrícola, como ocasiona níveis de deterioração quase que irreversíveis. No município paraibano de Junco do Seridó é possível notar a degradação provocada pela atividade mineradora em algumas áreas (Figura 3), a paisagem é marcada por pontos sem cobertura vegetal, onde o solo foi degradado e as restrições ao uso aumentadas pelo nível de exploração a que foram submetidos.

Os solos da região encontram-se em um nível de degradação que dificulta sua recuperação. No município de Parari (Figura 4), por exemplo, sulcos e a erosão laminar estão presentes de forma pontuais em algumas áreas, o que confirma o desgaste do solo ocasionado pela pecuária, atividades agrícolas inadequadas, irrigação não planejada e principalmente pelas queimadas e desmatamento, o que pode tornar algumas áreas irrecuperáveis.



Figura 3: Áreas degradadas pela mineração no município de Junco do Seridó- PB, com destaque para as áreas circuladas em vermelho, e a área em primeiro plano na fotografia, onde a presença de areia e ausência de vegetação de grande porte é resultante da exploração do solo.

Fonte: Glauciene Justino 06/07/2012.



Figura 4: Degradação do solo no município de Parari-PB.

Fonte: Glauciene Justino 06/07/2012

2.2- Geotecnologias no estudo de áreas degradadas

A degradação ambiental tem avançado no Semiárido nordestino, também cresce a demanda por estudos sobre o fenômeno da desertificação visando à conservação dos recursos naturais e o combate à degradação das terras..

Nesse sentido, as geotecnologias como o Geoprocessamento e o Sensoriamento Remoto se firmam como ferramentas de grande importância no monitoramento de áreas degradadas, possibilitando o controle e monitoramento dessas áreas, fornecendo dados confiáveis que servem de suporte à tomada de decisões.

CÂMARA e DAVIS (2000, p.1) asseguram que:

[...] o termo Geoprocessamento denota a disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica e que vem influenciando de maneira crescente as áreas de Cartografia, Análise de Recursos Naturais, Transportes, Comunicações, Energia, Planejamento Urbano e Regional .

A utilização de técnicas de Geoprocessamento tem se tornado uma poderosa ferramenta em estudos de questões ambientais, seja análise atual ou possibilidade de futuras projeções sobre o meio.

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), que processam dados gráficos e não gráficos (alfanuméricos) enfatizando as análises espaciais e modelagens de superfícies (CÂMARA e MEDEIROS, 1998).

Os Sistemas de Informações Geográficas dispõem de um conjunto de ferramentas e operações que permitem a integração e análise dos dados de maneira a transformá-los em informações úteis para tomada de decisões.

Segundo Rocha (2000), o SIG tem capacidade para aquisição, armazenamento, tratamento, integração, transformação, manipulação, modelagem, atualização, processamento, recuperação, análise e exibição de informações digitais georreferenciadas, topologicamente estruturadas, associadas ou não a um banco de dados alfanuméricos.

Existem diversas formas de aquisição de dados para abastecer esse sistema, das quais pode-se citar entre as mais comuns aquelas oriundas dos equipamentos de posicionamento por satélite e sensoriamento remoto.

Nesse contexto, Câmara (1995) classifica as informações geográficas em categoria temática, numérica e imagem. A categoria temática compreende informações qualitativas referentes a um tema específico; enquanto a numérica compreende valores que descrevem aspectos do mundo real, segundo regras pré-estabelecidas; e a categoria imagem, consiste em representações de medida da radiação eletromagnética emitida ou refletida pela superfície terrestre, realizada por um sensor remoto.

Para Sousa (2007), as geotecnologias permitem a realização de análises complexas ao integrar dados de diversas fontes (sensoriamento remoto, cartografia trabalho de campo etc.). Há softwares que possuem recursos (contrastes, composições, segmentação, classificação etc.) que permitem individualizar os principais alvos estudados (água, solo e vegetação), e ainda separar os diferentes níveis de degradação das terras e as distintas classes de cobertura vegetal, dando como resultado a criação de bancos de dados georreferenciados.

Em grande parte das análises e monitoramento da superfície terrestre dados obtidos por meio do Sensoriamento Remoto tem se tornado imprescindíveis, por proporcionarem uma periodicidade necessária a realização de diagnósticos ambientais.

O conceito mais específico para sensoriamento remoto leva em conta as funções dos sensores e a transferência de dados através de energia entre o objeto e o sensor. Alguns autores afirmam que o aspecto chave na definição do Sensoriamento Remoto não é o nível de coleta de dados e sim o uso de sensores de radiação eletromagnética para inferir propriedades de objetos da superfície terrestre.

O Sensoriamento Remoto é 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 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 (NOVO, 2009).

Os sensores seriam equipamentos capazes de coletar energia proveniente do objeto (Figura 5), convertê-la em sinal possível de ser registrado e apresentá-lo em forma adequada à extração de informações.

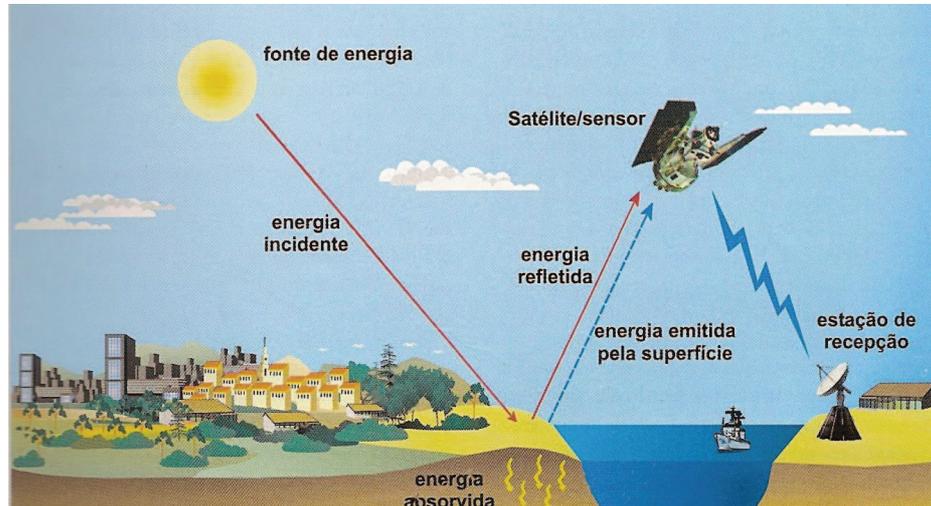


Figura 5: Processo de obtenção de informações (imagens)
 Fonte: Florenzano, 2002, p. 9

As plataformas mais utilizadas de sensoriamento remoto são os aviões (plataforma aérea) e satélites (plataforma espacial), podendo também ser utilizadas plataformas terrestres.

A evolução e criação de sensores mais sofisticados, que possibilitam imagens com alta resolução e a disponibilização de dados em larga escala têm impulsionado o crescimento e a divulgação do sensoriamento remoto (SILVA, 2010)

O que proporciona dados mais confiáveis, que asseguram o acompanhamento dos fenômenos estudados, como por exemplo, o processo de desertificação e as modificações na distribuição espacial da vegetação.

Essa tecnologia revolucionou o mundo no tocante ao planejamento e monitoramento da superfície terrestre (FERREIRA, 2004). Principalmente no que diz respeito as questões ambientais, como o estudo da cobertura vegetal, degradação do solo, poluição das águas, entre outros.

O emprego de imagens de satélite para estudo da dinâmica do processo de desertificação é frequentemente realizado em trabalhos no semiárido nordestino, pode-se citar os trabalhos desenvolvidos recentemente por Silva et al, (2009) intitulado “Análise dinâmica do processo de desertificação na região de Gilbués-PI, utilizando imagens do TM/Landsat 5”;

Paiva e Silva, (2009) que utilizaram imagens MODIS E TM para detecção de áreas degradadas na sub-bacia do Taperoá-PB entre outros autores.

2.2.1 - Processamento Digital de Imagens (PDI)

Florenzano (2002) considera as imagens obtidas por sensores remotos como dados brutos que, para serem transformados em informação, necessitam ser analisadas e interpretadas.

Para tal finalidade utilizam-se várias técnicas conhecidas como processamento digital de imagens.

O processamento digital de imagens de sensoriamento remoto consiste das técnicas utilizadas para identificar, extrair, condensar e realçar a informação de interesse para determinados fins, a partir de uma enorme quantidade de dados que usualmente compõem essas imagens (CROSTA, 1992).

Segundo Novo (2009) o processamento digital de imagens atualmente cumpre alguns propósitos diferentes, mas complementares: 1) melhorar a qualidade geométrica, radiométrica, dos dados brutos; 2) melhorar a aparência visual das imagens para facilitar a interpretação visual. Realçando as feições de interesse; 3) automatizar certos procedimentos de extração de informações, para permitir o rápido tratamento de grandes volumes de dados; 4) permitir a integração de dados de diferentes fontes; 5) facilitar o desenvolvimento de modelos e a geração de produtos que representem a grandeza geofísica ou biofísica para usuários cujo interesse seja apenas aplicar a informação final.

Dessa forma, pode-se afirmar que o emprego de técnicas com o intuito de melhorar a qualidade dos dados oriundos de sensores remotos é de fundamental importância para validar as informações apresentadas por esses produtos.

Algumas imagens adquiridas por sensores remotos não estão isentas de erros geométricos e radiométricos e ainda possuem efeitos causados por interferência atmosférica e dos instrumentos utilizados durante a obtenção dos dados.

Com isso a finalidade do processamento digital é melhorar o poder de discriminação dos alvos. E, está relacionado com as correções de distorções, degradações e ruídos

introduzidos na imagem durante o processo de imageamento. Este pode ser dividido em três etapas: pré-processamento, realce e classificação.

O pré-processamento refere-se ao processamento inicial dos dados brutos para calibração radiométrica da imagem, correção de distorções geométricas e remoção do ruído. Os procedimentos de realce no processamento digital de imagens são realce de contraste, filtragem, operação aritmética e, componentes principais com o objetivo de distinguir os diferentes usos definindo as melhores composições para executar uma classificação (SPRING, 2006).

A partir dessas informações complementares, inicia-se o processo de classificação da imagem. Os dois tipos de classificação de imagens mais utilizadas são a não-supervisionada e a supervisionada.

Para Moreira (2006), tanto a classificação supervisionada quanto a não-supervisionada possui regras de decisão para que o classificador associe um determinado “pixel” a uma determinada classe ou regiões de similaridade de níveis de cinza. Tais regiões são baseadas nas características espectrais do “pixel”, ou do “pixel” e seus vizinhos. Quando a regra de decisão toma, como base, as características somente do “pixel”, a classificação é dita “pixel a pixel”. Caso contrário, a classificação é dita por região.

Na classificação não-supervisionada não se tem informações sobre área imageada, o classificador não dispõe de dados prévios sobre o número de classes presentes. Estas são definidas pelo algoritmo de classificação escolhido, baseando-se em regras estatísticas pré-selecionadas que utilizam critérios de similaridade.

Segundo Novo (1998) esta classificação não requer conhecimento prévio da área em estudo por parte do analista, dessa forma não há necessidade de ida a campo para selecionar as amostras de classes.

Na classificação supervisionada as classes são criadas a partir de amostras que o usuário coleta (conhecidas como áreas de treinamento) para cada classe utilizada quando se tem algum conhecimento sobre as classes na imagem, quanto ao seu número e pontos na imagem representativos dessas classes.

Os algoritmos supervisionados mais empregados são: máxima verossimilhança (MAXVER), o método do paralelepípedo e a distância euclidiana.

De acordo com Novo (2009) dentre os aspectos fundamentais a serem avaliados pelo analista destacam-se: 1) a escolha do melhor conjunto de bandas espectrais; 2) a localização precisa de áreas de “treinamento”; 3) a determinação do relacionamento entre o tipo de objeto e o nível digital das bandas escolhidas; 4) a extrapolação desse relacionamento para toda a cena; 5) a avaliação da precisão da classificação realizada.

Após os procedimentos de classificação é comum notar a presença de ruídos na imagem. Estes são representados por pixels isolados, ou pequenos grupos de pixels assinalados a várias classes (CRÓSTA, 1992). É possível apagar ou absorver esses pixels classificados erroneamente para áreas pertencentes a outras classes, desde que, estejam abaixo de certo limite.

Não se pode negar a importância das técnicas de processamento que vão desde a agilidade na obtenção de informação até a recuperação destas diante do imenso volume de dados, por isso em determinadas circunstâncias, a extração de informação só é completa com uma análise visual das imagens baseadas em sete características das mesmas são elas: tonalidade/cor, textura, padrão, localização, forma, sombra e tamanho.

Entretanto para a interpretação visual de imagens não ser entendida como algo subjetivo e carente de critérios, são estabelecidas chaves de interpretação para a extração de informações. As chaves são construídas levando em consideração a resolução espectral, espacial e temporal das imagens utilizadas.

Muitos autores têm utilizado as técnicas de PDI para a extração de informações a partir dos dados de Sensoriamento Remoto em estudos sobre o bioma Caatinga, a desertificação e o semiárido com isso a metodologia tem ganhado destaque e proporcionando a realização de pesquisas e monitoramento mais adequados e confiáveis.

Isso comprova que a utilização de técnicas de PDI para o melhoramento e extração de informações de imagens de satélite e outros dados de sensores remotos facilitam a realização de pesquisas sobre as modificações que as atividades humanas causam ao meio ambiente como também promovem um melhor entendimento de fenômenos naturais.

Da mesma forma Freire e Pachêco, (2011) assegura que as modificações no albedo, índices de vegetação e de brilho, mudanças na forma de uso e manejo da terra, observação das condições biológicas, físicas e químicas da água, além de variações nas paisagens naturais e

radiação solar, dentre outros, são exemplos de aplicações em PDI voltadas ao estudo de áreas degradadas em estado de desertificação.

2.2.2 - O comportamento espectral da vegetação

O comportamento espectral dos alvos, bem como os parâmetros que influenciam na radiação refletida pela superfície deve ser avaliado antes da interpretação dos produtos gerados pelos sistemas de sensoriamento remoto.

As características que a vegetação assume em dada região do espectro são influenciadas por vários fatores, entre eles pode-se citar presença de água no solo e nas folhas, estrutura morfológica, espécie e saúde foliar. Esses fatores influentes não atuam isoladamente, em cada uma das regiões espectrais todos os fatores exercem sua influência simultaneamente (SILVA, 2010).

A Figura 6 demonstra como a presença de água nas partes internas de uma folha pode influenciar sua reflectância. Analisando a Figura 6, nota-se que quanto maior o teor de umidade, menos a folha reflete a (Radiação Eletromagnética) REM.

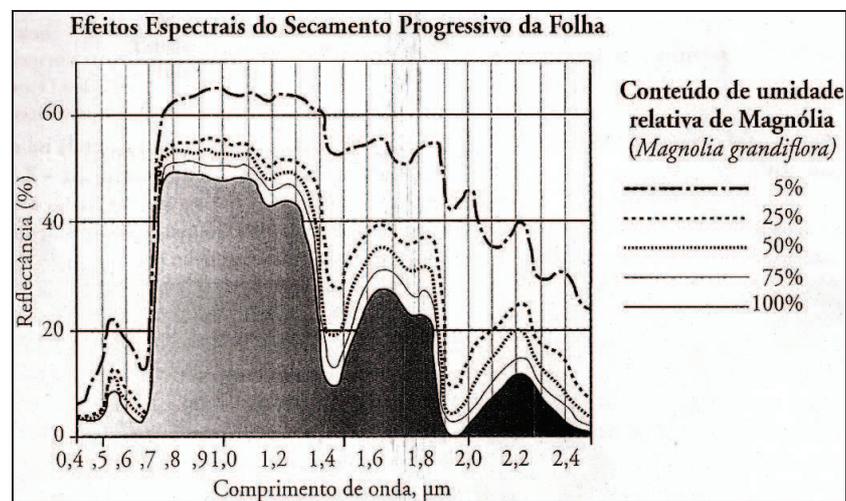


Figura 6: Resposta de reflectância de uma folha de magnólia (*Magnolia grandiflora*) à diferentes conteúdos de umidade.

Fonte: Carter, 1991 *apud* Jensen, 2009

O comportamento espectral da vegetação ocorre de forma diferente entre as folhas independentes e o dossel². Para Shimabukuro et al. (1997), o comportamento espectral das

² O dossel é composto pelo conjunto de diferentes espécies de plantas e diferentes tipos de elementos da vegetação como: folhas, galhos, frutas, flores etc. (GOEL, 1988 *apud* RODRÍGUEZ, 2006).

folhas depende da sua composição química e de sua estrutura interna. A variação da refletância da cobertura vegetal em diferentes bandas de sensores remotos depende, principalmente, da quantidade de folhas e da arquitetura do dossel e até das espécies existentes.

Esta característica de interação da (Radiação Eletromagnética) REM com o dossel é essencial para diferenciar matas nativas de plantações e para a posterior elaboração dos mapas da cobertura vegetal, uma vez que o dossel no primeiro caso (matas, florestas, parques) é formado por várias espécies vegetais, enquanto que no segundo (plantações) trata-se de algo muito mais homogêneo, o que permite uma diferenciação. A Figura 7 mostra o comportamento espectral da vegetação nas faixas do espectro eletromagnético.

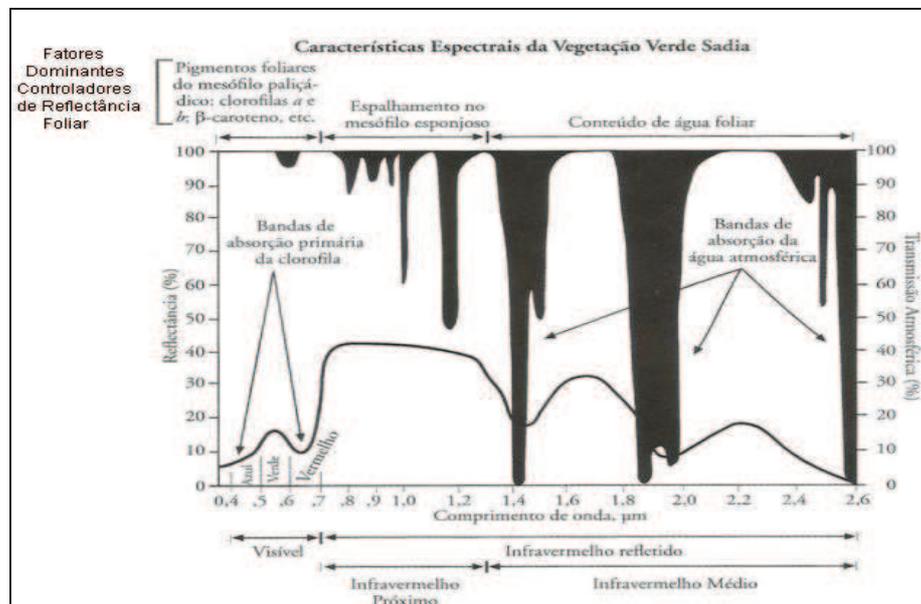


Figura 7: Reflectância espectral característica da folha vegetal verde sadia, para o intervalo de onda entre 0,4 e 2,6 μm
 Fonte: Jensen, 2009, p. 359.

Um dossel vegetal apresenta valores de refletância relativamente baixos na região do visível, devido à ação dos pigmentos fotossintetizantes (clorofilas e carotenóides) que dominam as propriedades espectrais da folha absorvendo a REM para realização da fotossíntese, conforme demonstra a Figura 7. Consequentemente as imagens referentes a esta região apresentarão tonalidade escura.

Na figura 7, nota-se um pico de reflectância em 0,5 μm , região do verde do visível devido a forte reflectância da clorofila, e valores (0,4 e 0,6 μm) nas zonas do azul e do vermelho, estes são ocasionados pela grande absorção de energia pela clorofila. As folhas

verdes saudáveis são muito eficientes na absorção de energia nos comprimentos de onda do azul (0,4 - 0,5 μm) e vermelho (0,6 - 0,7 μm), enquanto os carotenóides absorvem apenas na região do azul. Analisando ainda a Figura 7, é possível notar que na região do infravermelho próximo, a vegetação verde saudável é geralmente caracterizada por uma alta refletância (40 - 60%).

A alta refletância entre 0,7 e 1,2 μm deve-se ao fato do espalhamento interno sofrido pela REM em função da disposição da estrutura morfológica da folha que varia de acordo com a espécie da planta, aliada ao espalhamento múltiplo entre as diferentes camadas de folhas. Isso possibilita a diferenciação entre espécies, e o diagnóstico da saúde da planta. As imagens referentes a essa região deverão apresentar tonalidade claras (PONZONI, 2001).

Observando-se a Figura 7, no infravermelho médio tem-se uma queda dos valores de refletância, devido a presença de água no interior da folha. São as chamadas bandas de absorção devido a grande umidade existente. Os pontos de grande absorção estão entre 1,4 - 1,9 μm .

Já as folhas de uma planta sob estresse fará com que a mesma tenha uma refletância bem maior, principalmente no verde e no vermelho do espectro. A refletância no infravermelho é um indicador de estresse somente quando ocorre severa desidratação foliar. O aumento da refletância no visível é a mais consistente resposta refletância foliar ao estresse (JENSEN, 2009).

2.2.3 - Índices de vegetação empregados nos estudos de degradação

De acordo com Jensen, (2009) grande parte do esforço dos cientistas tem envolvido o uso de índices de vegetação – que são medidas radiométricas adimensionais, as quais indicam a abundância relativa e a atividade da vegetação verde, incluindo índice de área foliar (IAF), porcentagem de cobertura verde, teor de clorofila, biomassa verde, e radiação fotossinteticamente ativa absorvida .

No estudo da degradação ambiental os índices de vegetação derivados de imagens satélites são utilizados como indicadores de áreas desertificadas ou em processo de desertificação nos ecossistemas potencialmente fragilizados que sofrem com a pressão das atividades humanas. A deterioração dessas áreas se dá pela redução da cobertura de plantas

perenes, que em conjunto com a degradação dos solos em áreas com menor cobertura vegetal provocam o aumento do albedo³.

KAZMIERCZAK (2001), ao estudar suscetibilidade de Desertificação no Nordeste Brasileiro, afirma que se verifica uma grande falta de informações sobre a Caatinga: a extensão e o pouco conhecimento existente bastariam para determinar este bioma como um dos mais promissores campos de aplicação das tecnologias de sensoriamento remoto, para prover informações sobre os seus recursos.

Existem vários índices de vegetação, largamente empregados em estudos sobre a vegetação em todo o mundo. Alguns desses índices são equivalentes em conteúdo e informação.

O Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) em português índice de vegetação por diferença normalizada (IDVN) é amplamente utilizado desde que foi desenvolvido por Rouse et al. (1974):

$$NDVI = \frac{NIR - VIS}{NIR + VIS} \quad (1)$$

Onde: NIR = reflectância da faixa de infravermelho próximo (0,725 a 1,10 μm);

VIS = reflectância da faixa do visível (0,4 a 0,7 μm).

Segundo Holben (1986) apud Liu (2007) o NDVI encobre parcialmente os efeitos da presença dos constituintes atmosféricos e das perturbações radiométricas e geométricas.

Para o cálculo do NDVI são utilizadas as duas bandas espectrais que correspondem às faixas de NIR e VIS de cada sensor a bordo de diferentes satélites. No caso dos sensores TM e ETM⁺ a bordo dos satélites Landsat é utilizada a seguinte equação.

$$NDVI = \frac{TM4 - TM3}{TM4 + TM3} \quad (2)$$

³ O albedo da superfície corresponde à razão entre as radiações de ondas curtas refletidas e incidentes. O albedo varia em função do comprimento de onda conforme a reflectância do local e é também dependente das condições de iluminação (Lopes e Valeriano, 2007).

Onde: TM3 = banda 3 do sensor TM ou ETM⁺ (0,63 a 0,69 μm);

TM4 = banda 4 do sensor TM ou ETM⁺ (0,76 a 0,90 μm).

Liu (2007) afirma que o valor do NDVI varia de -1 a +1. Os valores negativos representam as nuvens e ao redor de zero representam o solo nu ou exposto (sem vegetação). O valor de NDVI maior revela a vegetação, o mais alto indica o grau de verde da superfície mais alto que pode ser usado para inferir na vegetação mais densa ou vegetação em pleno vigor do crescimento.

O valor máximo de reflectância no NIR alcançado é de 0,55 e o VIS mínimo de 0,5. O grau de verde alcança o valor máximo em uma superfície de vegetação em pleno vigor de crescimento vegetativo.

De acordo com Jensen (2009) as vantagens do NDVI vão desde o monitoramento das mudanças sazonais e interanuais no desenvolvimento e na atividade da vegetação até a redução proporcionada pela razão de muitas das formas de ruído multiplicativos (diferença de iluminação solar, sombras de nuvens, algumas atenuações atmosféricas, algumas variações topográficas) que estão presentes em muitas bandas de imagens de múltiplas datas.

Já as desvantagens podem ser causadas por o NDVI ser um índice baseado em razão, é não linear e, portanto, pode ser influenciado por efeitos ruidosos aditivos como a radiância da trajetória atmosférica. Em estudos desenvolvidos no Bioma Caatinga vários autores têm utilizado o NDVI para análise da variação fisionômicas da vegetação, identificação das modificações no bioma, e como parte integrante de variáveis a serem analisadas no estudo do processo de desertificação pode-se citar (AGUIAR et. al, 2010); BEZERRA et. al, (2011); (SÁ; et.al., 2008); (FREIRE et. al., 2008).

Além das aplicações já mencionadas, várias são as potencialidades do NDVI no monitoramento das condições da vegetação e das variabilidades bioclimáticas na superfície terrestre, essas ainda são apresentadas por (LIU, 2007); (JESSEN, 2010); (NOVO, 2009).

3.0 METODOLOGIA

3.1 - Caracterização da área de estudo

O município de Parari (Figura 8) está localizado na região central do Estado da Paraíba, Mesorregião Borborema e Microrregião Cariri Ocidental. Segundo dados do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2012) o município possui 1.256 habitantes, ocupando uma área de 128Km². O município de Parari encontra-se inserido nos domínios da bacia hidrográfica do Rio Paraíba, sub-bacia do Rio Taperoá. De acordo com Varejão-Silva et. al (1984) na classificação climática de Köppen o município de Parari está inserido no clima do tipo BS wh'. A média da precipitação anual (mm/ano) no período de 1960 a 2010 é entre 625,8-663,8mm (ALMEIDA, 2012).



Figura 8: Localização do município de Parari
Fonte: Glauciene Justino. Dados: AESA-PB

3.2 – Materiais

A análise multitemporal da vegetação necessita de um software de SIG. Para o estudo um dos softwares escolhidos foi o SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas) na versão 5.2.

O SPRING é um software de SIG (Sistema de Informações Geográficas) no estado-da-arte com funções de processamento de imagens, análise espacial, modelagem numérica de terreno e consulta a bancos de dados espaciais (CÂMARA, et. al., 1996).

Com o SPRING foram realizados todos os procedimentos de georeferenciamento, pré-processamento, processamento e pós-processamento das imagens de satélites e medida de classes.

No estudo ainda foi utilizado o software ArcGIS 9.1. Este software consiste em um grupo de programas formando um Sistema de informação geográfica. É produzido pela empresa ESRI, e oferece apoio de ferramentas de edição e análise espacial, facilitando a tomada de decisão por parte dos usuários.

No ArcGis foram gerados os mapas para análise da dinâmica das áreas de vegetação. Além das operações de cruzamento dos PI's temáticos, delimitação da área de estudo edição final dos mapas de ocupação do solo.

Foram utilizadas imagens de satélite disponibilizadas gratuitamente pelo INPE em seu *website*. Foram escolhidas as imagens do satélite LANDSAT-5 sensor TM em 08/03/1988; 20/09/ 1995; 18/06/1999 e 29/06/1990, órbita/ponto 215/065. Ainda foram utilizados os dados do Modelo Digital de Elevação de 90 metros de resolução espacial. Os dados são disponibilizados pela EMBRAPA em seu website e são originários da missão de mapeamento do relevo terrestre SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), desenvolvido pela NASA (National Aeronautics and Space Administration) e outras agências americanas.

3.2.1 - Procedimentos metodológicos

Os procedimentos desenvolvidos no estudo foram divididos em três etapas:

- 1) Pré-processamento, processamento e pós-processamento das imagens;
- 2) Elaboração de mapas temáticos através das imagens de satélite para diagnosticar a vegetação existente na época em que as imagens foram obtidas;
- 3) A última etapa refere-se as análises comparativas dos mapas temáticos gerados;

Para o melhor entendimento das etapas metodológicas foi criado um fluxograma (Figura 9).

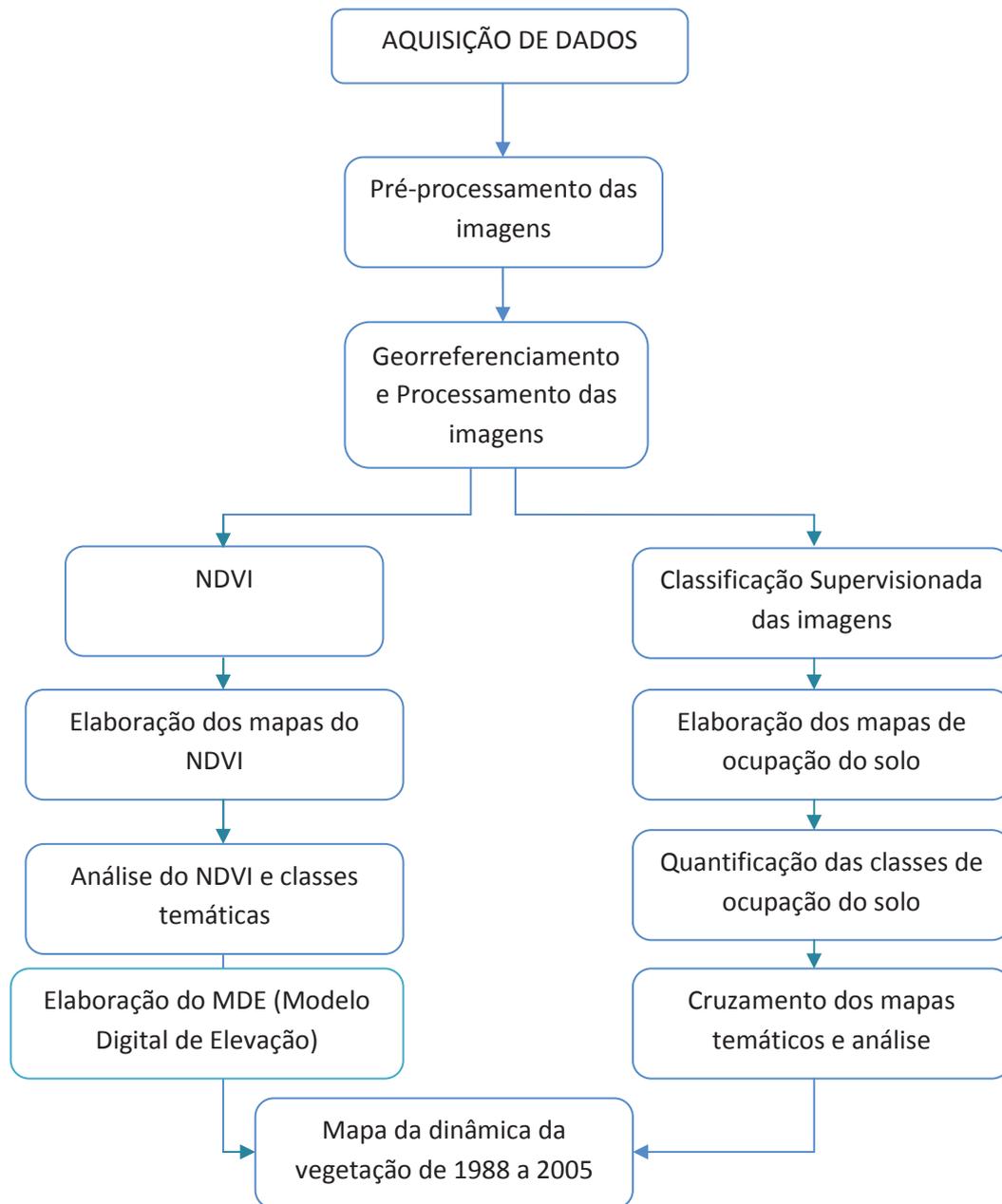


Figura 9: Fluxograma das etapas metodológicas desenvolvidas no estudo.

3.3 Pré-processamento e processamento das imagens

As imagens foram importadas para o aplicativo Impima, onde foi realizado um recorte da cena original para delimitar o retângulo envolvente desejado, facilitando assim o processamento das imagens.

Esse procedimento foi realizado para as bandas 3, 4, 5 das imagens do satélite Landsat5-TM. Posteriormente as imagens foram convertidas do formato TIFF para SPRG possibilitando assim a exportação para o SPRING.

Para o registro da imagem no SPRING, as coordenadas dos pontos de controle foram fornecidas através do modo Teclado, usando como referência pontos de controle que possuam aspectos possíveis de serem identificados nas imagens de diferentes anos. Esses pontos de controle foram selecionados nos cruzamentos de estradas, no interior da área e em pontos próximos a mesma para possibilitar uma maior precisão no registro. Sendo assim, foram escolhidos 11 pontos (Figura 10), que atenderam perfeitamente as exigências do projeto, com precisão de aproximadamente 0,051 pixel para as imagens de satélite.

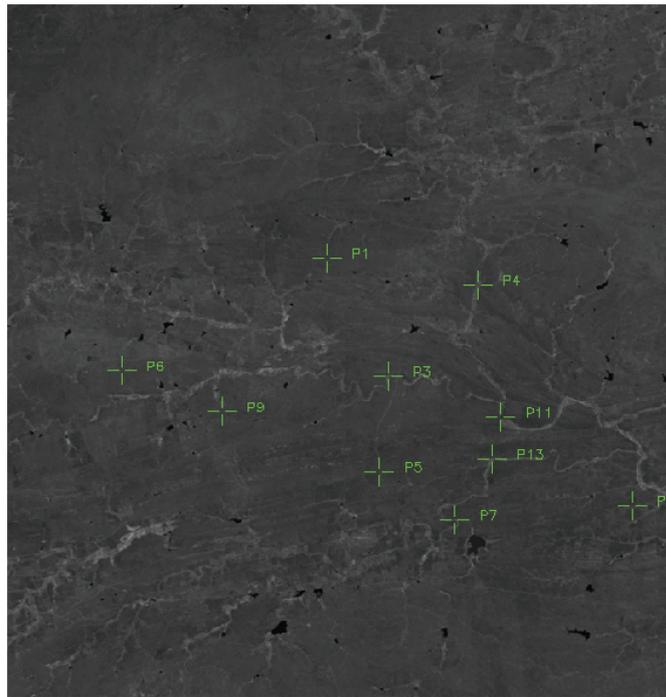


Figura 10: Distribuição dos pontos de controle para o registro da banda 4 do sensor TM da imagem obtida com o Landsat-5 em 29/07/2005.

Após a finalização do georrerenciamento as imagens foram inseridas em categorias do tipo imagem no SPRING possibilitando os processamentos necessários que antecedem a elaboração dos mapas temáticos.

Após as imagens serem pré-processadas, foram preparadas para a classificação as bandas que costumam ser indicadas para o estudo da vegetação, solo e água levando em consideração o comportamento espectral e o contraste apresentado por esses alvos nas mesmas, fato que facilita a diferenciação entre as classes. Para iniciar a classificação o procedimento realizado foi a geração de composições coloridas com as bandas escolhidas (5,4,3 –RGB) do Landsat5 –TM para os anos em estudo.

Posteriormente foi executada a operação de alteração do contraste através da ferramenta Equalizar Histograma do SPRING, para realçar as diferenças entre os alvos em cada banda, facilitando assim a separação dos mesmos durante os procedimentos de classificação. Essas bandas foram unidas formando imagens sintéticas para serem classificadas (Figura 11)

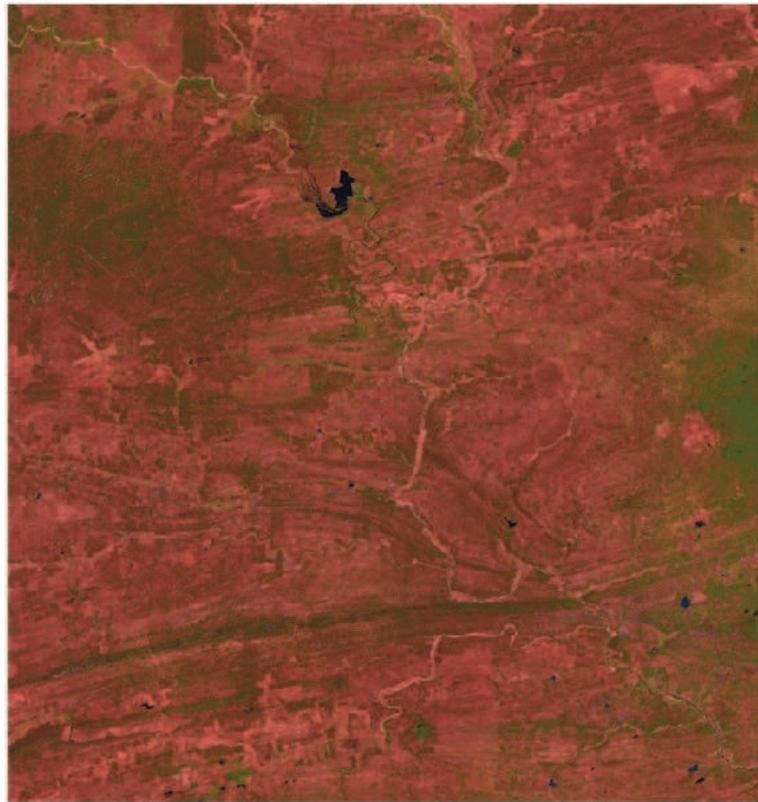


Figura 11: Imagem sintética das bandas 3,4 e 5 (RGB) do sensor TM.

3.4 - Determinação do NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index* - NDVI)

Na determinação do NDVI foi utilizada a operação algébrica dos níveis de cinza dos canais vermelho (banda 3) e do infravermelho próximo (banda 4) para obter mapas do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index* - NDVI) em cada ano estudado.

No ArcGIS o cálculo do índice de vegetação por diferença normalizada foi realizado por meio da ferramenta Map Algebra da extensão Spatial Analyst Tools (Figura 12) no menu raster calculator a obtenção do índice foi definido pela razão entre as bandas 4 e 3 do sensor TM, correspondentes respectivamente pelo fluxo radiante refletido no infravermelho próximo e fluxo radiante refletido no vermelho, definido pela equação 2:

$$\text{NDVI} = (\text{Banda 4} - \text{Banda 3}) / (\text{Banda 4} + \text{Banda 3}) \quad (2)$$

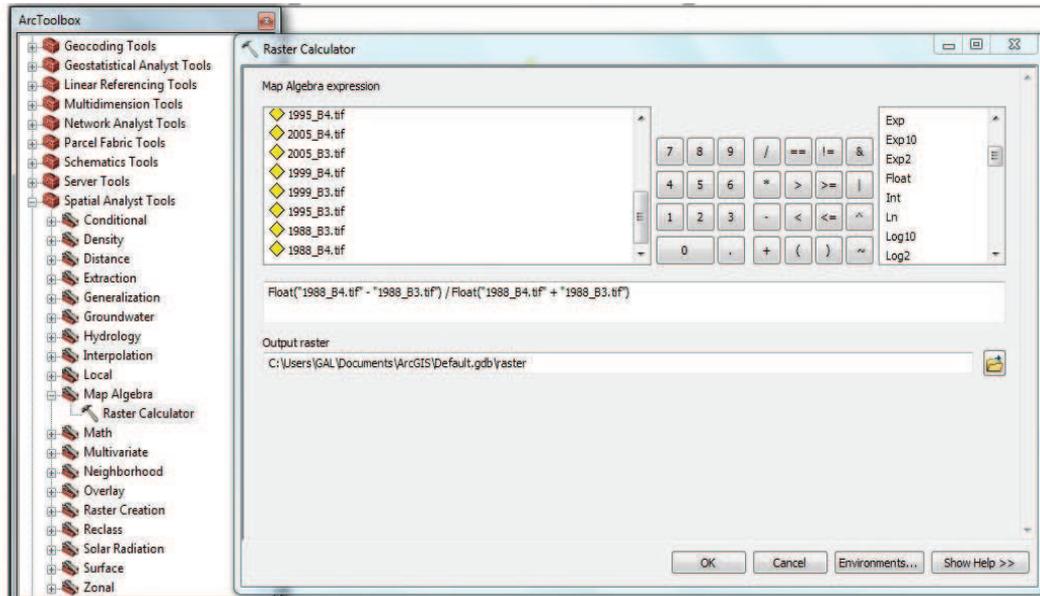


Figura 12: Obtenção do NDVI no software ArcGIS.

Com esta ferramenta foi possível obter a imagem NDVI (Figura 13) resultante da operação algébrica dos níveis de cinza.



Figura 13: Imagem NDVI para o ano de 1988, resultante da operação algébrica dos níveis de cinza.

Posteriormente foi utilizada a ferramenta de extração Mask para recortar o plano de informação com intuito de realizar o mapeamento temático somente no limite do município

estudado. A partir deste procedimento foram elaborados para os anos estudados mapas temáticos de NDVI com as classes solo exposto, vegetação densa, vegetação rala e água, estas foram estabelecidas levando em consideração a resolução espacial das imagens utilizadas.

Para este mapeamento foi necessário associar os valores de NDVI obtidos com as classes temáticas propostas nas propriedades da imagem NDVI (Figura 14)

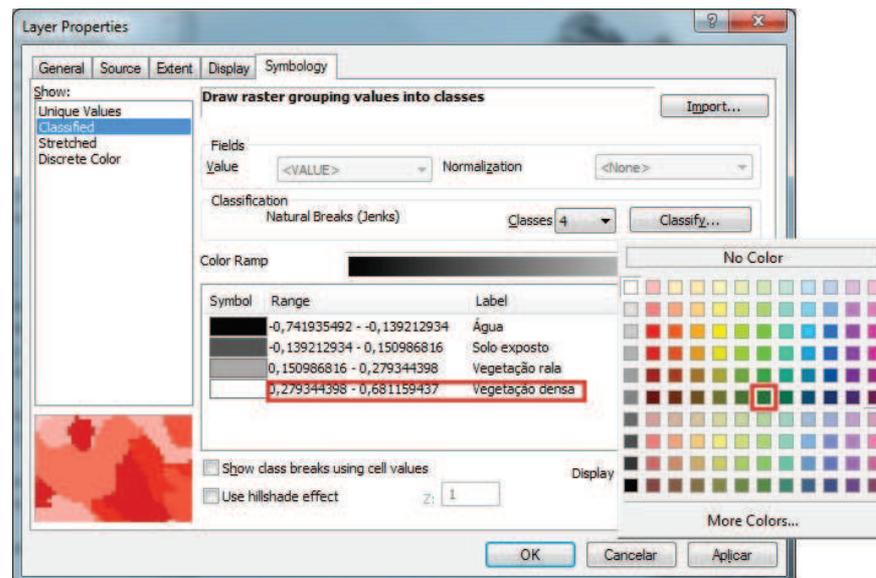


Figura 14: Associação dos valores de NDVI as classes temáticas e cores propostas.

Para os alvos com maiores valores de NDVI foram associadas às classes vegetação rala e vegetação densa, os alvos com valores negativos e próximos a zero foram associadas às classes solo exposto e água. As classes foram agregadas a uma determinada cor, que melhor representasse o estado da cobertura vegetal, solo e água e que permitissem uma melhor extração de informações (Figura 15).

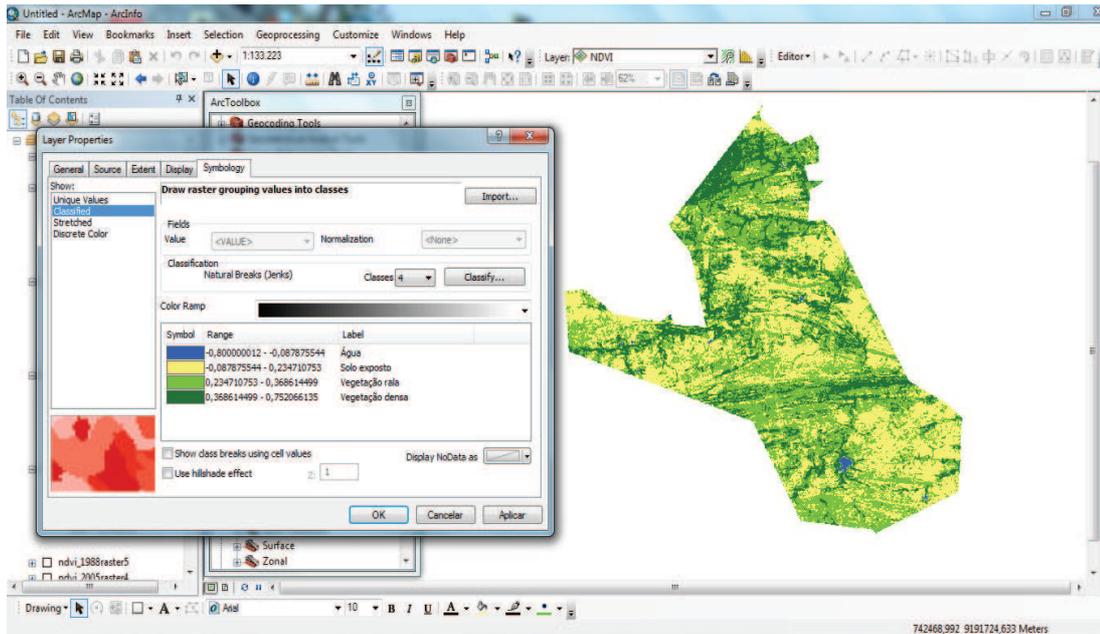


Figura 15: Resultado da associação entre as classes e valores de NDVI.

Com as ferramentas presentes nas propriedades do layer foi possível gerar histogramas para melhor representar a distribuição dos valores das classes presentes no NDVI temático como da imagem NDVI em valores de reflectância.

3.5 - Classificação das imagens

No software Spring foi realizada a classificação, a pixel, das imagens escolhidas para o estudo, às mesmas anteriormente utilizadas para a geração do NDVI, nas seguintes classes: solo exposto, vegetação densa, vegetação rala e água para as bandas 3, 4 e 5 do Landsat 5/TM. Após essa etapa de definição das classes, realizou-se, a coleta das amostras de pixels nas imagens (Figura 16), com a finalidade de caracterizar cada uma das classes criadas.

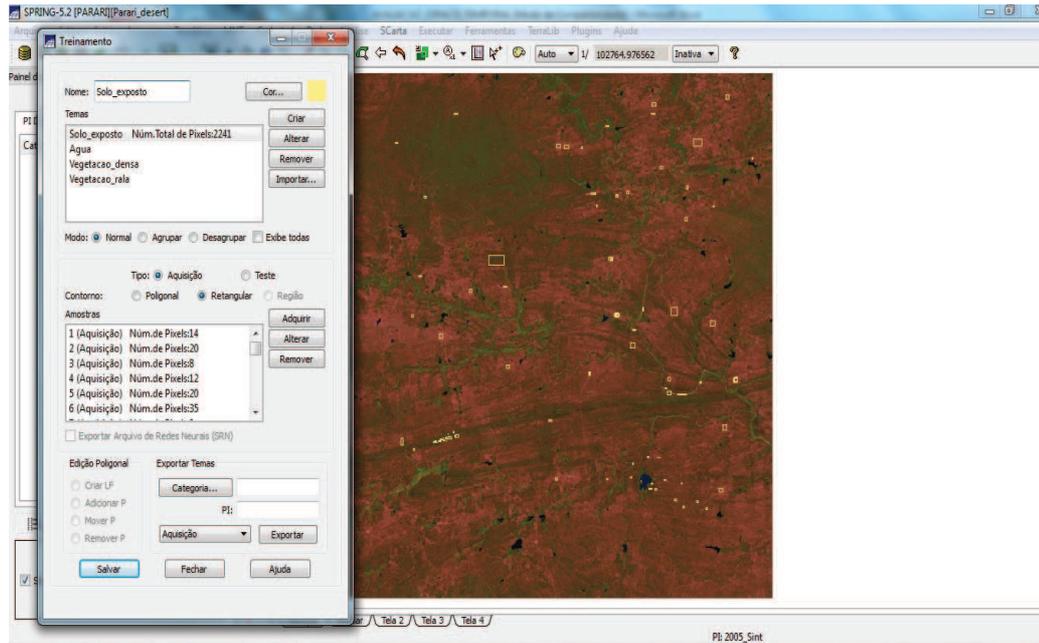


Figura 16: Coleta das amostras de treinamento para a posterior classificação da imagem.

Com a coleta das amostras de treinamento para o posterior mapeamento das classes em cada imagem sintética, foi realizada a classificação das imagens.

O método de classificação realizado foi o supervisionado, o classificador utilizado foi o MAXVER (máxima verossimilhança), e posteriormente foi realizada a análise das amostras de treinamento escolhidas, para as imagens do sensor TM. Para eliminar possíveis erros da classificação foi executado o processo de pós-classificação da imagem, disponível no SPRING, através da janela de Pós-Classificação, os parâmetros necessários para realização do procedimento foram o peso como 2 e o limiar como 3. Com isto é possível suavizar e eliminar possíveis erros da classificação (Figura 17) demonstra o efeito da técnica na imagem classificada Landsat-5/TM de 29/07/2005.

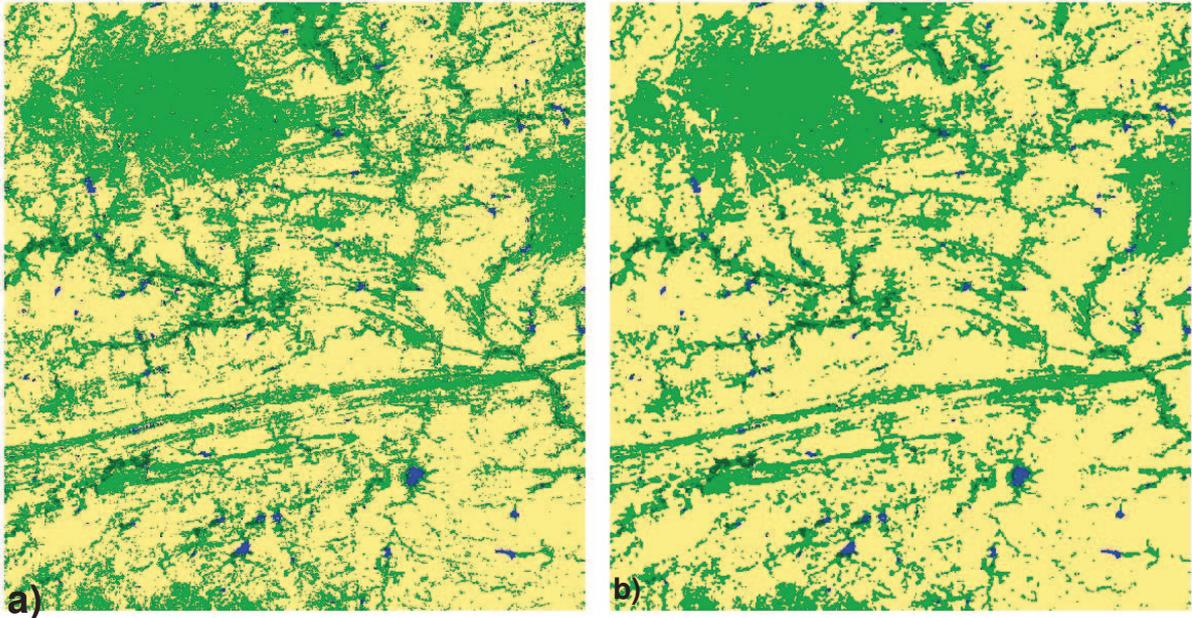


Figura 17: a) Imagem Landsat-5/TM de 29/07/2005 classificada; b) A imagem após aplicação da técnica de pós-classificação

3.6 Quantificação das áreas de vegetação no período 1988-2005.

Para o cálculo das áreas das classes existentes foi utilizada a ferramenta Medida de Classes do SPRING. Com isso foi possível verificar o quanto as áreas das classes foram alteradas ao longo do período em estudo, pois esta ferramenta possibilita a quantificação de áreas das classes existentes em uma categoria temática, composta por dados matriciais ou vetoriais.

Para isto, foi necessário mapear as classes existentes na imagem pós-classificada, após este procedimento foi gerado pelo software uma nova imagem classificada em uma categoria do tipo temática (Figura 18), com intuito de possibilitar a quantificação das classes.

Assim, operação medida de classes foi realizada, e gerou-se um relatório contendo as informações relativas às áreas de cada classe nos mapas temáticos para cada ano estudado. A quantificação das classes foi necessária para elaboração de gráficos com a distribuição das mesmas.

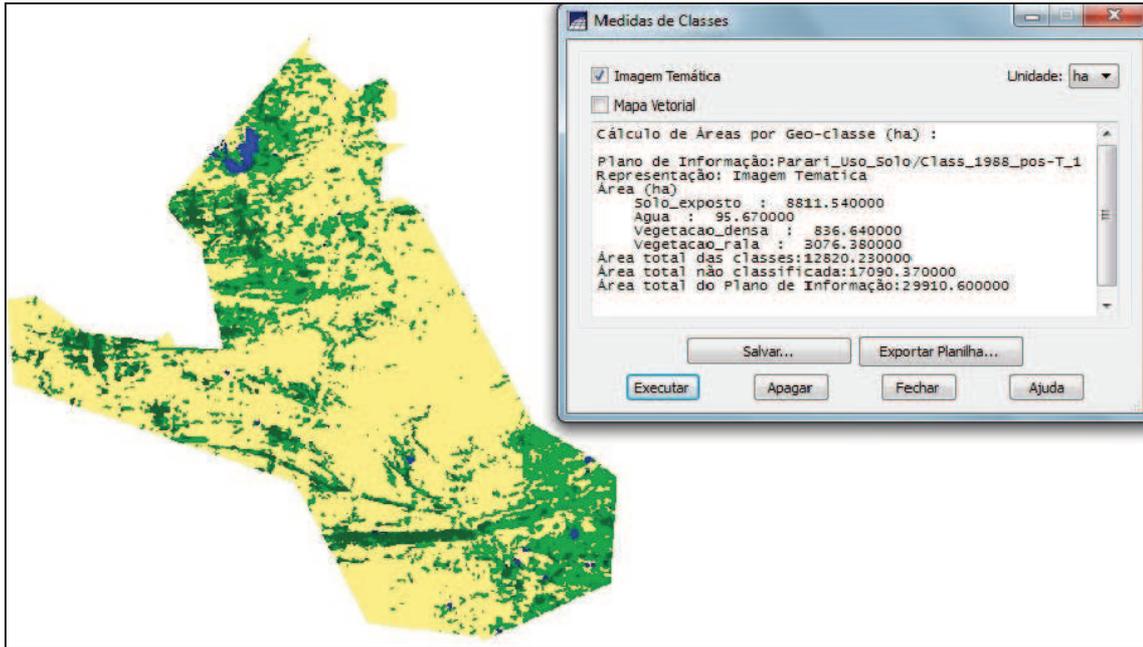


Figura 18: Resultado da operação medida de classes no SPRING, que possibilita a quantificação das classes temáticas existentes em cada imagem.

3.7 - Cruzamento dos mapas temáticos

Após a quantificação das classes temáticas para cada ano estudado, os mapas temáticos de ocupação do solo foram convertidos do formato raster para vetor através da opção **MATRIZ > VETOR** do menu **Imagem** no SPRING. Com os mapas já convertidos foi realizada a exportação dos mesmos como arquivos *shapefile*, formato de entrada de dados do software ArcGIS 9.1.

Neste software, optou-se por realizar tal procedimento, pois o próprio possibilita uma espacialização dos resultados de cruzamento entre planos de informação sem necessitar de uma linguagem de programação específica, otimizando assim a extração de informações.

Além de oferecer ferramentas de análise em que é possível verificar as mudanças em uma determinada área através da espacialização.

Com os mapas já exportados para o ArcGIS 9.1, foi escolhida a ferramenta de análise espacial *Identity*. Comando que permite o cruzamento de duas camadas vetoriais, agregando todos os atributos alfanuméricos das geometrias de origem (camada de entrada e sobreposição). A Figura 19 exemplifica o processo de cruzamento através da análise espacial *Identity*.

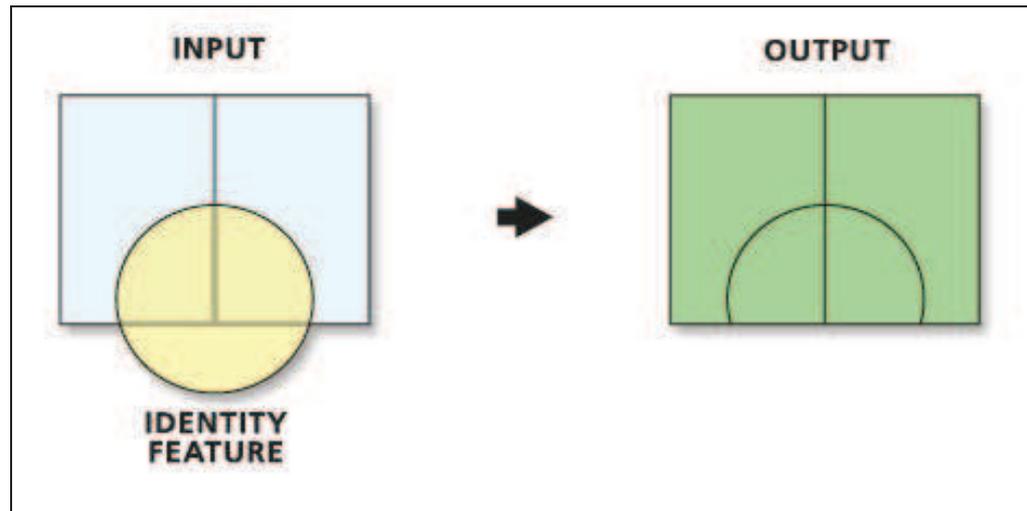


Figura 19: Representação da análise espacial Identity do ArcGIS 9.1
 Fonte: ArcGIS Desktop Help

Desta forma, o comando permite cruzar duas camadas vetoriais mantendo as informações de ambas no arquivo resultante da operação. No caso do estudo em questão, foram cruzadas informações das áreas de vegetação existentes em 1988 com o mapa temático exportado do ano de 1995, gerando a camada vegetação 1988 x cobertura do solo 1995, novo arquivo *shape*, que herda em sua tabela de atributos as informações dos *shapes* de origem.

Para a análise das áreas de vegetação existentes em cada mapa temático quanto à preservação e a supressão da cobertura vegetal no período em estudo foi realizado o cruzamento dos arquivos *shapefile* através da ferramenta identity (Figura 20).

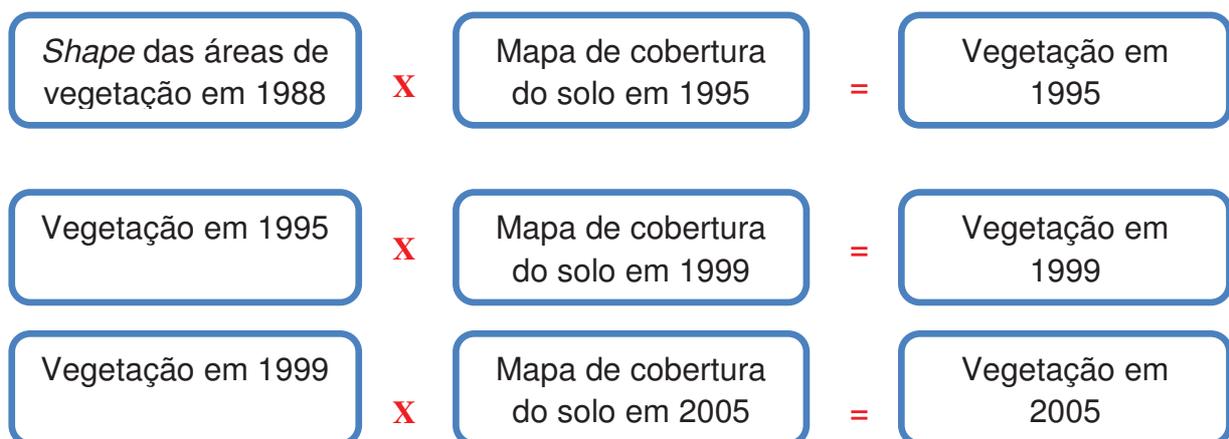


Figura 20: Metodologia utilizada para o cruzamento dos arquivos *shape*.

O resultado do cruzamento entre os PI's *veg_densa_1988.shp* X *Classes_1995_pos_T.shp* (mapa de uso do solo em 1995) pode ser visto na Figura 21, onde os polígonos representados em azul correspondem ao resultado desse cruzamento.

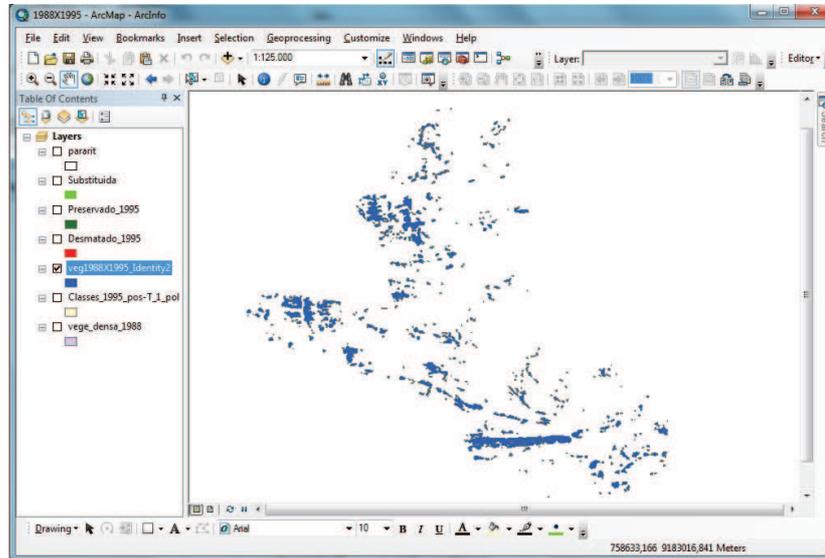


Figura 21: Resultado do cruzamento entre os planos de informação correspondentes as áreas de matas em 1988 e o mapa de cobertura do solo em 1995.

Conforme já mencionado este arquivo resultante herda em sua tabela de atributos as informações dos shapex de origem, ou seja, as áreas das classes de cada PI estarão na tabela (Figura 22).

1988										1995	
FID	Shape	FID vege	d	SPRAREA	SPRPERIMET	SPRCLASSE	FID Classe	SPRAREA 1	SPRPERIM 1	SPRCLASS 1	
12	Polygon	0		162	50,9117	Vegetacao_densa	111	4831658,7012	17471,8263	Solo_exposto	
13	Polygon	1		864	115,8823	Vegetacao_densa	117	40761,0625	1440,034	Vegetacao_rala	
14	Polygon	2		864,0039	115,8823	Vegetacao_densa	111	4831658,7012	17471,8263	Solo_exposto	
15	Polygon	2		864,0039	115,8823	Vegetacao_densa	124	21136,4844	756,4075	Vegetacao_densa	
16	Polygon	3		3546,0078	257,5886	Vegetacao_densa	111	4831658,7012	17471,8263	Solo_exposto	
17	Polygon	3		3546,0078	257,5886	Vegetacao_densa	124	21136,4844	756,4075	Vegetacao_densa	
18	Polygon	4		162	50,9117	Vegetacao_densa	159	109725115,3789	111833,7981	Solo_exposto	
19	Polygon	5		161,998	50,9117	Vegetacao_densa	159	109725115,3789	111833,7981	Solo_exposto	
20	Polygon	6		162	50,9117	Vegetacao_densa	159	109725115,3789	111833,7981	Solo_exposto	
21	Polygon	7		162	50,9117	Vegetacao_densa	159	109725115,3789	111833,7981	Solo_exposto	
22	Polygon	8		162	50,9117	Vegetacao_densa	159	109725115,3789	111833,7981	Solo_exposto	
23	Polygon	9		863,9961	115,8823	Vegetacao_densa	159	109725115,3789	111833,7981	Solo_exposto	
24	Polygon	10		162	50,9117	Vegetacao_densa	159	109725115,3789	111833,7981	Solo_exposto	
25	Polygon	11		162,002	50,9117	Vegetacao_densa	159	109725115,3789	111833,7981	Solo_exposto	
26	Polygon	12		162	50,9117	Vegetacao_densa	159	109725115,3789	111833,7981	Solo_exposto	
27	Polygon	13		2646	202,6199	Vegetacao_densa	159	109725115,3789	111833,7981	Solo_exposto	
28	Polygon	14		162,002	50,9117	Vegetacao_densa	159	109725115,3789	111833,7981	Solo_exposto	
29	Polygon	15		9609,9922	393,7816	Vegetacao_densa	159	109725115,3789	111833,7981	Solo_exposto	
30	Polygon	16		863,9961	115,8823	Vegetacao_densa	159	109725115,3789	111833,7981	Solo_exposto	
31	Polygon	17		1746	159,3532	Vegetacao_densa	159	109725115,3789	111833,7981	Solo_exposto	
32	Polygon	18		18827,9922	654,8792	Vegetacao_densa	159	109725115,3789	111833,7981	Solo_exposto	
33	Polygon	18		18827,9922	654,8792	Vegetacao_densa	404	44189,9375	1337,6949	Vegetacao_densa	
34	Polygon	19		162	50,9117	Vegetacao_densa	159	109725115,3789	111833,7981	Solo_exposto	
35	Polygon	20		1746	159,3532	Vegetacao_densa	159	109725115,3789	111833,7981	Solo_exposto	
36	Polygon	21		161,998	50,9117	Vegetacao_densa	159	109725115,3789	111833,7981	Solo_exposto	
37	Polygon	22		162	50,9117	Vegetacao_densa	159	109725115,3789	111833,7981	Solo_exposto	
38	Polygon	23		162	50,9117	Vegetacao_densa	159	109725115,3789	111833,7981	Solo_exposto	
39	Polygon	24		863,9961	115,8823	Vegetacao_densa	159	109725115,3789	111833,7981	Solo_exposto	
40	Polygon	24		863,9961	115,8823	Vegetacao_densa	579	675566,7344	7385,3019	Vegetacao_rala	
41	Polygon	25		1745,9961	159,3532	Vegetacao_densa	593	1225893,7461	12052,9104	Vegetacao_rala	
42	Polygon	26		4446,0078	312,5574	Vegetacao_densa	159	109725115,3789	111833,7981	Solo_exposto	
43	Polygon	26		4446,0078	312,5574	Vegetacao_densa	1047	2495	180,8528	Vegetacao_densa	
44	Polygon	27		863,9961	115,8823	Vegetacao_densa	159	109725115,3789	111833,7981	Solo_exposto	
45	Polygon	28		2465,9961	180,8528	Vegetacao_densa	159	109725115,3789	111833,7981	Solo_exposto	
46	Polygon	29		3545,9961	245,0483	Vegetacao_densa	593	1225893,7461	12052,9104	Vegetacao_rala	
47	Polygon	30		162	50,9117	Vegetacao_densa	159	109725115,3789	111833,7981	Solo_exposto	
48	Polygon	31		1746	159,3532	Vegetacao_densa	159	109725115,3789	111833,7981	Solo_exposto	

Figura 22: Tabela de atributos do *shape* resultante do cruzamento entre os PI's, com destaque para os campos referentes as informações dos *shapex* de origem.

A partir deste resultado criou-se um novo campo na tabela de atributos do *shape* resultante do cruzamento, esse campo foi denominado SIT (Figura 23). Desta forma, as áreas de vegetação que se mantiveram em 1995 foram classificadas como PRESERVADO através da ferramenta *Field calculator*, enquanto as áreas de matas que foram substituídas por solo exposto foram classificadas como SEM COBERTURA VEGETAL no novo campo.

FID	Shape	FID_veg_0	SPRAREA	SPRPERIMET	SPRCLASSE	FID_Classe	SPRAREA_1	SPRPERIM_1	SPRCLASSE_1	SIT1995
562	Polygon	375	20537.9922	630.6058	Vegetacao_densa	798	702	107.6647	Vegetacao_densa	preservado
564	Polygon	376	9263.4922	458.8861	Vegetacao_densa	758	396927.127	8734.2093	Vegetacao_densa	preservado
565	Polygon	386	8934.5	346.8134	Vegetacao_densa	809	65173.625	1748.1642	Vegetacao_densa	preservado
568	Polygon	387	8307	346.9617	Vegetacao_densa	817	3123.0078	226.7075	Vegetacao_densa	preservado
572	Polygon	389	2214.0039	192.2284	Vegetacao_densa	809	65173.625	1748.1642	Vegetacao_densa	preservado
586	Polygon	411	8937	387.9923	Vegetacao_densa	168	613	90.5941	Vegetacao_densa	preservado
605	Polygon	416	27656.9844	734.7016	Vegetacao_densa	239	1147.5039	138.9393	Vegetacao_densa	preservado
609	Polygon	420	1746.0039	159.3532	Vegetacao_densa	323	2137.5039	185.7907	Vegetacao_densa	preservado
631	Polygon	440	32226.9844	841.0255	Vegetacao_densa	404	44189.6375	1237.6949	Vegetacao_densa	preservado
643	Polygon	455	5168.0078	287.2686	Vegetacao_densa	594	3123	213.0129	Vegetacao_densa	preservado
678	Polygon	479	2646.0039	202.8159	Vegetacao_densa	792	1322.9661	153.0129	Vegetacao_densa	preservado
12	Polygon	0	162	50.9117	Vegetacao_densa	111	4831658.7012	17471.8263	Solo_exposto	Sem cobertura
14	Polygon	2	864.0039	115.8823	Vegetacao_densa	111	4831658.7012	17471.8263	Solo_exposto	Sem cobertura
16	Polygon	3	3546.0078	257.5886	Vegetacao_densa	111	4831658.7012	17471.8263	Solo_exposto	Sem cobertura
18	Polygon	4	162	50.9117	Vegetacao_densa	159	109725115.3789	111833.7981	Solo_exposto	Sem cobertura
19	Polygon	5	161.998	50.9117	Vegetacao_densa	159	109725115.3789	111833.7981	Solo_exposto	Sem cobertura
20	Polygon	6	162	50.9117	Vegetacao_densa	159	109725115.3789	111833.7981	Solo_exposto	Sem cobertura
21	Polygon	7	162	50.9117	Vegetacao_densa	159	109725115.3789	111833.7981	Solo_exposto	Sem cobertura
22	Polygon	8	162	50.9117	Vegetacao_densa	159	109725115.3789	111833.7981	Solo_exposto	Sem cobertura
23	Polygon	9	863.9981	115.8823	Vegetacao_densa	159	109725115.3789	111833.7981	Solo_exposto	Sem cobertura
24	Polygon	10	162	50.9117	Vegetacao_densa	159	109725115.3789	111833.7981	Solo_exposto	Sem cobertura
25	Polygon	11	162.002	50.9117	Vegetacao_densa	159	109725115.3789	111833.7981	Solo_exposto	Sem cobertura
26	Polygon	12	162	50.9117	Vegetacao_densa	159	109725115.3789	111833.7981	Solo_exposto	Sem cobertura
27	Polygon	13	2646	202.8159	Vegetacao_densa	159	109725115.3789	111833.7981	Solo_exposto	Sem cobertura
28	Polygon	14	162.002	50.9117	Vegetacao_densa	159	109725115.3789	111833.7981	Solo_exposto	Sem cobertura
29	Polygon	15	9869.9922	383.7816	Vegetacao_densa	159	109725115.3789	111833.7981	Solo_exposto	Sem cobertura
30	Polygon	16	863.9981	115.8823	Vegetacao_densa	159	109725115.3789	111833.7981	Solo_exposto	Sem cobertura
31	Polygon	17	1746	159.3532	Vegetacao_densa	159	109725115.3789	111833.7981	Solo_exposto	Sem cobertura
32	Polygon	18	18827.9922	654.9782	Vegetacao_densa	159	109725115.3789	111833.7981	Solo_exposto	Sem cobertura
34	Polygon	19	162	50.9117	Vegetacao_densa	159	109725115.3789	111833.7981	Solo_exposto	Sem cobertura
35	Polygon	20	1746	159.3532	Vegetacao_densa	159	109725115.3789	111833.7981	Solo_exposto	Sem cobertura
36	Polygon	21	161.998	50.9117	Vegetacao_densa	159	109725115.3789	111833.7981	Solo_exposto	Sem cobertura
37	Polygon	22	162	50.9117	Vegetacao_densa	159	109725115.3789	111833.7981	Solo_exposto	Sem cobertura
38	Polygon	23	162	50.9117	Vegetacao_densa	159	109725115.3789	111833.7981	Solo_exposto	Sem cobertura
39	Polygon	24	863.9981	115.8823	Vegetacao_densa	159	109725115.3789	111833.7981	Solo_exposto	Sem cobertura
42	Polygon	26	4446.0078	312.5574	Vegetacao_densa	159	109725115.3789	111833.7981	Solo_exposto	Sem cobertura
44	Polygon	27	863.9981	115.8823	Vegetacao_densa	159	109725115.3789	111833.7981	Solo_exposto	Sem cobertura

Figura 23: Classificação da situação das áreas de vegetação na tabela de atributos do *shape* resultante.

Após esse procedimento realizou-se a seleção por atributo das áreas de mata preservadas para a criação do arquivo *shape* mata 1995, a partir da seleção corrente, representando as áreas de mata preservadas no período de 1988 a 1995. Da mesma forma foi criado o arquivo *shape* Sem cobertura caracterizando as áreas de mata não preservadas no mesmo período de tempo.

A metodologia foi repetida para os demais anos selecionados para a realização do estudo. Com os *shapes* criados seguiu-se com a elaboração dos mapas temáticos.

Ainda no ArcGIS foi elaborado o Modelo Digital de Elevação (MDE), com intuito de analisar as classes de elevação presentes no município e colaborar com a avaliação das áreas de cobertura vegetal, para a classificação da elevação em Parari foi utilizado o método natural breaks e 9 classes hipsométricas.

Para apoiar as análises dos mapas de cobertura da terra e do NDVI foram elaborados gráficos com a precipitação acumulada nos anos estudados. No ano de 1988 foram utilizados os dados do acúmulo de chuvas no posto do município de São João do Cariri-PB;

disponibilizados no site do laboratório de hidrologia da UFCG; para o ano de 1995 foram utilizados os dados disponibilizados no município de Sumé posto Fazenda Nova; com os dados disponibilizados pela AESA-PB do ano de 1999 o posto do município de São José dos Cordeiros município vizinho a Parari; e para o ano de 2005 também foram utilizados dados disponibilizados pela AESA-PB do posto no município de Parari.

4.0 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos com o desenvolvimento do trabalho foram gerados, a partir das imagens obtidas com o sensor TM do satélite Landsat-5, com o intuito de gerar dados para quantificação e espacialização das áreas de vegetação e demais classes de cobertura do solo no município de Parari-PB. Para tal foram, elaborados mapas, gráficos e tabelas que demonstram a dinâmica da vegetação e degradação no período que compreende o estudo.

4.1 - Mapa da cobertura do solo em 1988

O mapa foi criado com base na imagem, classificada de acordo com o comportamento dos alvos, do satélite Landsat-5/TM obtida em 08 de março de 1988. Com este mapa (Figura 25) foi possível identificar as áreas de vegetação densa e rala, como as classes solo exposto e água. Pode-se notar que as áreas mais elevadas (Figura 24) no município são as que concentram boa parte da cobertura vegetal densa.

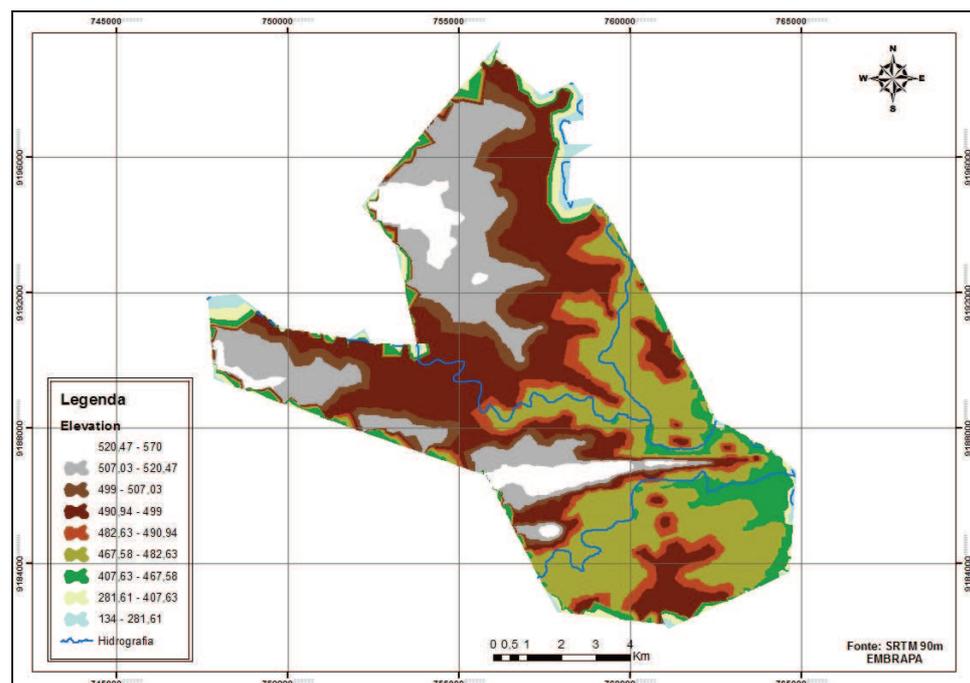


Figura 24: Hipsometria no município de Parari.

Nota-se a distribuição das áreas de vegetação rala em todo o município, porém as maiores concentrações encontram-se a norte e ao sul. As áreas de vegetação densa são representadas por pequenos polígonos distribuídos por toda a área, mas é evidente que essas estão bastante fragmentadas.

Grande parte da cobertura existente no município é caracterizada por solo exposto (Figura 25,) exceto nas proximidades dos grandes corpos d'água presentes na época em que a imagem foi obtida.

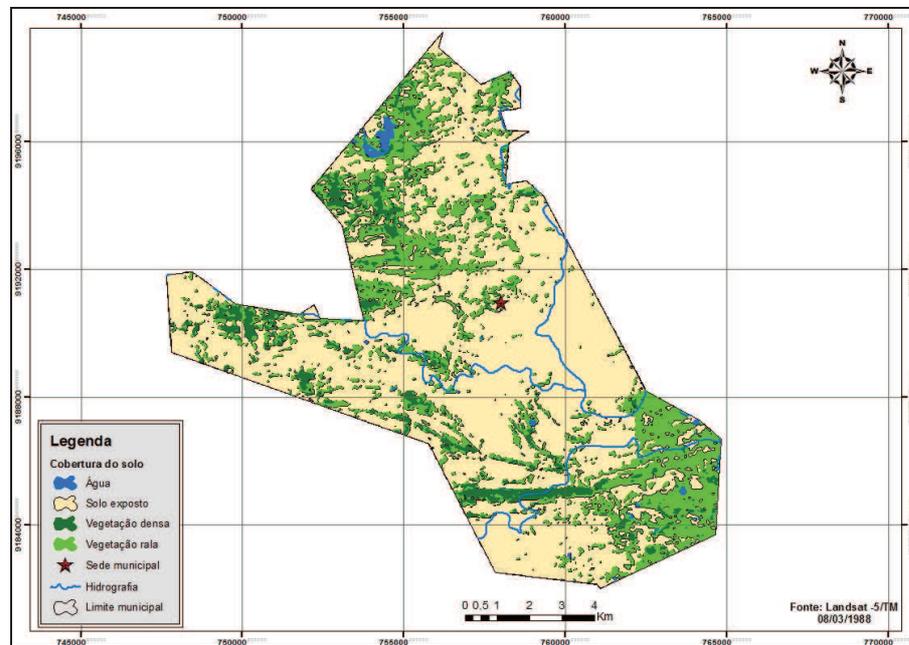


Figura 25: Mapa da cobertura do solo em 1988.

No período em que a imagem foi obtida a precipitação na região de Parari (Figura 26) tornou o solo úmido o que favorece o desenvolvimento da vegetação rala em algumas áreas do município.

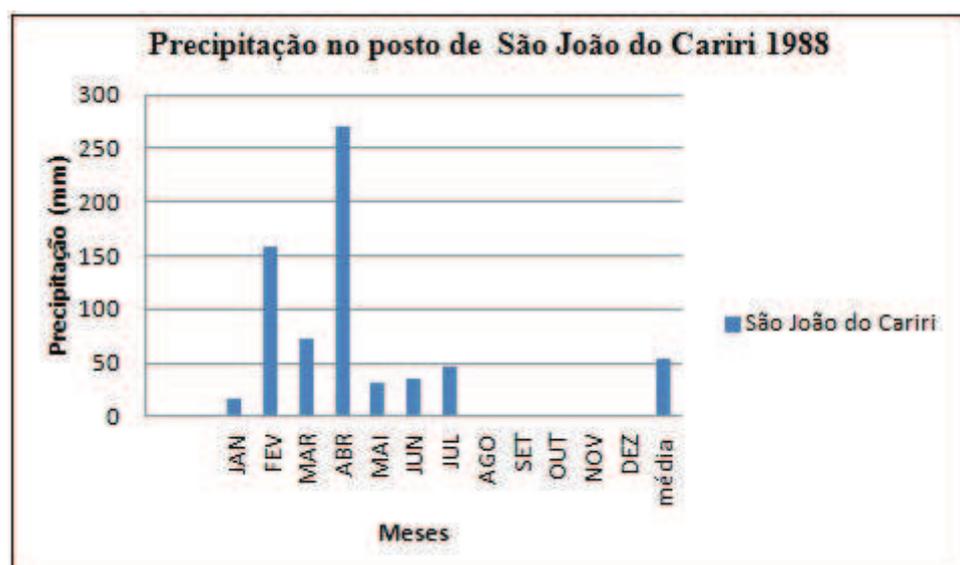


Figura 26: Acúmulo de chuvas no posto de São João do Cariri em 1988.

O fato da maior parte das terras do município não possuir cobertura vegetação densa ou rala, torna o solo mais propício aos efeitos das chuvas periódicas intensas e irregulares.

Com a operação de medida de classes do SPRING foi possível quantificar a área das classes para o referido ano, e calcular o percentual das mesmas em relação à área de estudo. A tabela 2 mostra a quantificação das classes.

Tabela 2: Quantificação das áreas de classes temáticas em 1988.

Classe	Área em (ha)	Percentual em relação à área de estudo(%)
Solo exposto	8.811,54	68,73
Água	95,67	0,75
Vegetação densa	836,64	6,53
Vegetação rala	3.076,38	24,00
Total	12.820,23	100,00

Com a operação notou-se que as áreas de vegetação densa e rala correspondiam respectivamente a 836,64 ha e 3.076,38 ha, juntas as classes equivalem a 30,53% da área em estudo. Enquanto, a classe solo exposto possuía 8.811,54 ha, ou seja, 68,73% da área estudada. Fica evidente que grande parte do município está sem cobertura vegetação, o que pode ser explicado por vários fatores naturais, além da ação das atividades humanas. Sendo o mês de março em que as imagens foram obtidas, tradicionalmente é o mês indicado para preparo do solo ao plantio de muitas culturas, um dos motivos de tais valores para a classe solo exposto.

4.1.2 - Mapa de cobertura do solo em 1995

Este mapa (Figura 27) foi criado com base na imagem Landsat-5/TM de 20 de setembro de 1995. É possível verificar as mudanças significativas em relação à distribuição das áreas de vegetação, os maiores fragmentos de vegetação densa que podiam ser verificados em 1988 foram reduzidos, com isto é possível afirmar que grandes alterações foram realizadas na área do município e estas não podem ser atribuídas somente às condições climáticas e à pluviosidade na região (Figura 28).

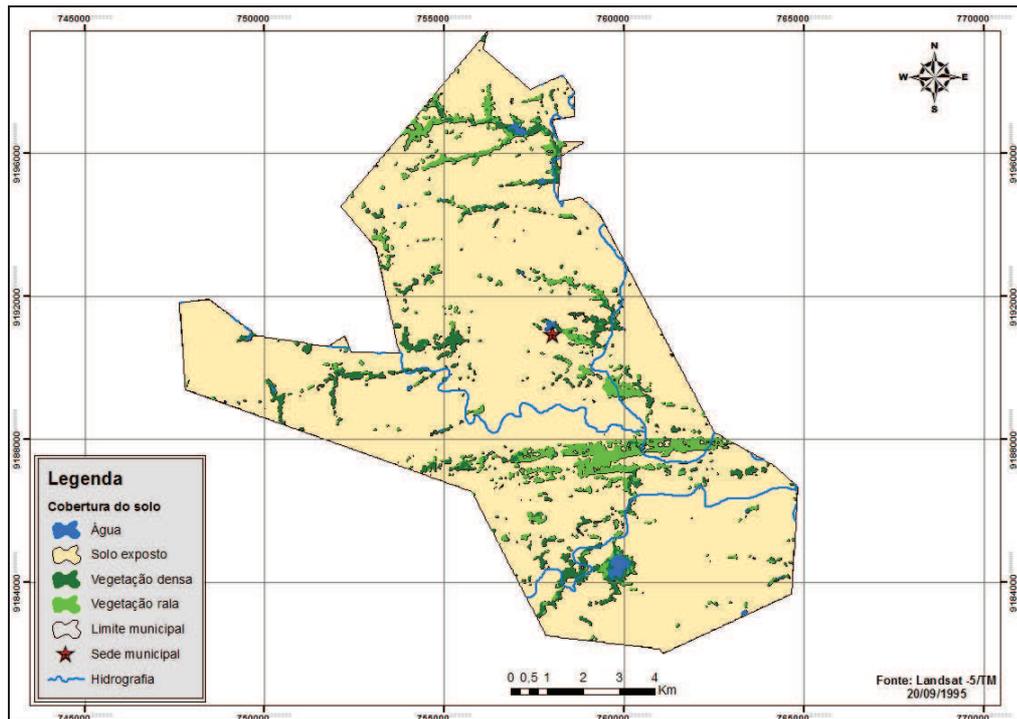


Figura 27: Mapa da cobertura do solo em 1995.

Modificações nos maiores fragmentos são de grande importância, pois facilitam o diagnóstico das alterações ocorridas entre 1988 e 1995. A manutenção destas áreas significa maior equilíbrio ambiental na região, pois proporcionam um ambiente adequado para a conservação da biodiversidade local.

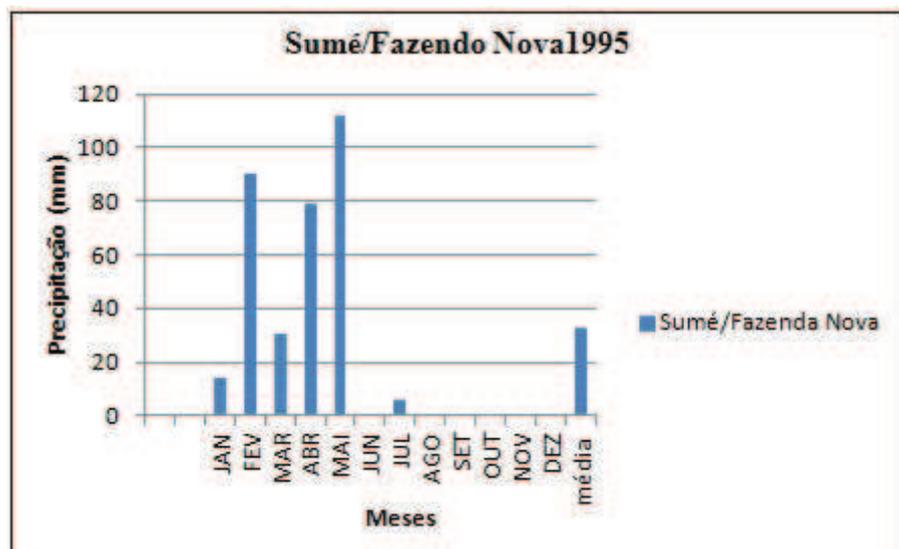


Figura 28: Acúmulo de chuvas no município de Sumé posto Fazenda Nova em 1995.

A substituição das áreas vegetadas pela classe solo exposto pode ser quantificada (Tabela 3).

Tabela 3: Quantificação das áreas de classes temáticas em 1995.

Classe	Área em (ha)	Percentual em relação à área de estudo(%)
Solo exposto	11.478,78	89,54
Água	56,34	0,44
Vegetação densa	549,18	4,28
Vegetação rala	735,93	5,74
Total	12.820,23	100,00

A redução nas classes vegetação densa e rala foi significativa se comparadas ao ano de 1988. A maior redução ocorreu com a classe vegetação rala que ocupava em 1988 uma área de 3.076,38 ha e em 1995 a área ocupada por esta classe era de 735,93 ha, isto representa uma redução de 2.340,45 ha em um período de sete anos.

A área ocupada pela classe vegetação densa também foi reduzida, ocupando 4,28% da área. É preciso considerar que por se tratar de um bioma em que a maioria das espécies de plantas possui folhas que caem no período de estiagem, esse valor pode ser afetado por este fato. Por isso, em alguns pontos, ocorreu confusão na resposta espectral do solo com a vegetação, aumentando os valores para a classe solo.

O mês em que a imagem de 1995 foi obtida é considerado como um mês seco em que a pluviosidade atingiu índices considerados baixos (Figura 28), secando os rios perenes e abaixando o volume dos reservatórios, isso pode explicar a diminuição na classe água, e também da áreas de vegetação rala e densa, mesmo nas áreas mais elevadas do município.

Conseqüentemente a classe solo exposto aumentou 2.667,4 ha, ocupando áreas anteriormente pertencentes às classes vegetação rala e densa. O aumento desta classe pode está relacionado não somente as atividades humanas no município como também ao período em que a imagem foi obtida.

As áreas de vegetação ainda presentes pode ser explicado pela irrigação, e as margens de rios devido ao tipo de solo nestes locais, que por serem úmidos ainda favorecem a

manutenção da vegetação de mata ciliar formada até por algumas espécies de médio e grande porte (Figuras 29a e 29b).



Figura 29: a) Vegetação de grande porte as margens do leito seco de rio em Parari. b) Algaroba (*Prosopis juliflora*) na estrada para Parari em janeiro de 2010.
Fonte: Nadjacleia Vilar

4.1.3 - Mapa da cobertura do solo em 1999

O mapa (Figura 30) caracteriza as classes de cobertura do solo obtido a partir da imagem Landsat-5/TM de 08 de abril de 1999. Com isto foi possível caracterizar cada classe temática e a dinâmica das alterações no município.

Nota-se as áreas de vegetação rala distribuídas por toda área em estudo, ocupando áreas que em 1995 eram de solo exposto. A classe vegetação densa também aumentou, este fato pode ser explicado pelo início da estação chuvosa (Figura 31) em que a imagem foi obtida, onde a vegetação de caatinga recupera seu vigor vegetativo, e restaura a funcionalidade da fotossíntese⁴.

Mesmo com o aumento das áreas de vegetação densa e rala em relação ao ano de 1995, a classe solo exposto continuou a apresentar a maior área em hectares, isso ainda é preocupante devido a grande parte dessa classe caracterizar áreas degradadas em que o solo se encontra bastante desgastado e com pouca capacidade de regeneração. A vegetação presente em solos com tal nível de antropização se resume vegetação rala, ainda há presença de poucas espécies que resistem as condições adversas destas áreas.

⁴ Conforme exemplifica o geógrafo Aziz Ab'Saber no capítulo denominado Caatingas: O domínio dos Sertões Secos no livro Domínios de Natureza no Brasil – Potencialidades paisagísticas [...] E, de repente, quando chegam as primeiras chuvas, árvores e arbustos de folhas miúdas e múltiplos espinhos protetores entremeados por cactáceas empoeiradas, tudo reverdece.

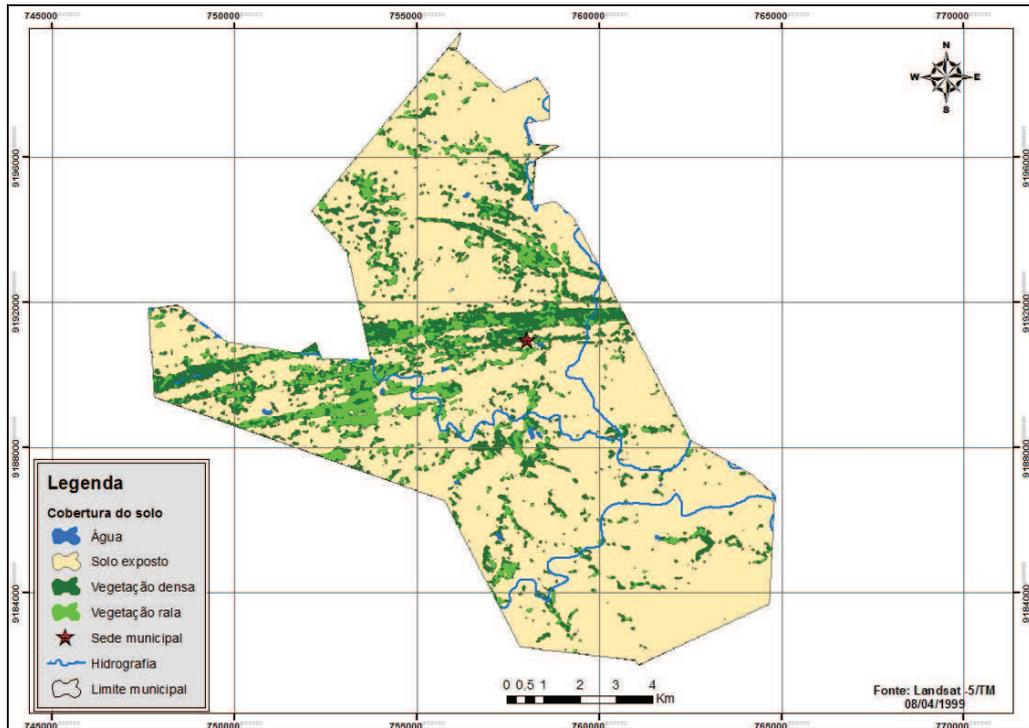


Figura 30: Mapa da cobertura do solo em 1999

A figura 31 mostra o acúmulo de chuvas ocorrido no ano de 1999 na região de Parari, o que favorece a análise do comportamento espectral dos alvos na imagem de 08/04/1999. Com a figura nota-se que apesar de no mês de abril o acúmulo de chuvas ter sido considerado baixo os meses anteriores mostraram um acúmulo de chuva significativa para alterar o estado da vegetação no município.

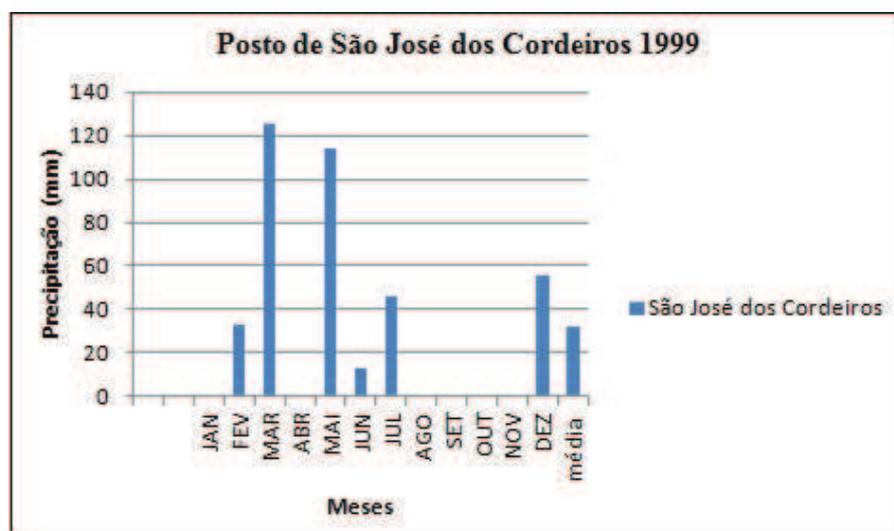


Figura 31: Acúmulo de chuvas no posto de São José dos Cordeiros em 1999.

As classes de cobertura do solo presentes em 1999 podem ser verificadas na Tabela 4, que mostra a variação quantitativa das classes do período estudado.

Tabela 4: Quantificação das classes de cobertura do solo em 1999.

Classe	Área em (ha)	Percentual em relação à área de estudo (%)
Solo exposto	10.331,91	80,59
Água	28,08	0,22
Vegetação densa	1.508,76	11,77
Vegetação rala	951,48	7,42
Total	12.820,23	100,00

De acordo com a Tabela 4 a classe solo exposto continuou ocupando uma área considerável de 80,59%, ou seja, a maior parte do território. As classes vegetação densa e rala apresentaram neste ano um aumento de 7,49%. O valor apresentado pela classe água ocupando 28,08 ha pode ser explicado devido ao início das chuvas, que não foram capazes de reabastecer totalmente os reservatórios e recuperar o volume de água dos rios da região.

4.1.4 - Mapa de cobertura do solo em 2005

Para o mapa de cobertura do solo (Figura 32) a imagem utilizada foi a Landsat-5/TM de 29 de julho de 2005. A data em que a imagem foi obtida se caracteriza como final do período chuvoso, em que o volume de chuvas diminuí.

O mapa permite a identificação das classes e distribuição das mesmas no limite municipal, a classe vegetação rala se apresenta bem distribuída em toda a área fato que pode ser associado à umidade ainda presente nos solos devido às chuvas (Figura 33).

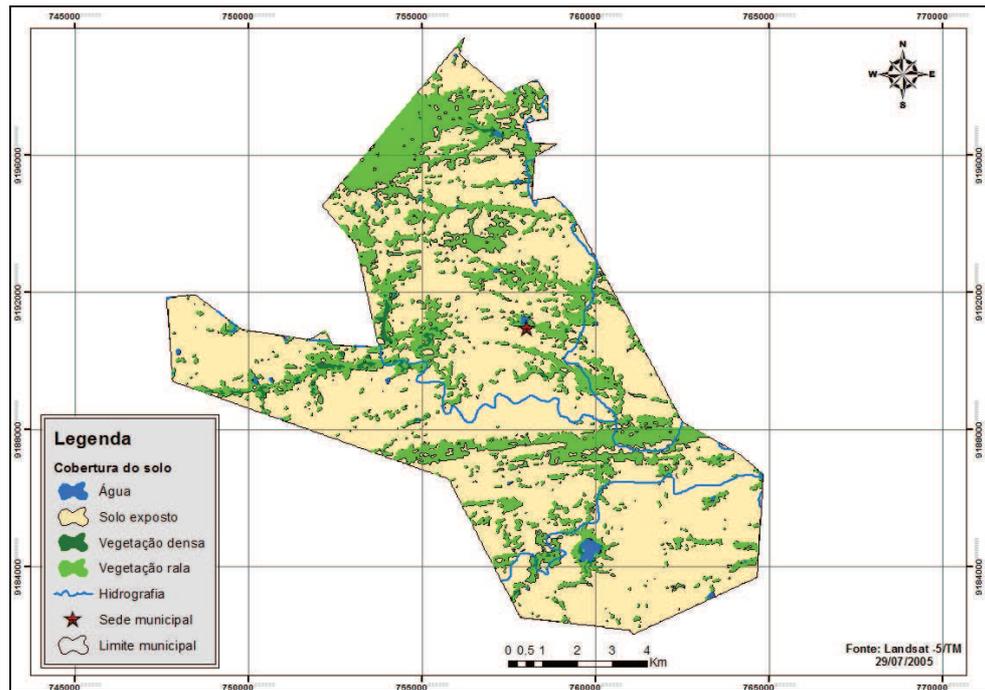


Figura 32: Mapa da cobertura do solo em 2005.

A classe vegetação densa está espacialmente fragmentada. O estado em que se encontrava a vegetação densa em 2005 é indicio de que as grandes áreas remanescentes de caatinga no município foram quase que devastadas no período de 1988 a 2005. E que muitos dos fragmentos encontrados ficaram mais susceptíveis a ação humana dando lugar a classe solo exposto.

Com os meses de chuva anteriores a obtenção da imagem, os reservatórios e corpos d'água se abasteceram o que explica o aumento da classe água em relação aos anos anteriores.

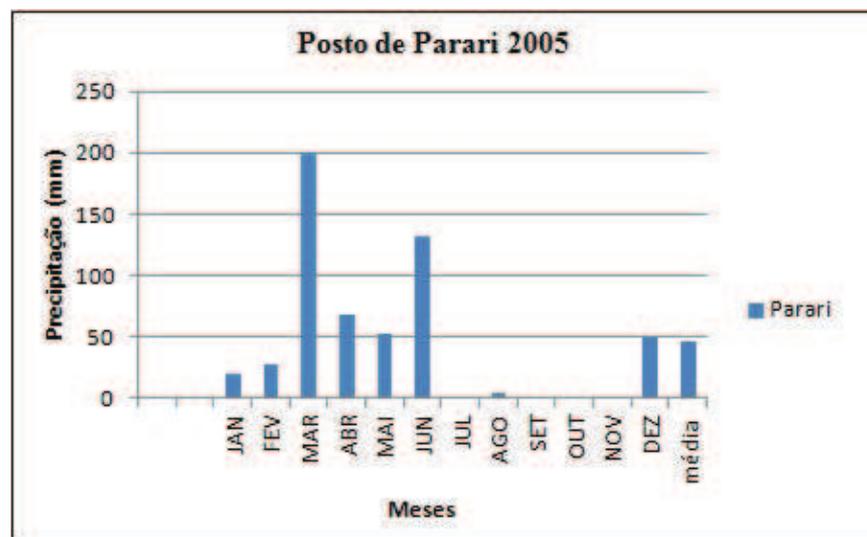


Figura 33: Acúmulo de chuvas no posto de Parari em 2005.

Quantitativamente (Tabela 5) a classe solo exposto diminuiu se comparada aos anos anteriores, mesmo assim ainda é a maior classe em hectares.

Tabela 5: Quantificação das classes de cobertura do solo em 2005.

Classe	Área em (ha)	Percentual em relação à área de estudo (%)
Solo exposto	9.476,10	73,92
Água	63,00	0,49
Vegetação densa	144,18	1,12
Vegetação rala	3.136,95	24,47
Total	12.820,23	100,00

No caso de 2005 o mapa apresenta a classe vegetação rala ocupando áreas que anteriormente estavam sem cobertura vegetal, a classe neste ano ocupava 24,47% da área em estudo. A que apresentou a menor porcentagem de ocupação foi à classe vegetação densa com 1,12%.

Em relação aos anos anteriores pode-se afirmar que a distribuição e quantificação das classes estiveram diretamente relacionadas ao período em que as imagens foram obtidas, porém mesmo com esse fato foi possível identificar a dinâmica das classes e variabilidade com que a cobertura vegetal rala e densa se comportou. O aumento da classe solo exposto na classificação das imagens de datas em início de período de chuvas ou no fim deste, só confirma a degradação das áreas de vegetação que são responsáveis pela conservação dos solos, dos recursos hídricos e da manutenção do equilíbrio ambiental na região.

Para representar o comportamento das classes foram elaborados ainda dois gráficos, que caracterizam a quantificação da cobertura do solo nos anos estudados, as classes estão diretamente associadas às modificações na área em estudo (Figura 34).

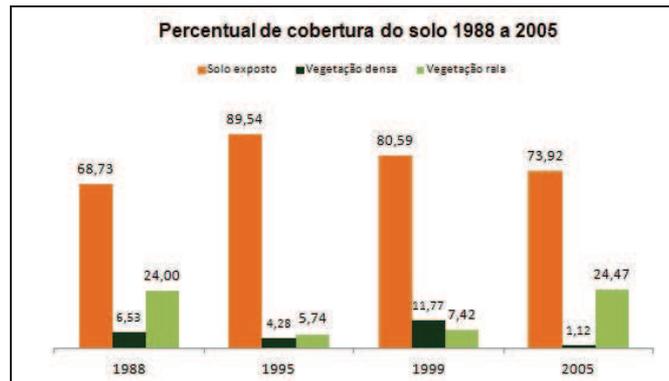


Figura 34: Gráfico do percentual das áreas de cobertura do solo.

Com o gráfico foi verificado a variação das classes no período, sendo que o aumento ou diminuição de uma determinada classe simboliza uma alteração na cobertura do solo da área estudada, esta dinâmica pode ser notada no gráfico das áreas de classes em hectares (Figura 35).

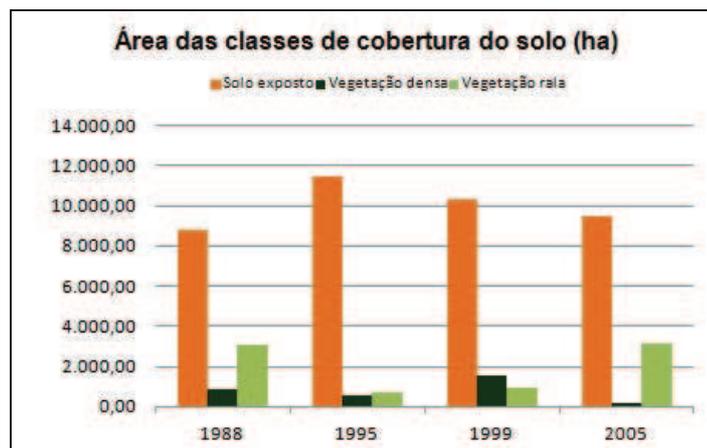


Figura 35: Gráfico das áreas de cobertura solo em hecatres.

4.2 - Análise do NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index - NDVI*)

Devido ao período em que as imagens foram obtidas e a interferência que a umidade ocasionada pela quantidade de chuvas acarreta na resposta espectral dos alvos, optou-se por realizar a análise comparativa dos mapas de NDVI e valores obtidos para o índice, entre as imagens do mesmo período que devido à precipitação são considerados como chuvosos ou secos.

Desta forma, serão comparados os mapas temáticos das imagens obtidas em 08/03/1988 e 08/04/1999, considerados como período chuvoso. E as imagens obtidas em 20/09/1995 e 29/07/2005 datas consideradas como do período seco, serão comparadas conjuntamente.

Com a obtenção do NDVI foram elaborados mapas em níveis de cinza que caracterizam a resposta espectral da vegetação e sua variação em uma determinada imagem. Como NDVI varia de -1 a + 1, os valores próximos a -1 representam os menores índices de vegetação, enquanto os valores que se aproximam de +1 consequentemente representam os maiores índices.

4.2.1- NDVI e NDVI temático para o município em 1988 e 1999

A (Figura 36) caracteriza os alvos na área de estudo no ano de 1988 de acordo com a reflectância dos mesmos. Neste caso o NDVI varia de -0,742 a 0,681.

Os alvos com valores negativos representam as áreas mais escuras, ou seja, sem vegetação. São identificados como solo desnudo, afloramentos rochosos, áreas com grande quantidade de areia quartzosa e, água que pela capacidade de absorver mais energia aparece como o alvo mais escuro. Como o período em que a imagem foi obtida foi considerado como o início do período chuvoso (Figura 26), em algumas áreas o solo se apresentou em uma tonalidade mais escura, o que pode ser explicado pela umidade presente.

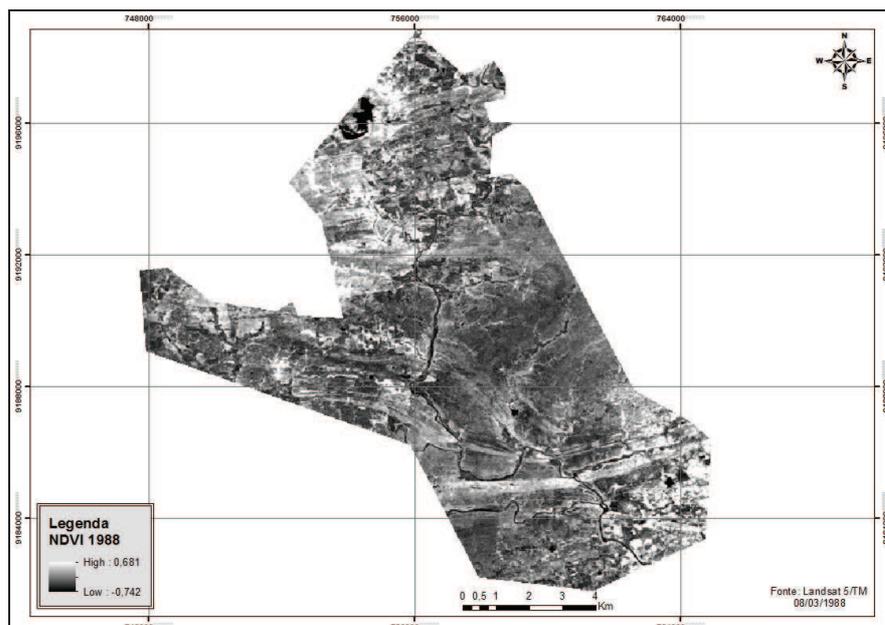


Figura 36: NDVI obtido a partir das bandas 3 e 4 da imagem Landsat-5/TM de 08/03/1988.

Conseqüentemente as áreas com maiores quantidades de vegetação fotossinteticamente ativa possuem os maiores valores de NDVI e se apresentam com tonalidades de cinza mais claros e mais brilhosos. É evidente que a vegetação verde sadia apresenta um contraste diferenciado o que caracteriza um maior vigor vegetativo.

O NDVI temático (Figura 37) exhibe as classes geradas com a associação dos valores de NDVI a cores para melhor discriminar os alvos e espacializar as classes e a vegetação na época em que a imagem foi obtida.

Os valores entre -0,742 e -0,139 representam a classe água em azul com os menores valores de NDVI nesta data. Este alvo pode ser facilmente identificado com a classificação do índice. Na faixa de valores entre -0,139 e - 0,152 a classe solo exposto representa áreas de solo desnudos mais vulneráveis a ação das chuvas em que as atividades humanas provocaram degradação acentuada.

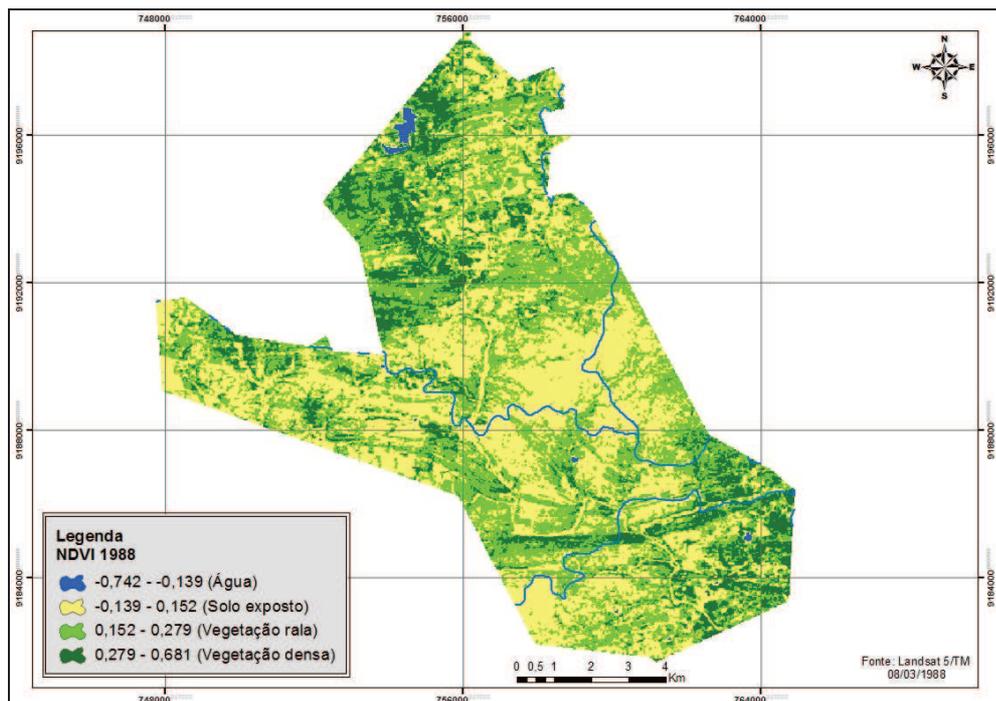


Figura 37: NDVI temático obtido da imagem Landsat-5/TM de 08/03/1988

Nota-se ainda, que neste ano a classe vegetação rala compreendida na faixa de valores entre 0,152 e 0,279 associadas à cor verde claro, se encontrava bem distribuída em toda área do município. O que pode ser explicado pelo início das chuvas na região. Em verde escuro a classe vegetação densa compreende os maiores valores de NDVI na faixa entre 0,279 e 0,681, onde são encontrados as maiores proporções de cobertura vegetal.

Se comparado ao mapa de cobertura do solo em 1988 a diferença na distribuição das classes é marcante, devido ao índice de vegetação considerar o comportamento da reflectância da vegetação nas regiões espectrais do visível e do infravermelho próximo. Desta forma, onde a vegetação estiver presente está será detectada na obtenção do índice enquanto, que na classificação supervisionada da imagem sintética as amostras de cada classe são definidas pelo operador, desta forma em algumas áreas a vegetação mais rala e esparsa pode não ser classificada.

Na imagem NDVI (Figura 38) de 08/04/1999 obtida em um período considerado como chuvoso verifica-se as áreas em tons de cinza claros como sendo aquelas que apresentam uma maior quantidade de vegetação. Os tons de cinza escuros presentes na maior parte do município correspondem ao solo exposto e em alguns pontos apresentam uma tonalidade de cinza escura mais acentuada em virtude da umidade presente.

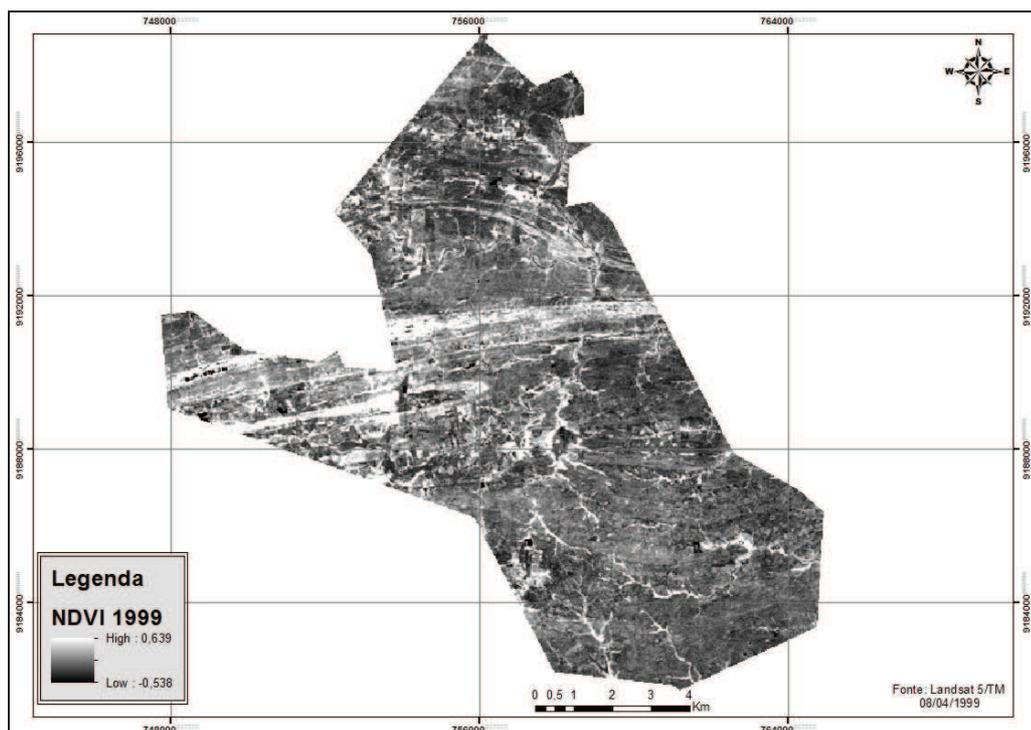


Figura 38: NDVI obtido a partir das bandas 3 e 4 da imagem Landsat-5/TM de 08/04/1999.

Com o mapa temático do NDVI (Figura 39) para o mesmo ano nota-se a distribuição das classes no limite do município. No mês em que a imagem foi obtida mesmo sendo considerado chuvoso notou-se que a classe água com valores entre -0,538 e -0,0703 está presente em alguns pontos do município, fato que pode ser explicado devido a baixos valores de precipitação.

No geral o ano de 1999 é considerado como um ano seco, em que a região nordeste sofreu com a escassez de água e uma irregularidade ainda maior nas precipitações. Contudo, no mapa a classe vegetação densa se encontra bem distribuída em dois setores do município possivelmente devido às chuvas nos meses anteriores que deixaram o solo úmido.

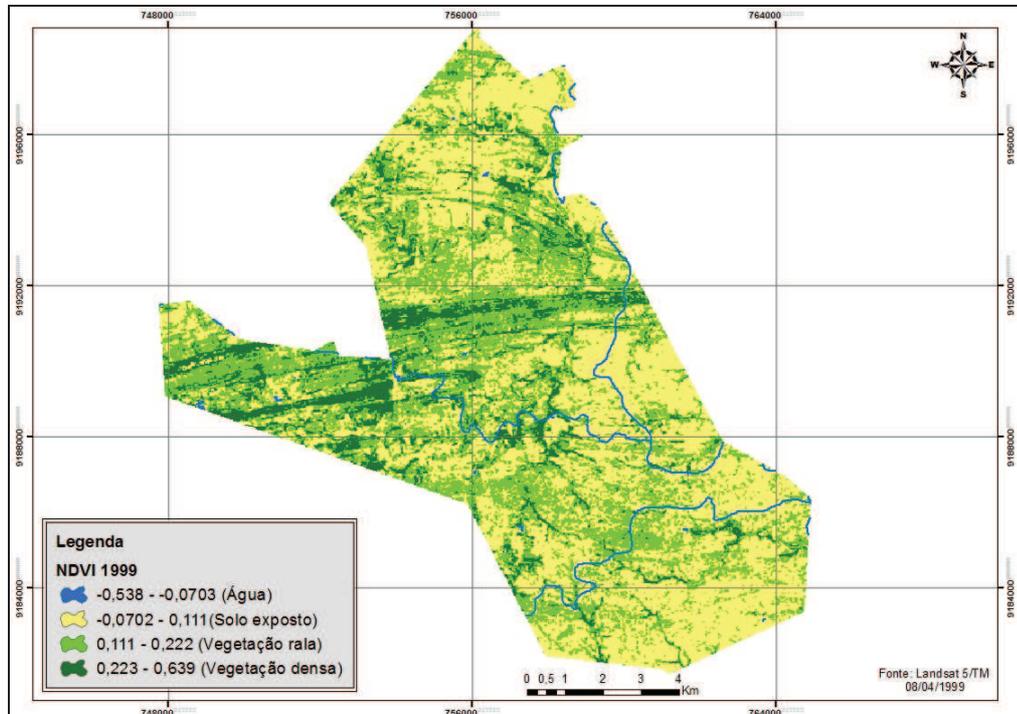


Figura 39: NDVI temático obtido da imagem Landsat-5/TM de 08/04/1999

O setor sul do município que no mapa de 1988 (Figura 37) apresentava grandes áreas de vegetação densa, em 1999 é ocupado principalmente por vegetação rala e solo exposto, o que pode indicar uma maior intensidade das atividades humanas no setor e conseqüentemente maior devastação na cobertura vegetal e nas áreas verdes com polígonos mais significativos de vegetação.

Sendo assim, a degradação neste local se torna visível em um período de apenas onze anos. Restando vegetação mais expressiva apenas no curso de rios e em pontos isolados. Modificações também podem ser notadas ao norte, onde na imagem NDVI de 1988 foi identificado um corpo d'água o mesmo não ocorrendo em 1999. Com os histogramas (Figura 40) é possível verificar a distribuição das classes e dos valores de NDVI para o mapa temático em 1988 e 2005.

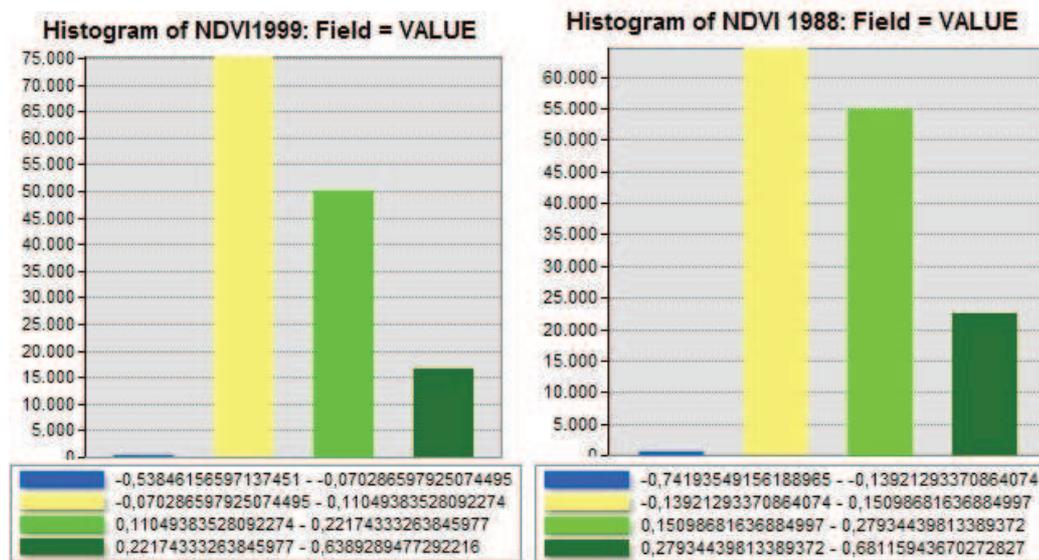


Figura 40 a) Histograma mostrando a distribuição dos valores de NDVI em 1988. b) Histograma mostrando a distribuição dos valores de NDVI em 1999.

4.2.2 - NDVI e NDVI temático para o município em 1995 e 2005

Para a imagem (Figura 41) de 1995 o NDVI varia de -1 a 0,676 nota-se as áreas de vegetação apresentando tonalidades mais claras, principalmente ao longo do curso da drenagem principal e de rios presentes no município que corresponde à mata ciliar. A tonalidade mais escura representa os alvos solo e água.

A imagem foi obtida em um período considerado como seco (Figura 28), desta forma fica claro que boa parte das áreas possivelmente vegetadas perderam a cobertura de vegetação rala existente. As áreas mais claras que representam a vegetação com maior vigor vegetativo estão presentes em solos mais úmidos e em locais menos afetados pelas ações das atividades humanas, isto pode ser verificado nas áreas mais elevadas no município, de acordo com o mapa Hipsométrico (Figura 24).

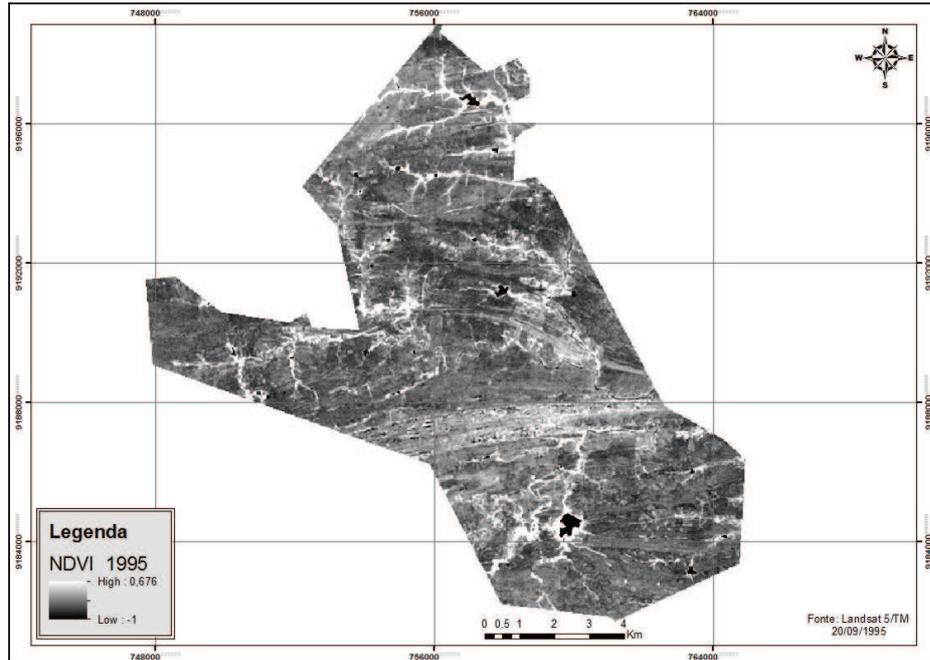


Figura 41: NDVI obtido a partir das bandas 3 e 4 da imagem Landsat-5/TM de 20/09/1995.

O mapa temático do NDVI (Figura 42) apresenta a distribuição das classes e os valores de NDVI que cada uma representa. Com este mapa verificou-se que a distribuição da classe vegetação densa com os valores de NDVI entre 0,221 e 0,676 correspondendo às áreas com maior quantidade de vegetação fotossinteticamente ativa, presente nas margens dos rios e próximos a reservatórios.

Este tipo de cobertura se encontrava na época em que a imagem foi obtida em determinados setores do município o que ocasiona a formação de ilhas de vegetação densa, que não contribui para a conversação dos solos do município, mas que funciona como refúgios para espécies animais que sobrevivem à época de estiagem utilizando os recursos encontrados nessas áreas, o que é determinante para a conservação da biodiversidade local.

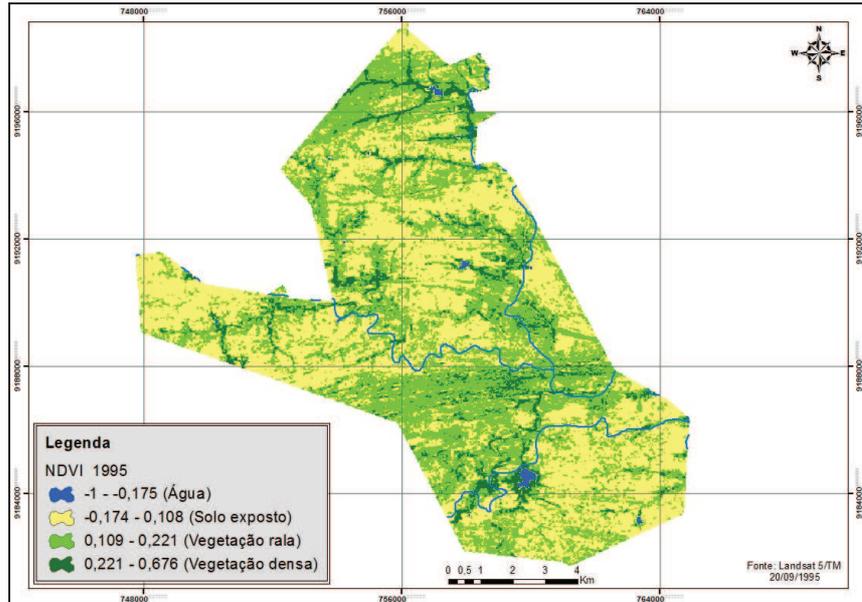


Figura 42: NDVI temático obtido da imagem Landsat-5/TM de 20/09/1995

A classe solo exposto apresenta valores de NDVI entre -0,174 e 0,108. Esta classe corresponde a áreas de solo desnudo, sem cobertura vegetal de qualquer porte, e que devido ao período de estiagem perdeu boa parte de sua cobertura de vegetação rala que apresenta NDVI entre 0,109 e 0,221. Isso favorece a exposição do solo, deixando-o vulnerável aos efeitos da degradação, desta forma o solo perde suas propriedades físico-químicas ficando impróprio para o cultivo (Figura 43).



Figura 43: Área desmatada no Município de Parari nota-se o solo exposto e vulnerável as condições do clima.

Para a imagem NDVI (Figura 44) obtida a partir da operação entre as bandas 3 e 4 da imagem Landsat-5/TM de 29/07/2005, os valores variam de -0,8 a 0,752. Observam-se as áreas com tonalidades cinza claro com alta reflectância que representam a classe vegetação densa em contraste com as áreas mais escuras que representam o solo exposto e o alvo água.

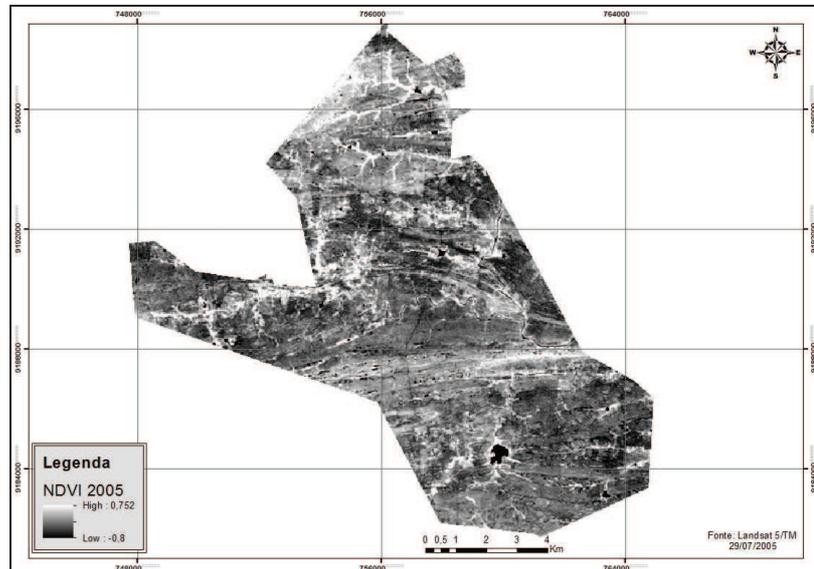


Figura 44: NDVI obtido a partir das bandas 3 e 4 da imagem Landsat-5/TM de 29/07/2005.

A imagem NDVI temática (Figura 45) para a data de 29/07/2005 época consideradoa como fim do período chuvoso (Figura 32) apresenta a classe vegetação densa bem mais distribuída na área de estudo, não somente em áreas próximas aos reservatórios e as margens dos rios.

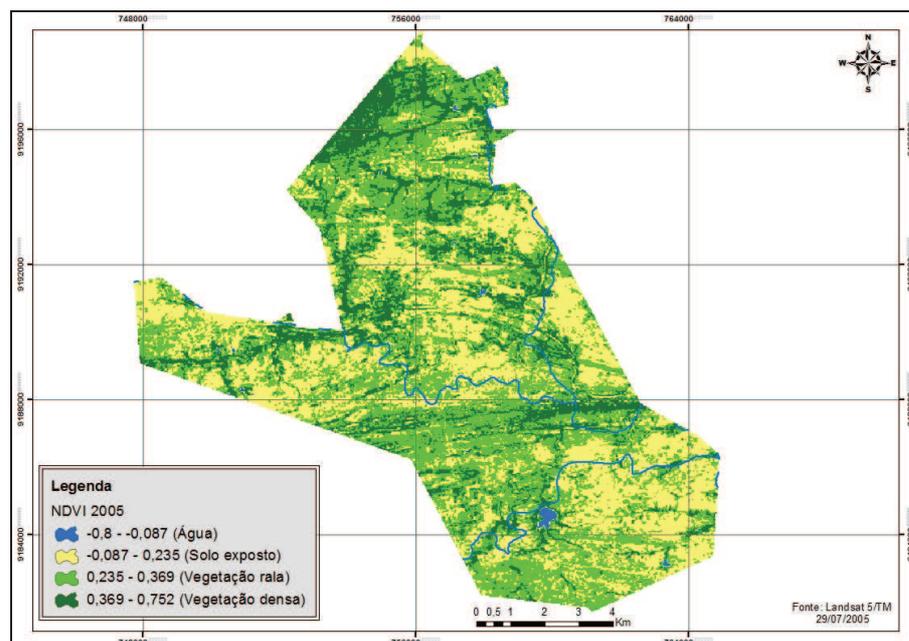


Figura 45: NDVI temático obtido da imagem Landsat-5/TM de 29/07/2005

No setor norte do município verificou-se uma grande área de vegetação densa, isso pode ser explicado à umidade ainda presente no solo o que proporciona a conservação da vegetação por mais tempo.

A Figura 46 mostra vegetação mais densa às margens da estrada para o município de Parari, porém a espécie predominante encontrada na área é a Algaroba (*Prosopis juliflora*), planta exótica, presente nas duas margens da estrada.



Figura 46: Vegetação densa verificada as margens de estrada em Parari.
Fonte: Nadjacleia Almeida (Jan, 2010).

Após o início do período de estiagem e com o fim das chuvas o solo perde a umidade e a vegetação seu vigor vegetativo e se torna cada vez mais esparsa e as espécies mais encontradas são aquelas mais resistentes às condições adversas do clima. A distribuição dos valores de NDVI podem ser verificados nos histogramas (Figura 47) elaborados para melhor apresentar as classes.

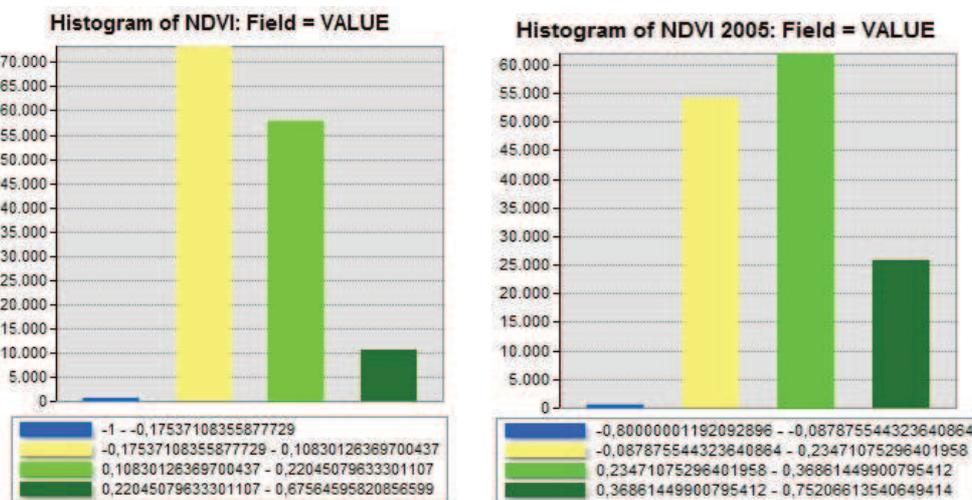


Figura 47: a) Histograma mostrando a distribuição dos valores de NDVI em 1999. b) Histograma mostrando a distribuição dos valores de NDVI em 2005.

A vegetação rala que em 2005 apresentou valores de NDVI entre 0,235 e 0,369 e segundo a imagem temática recobre boa parte do solo no município diminui nos meses seguintes até que se exauri por completo, deixou o solo ainda mais exposto (Figura 48).



Figura 48: Pavimento desértico nas proximidades da estrada para o município de Parari em Janeiro de 2010.

Fonte: Nadjacleia Almeida

Aliados a esses fatores a intensificação do uso da vegetação presente para a extração de lenha, as retiradas da vegetação rala para dar lugar ao plantio de cactáceas para alimentação animal contribuem ainda mais com a devastação da cobertura vegetal que resiste a escassez de água e que tem papel fundamental na conservação do solo.

A distribuição da vegetação densa no mapa de 1995 em relação ao mapa de 2005 configura a dinâmica da vegetação em uma década. Vale salientar que as diferenças encontradas para esta classe não pode ser atribuída simplesmente às ações danosas do homem a vegetação de caatinga.

Deve-se avaliar que no mapa de 1995 a resposta espectral dos alvos pode ser sido influenciada às menores precipitações nos meses anteriores a obtenção da imagem, o que também pode ter ocorrido em 2005 onde a resposta espectral da vegetação rala, por exemplo,

pode ter influência pelas precipitações nos meses anteriores. Conforme pode ser verificado nos gráficos com o acúmulo de chuvas nos anos analisados.

Assim, devido à quantidade de água armazenada nos estômatos das folhas das espécies de vegetais encontradas na área, o que assegura as plantas um maior vigor vegetativo.

4.2.3 - Mapa da situação das áreas desmatadas de 1988-2005.

Como resultado da operação da álgebra de mapas para a situação das áreas de vegetação entre 1988 e 2005 foi criado o mapa (Figura 49) com a espacialização da evolução do desmatamento no período em estudo. Esse mapa ilustra a devastação provocada no município. Grande parte dos polígonos de mata em 1988 foi desmatada até 1995, áreas expressivas como estas são responsáveis por manter o equilíbrio ambiental e qualquer alteração mais significativa provoca graves modificações ao ecossistema local.

Entre 1995 e 1999 o desmatamento ainda foi alarmante, porém em menor proporção que no período anterior.

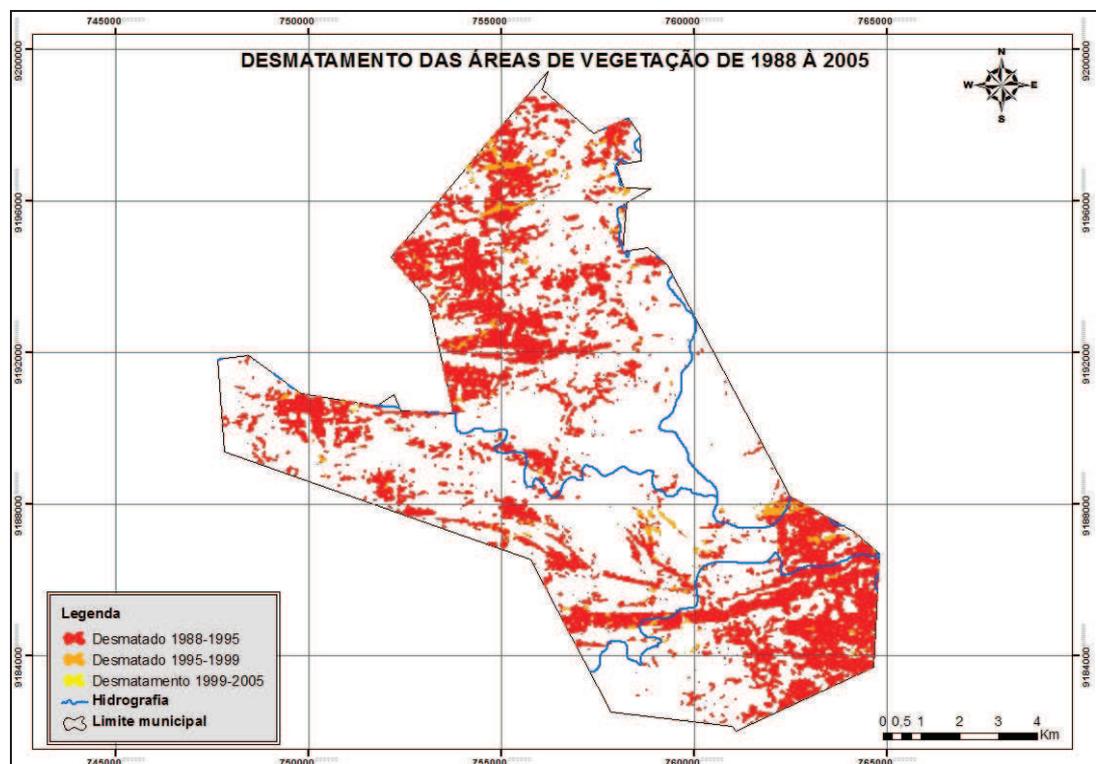


Figura 49: Mapa da evolução do desmatamento de 1988 a 2005.

Já entre 1999 e 2005 o desmatamento diminuiu consideravelmente, mas deve-se levar em consideração que os grandes remanescentes de caatinga existentes foram reduzidos e a maior parte da vegetação encontrada no município neste ano é de vegetação rala.

CONCLUSÕES

A análise dos resultados obtidos na pesquisa demonstraram a dinâmica da degradação das áreas de vegetação no município de Parari-PB entre 1988 e 2005, fornecendo informações necessárias para o monitoramento ambiental na área estudada.

O estudo ainda reafirmou a eficiência das geotecnologias como ferramentas precisas para análises ambientais no semiárido, as técnicas de processamento de imagens de satélite permitiram um estudo temporal das modificações ocorridas ao longo dos anos em um ambiente potencialmente frágil e susceptível as ações humanas. As técnicas de análises espaciais foram responsáveis por apoiar a comparação da espacialização das áreas de vegetação e sua substituição por outra classe de cobertura do solo, atendendo satisfatoriamente as necessidades do estudo no que diz respeito à análise das classes temáticas.

A degradação das áreas de mata na área de estudo pode ser notada com os mapas de ocupação do solo, em que a fragmentação das áreas de vegetação foi espacializada ficando evidente a alteração no período estudado. Em sua maioria as modificações se deram pela substituição da vegetação de caatinga por solo exposto (desnudo).

A análise dos mapas temáticos de NDVI levou em consideração o período em que as imagens foram obtidas, o que proporcionou maior confiabilidade às informações apresentadas. Em cada um destes mapas fica evidente a relação direta entre a pluviosidade e os valores de NDVI. Com isto foi possível por meio destes valores estabelecer uma análise comparativa entre a dinâmica natural da vegetação de caatinga e as alterações provocadas pela ação humana, além de analisar o comportamento dos demais alvos presentes em cada imagem.

Notou-se que no período em estudo a degradação das áreas de vegetação foi significativa, tendo em vista que as áreas onde era possível encontrar polígonos expressivos de remanescentes em determinada imagem de uma época, em outras, a área se encontrava como solo exposto mesmo em períodos considerados como chuvoso. O estudo dos fragmentos de caatinga é de grande importância, pois garante a elaboração de políticas de preservação ambiental.

Tamanha modificação acarreta no comprometimento do equilíbrio ambiental da área, e intensifica a degradação do solo, assoreamento dos rios e colabora com o avanço do processo de desertificação.

Desta forma, a metodologia empregada e os resultados obtidos na pesquisa permitiram um diagnóstico temporal da situação da degradação das áreas de vegetação de caatinga no município de Parari-PB, colaborando assim com as informações de caráter científico que podem vir a ser consultadas para o controle da degradação ambiental e conservação do Bioma Caatinga no município.

REFERÊNCIAS

- AB' SÁBER, Aziz Nacib. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. 7ª ed. São Paulo: Ateliê Editorial, 2012.
- AGUIAR, A. E. X.; OLIVEIRA, P. I & CRUZ, B. L. M. **Degradação Ambiental/ desertificação na Região de Canindé-Ce: Análise e Mapeamento Espectro-Temporal a Partir de imagens Landsat**. VI Seminário Latino Americano de Geografia Física; II Seminário Ibero Americano de Geografia Física. Coimbra, Portugal, Maio de 2010.
- ALMEIDA, N. V. **Ordenamento territorial geoambiental da bacia hidrográfica do rio Taperoá, semiárido paraibano**. Tese de doutorado em Geografia – UFF. Niterói-RJ, 2012.
- BEZERRA, M. V. C; SILVA, B.B & BEZERRA, G.B. **Avaliação dos efeitos atmosféricos no albedo e NDVI obtidos com imagens de satélite**. In: Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande. V.15, n.7, p.709-717, 2011.
- BRASIL. Nova Delimitação do Semiárido brasileiro. Ministério da Integração Nacional. 2009. Disponível em: www.mds.gov.br Acesso em: 03/03/2013.
- CÂMARA, G. **Modelos, linguagens e arquiteturas para bancos de dados geográficos**. Dissertação apresentada para obtenção do título de doutorado. INPE, 1995.
- CÂMARA, G.; SOUZA, R.; FREITAS, U.; GARRIDO, J. SPRING: Integrating Remote Sensing and GIS with Object-Oriented Data Modelling. Computers and Graphics, v. 15, n.6, p. 13-22, 1996.
- CÂMARA, G & DAVIS, C. **Fundamentos de Geoprocessamento**. São José dos Campos, INPE, 2000.
- CÂMARA, G & MEDEIROS, J. S. **Princípios básicos em geoprocessamento**. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistema de informações geográficas**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa-SPI/CPAC, 1998. p. 3-11.
- CÂMARA, G; CASANOVA, M.A; HEMERLEY, A.S; MAGALHÃES, G.C & MEDEIROS, C.M.B. **Anatomia de Sistemas de Informação Geográficas**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/geopro/livros/anatomia.pdf> Acesso em: 07 nov. 2012.

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

CRÓSTA, A. P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. ed.rev., Campinas,SP: IG/UNICAMP,1992.

DREW, David. **Processos interativos homem-meio ambiente**. São Paulo: Difel, 1998.

DRUMOND, M.A.; KIILL, L. H. P.; LIMA. P. C. F.; OLIVEIRA, M. C. OLIVEIRA, V. R.; ALBUQUERQUE, S. G.; NASCIMENTO, C. E. S.; CAVALCANTI, J. Estratégias para o uso sustentável da biodiversidade da caatinga. In: SILVA, J. M. C. da; TABARELLI, M.; FONSECA, M. T. da; LINS, L. V. (Org.). **Biodiversidade da caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente: Universidade Federal de Pernambuco, 2004. p. 329-340.

FLORENZANO, T.G. **Imagens de satélites para estudos ambientais**. 2.ed., São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

FERREIRA, N. J. **Aplicações Ambientais Brasileiras Dos Satelites Noaa e Tiros-N**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

FREIRE, N.C.F & PACHÊCO, A.P. **Desertificação: análise e mapeamento**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2011.

GOMES, F. C.L ; SILVA, G. J. F. ; Sousa . **Uso de Técnicas de Sensoriamento Remoto na Detecção de Áreas Degradadas e Susceptíveis a Desertificação no Semiárido Paraibano**. In: Giovanni Seabra. (Org.). TERRA Qualidade de Vida, Mobilidade e Segurança nas Cidades. 1ed.JOÃO PESSOA: Editora Universitária da UFPB, 2013, v. 4, p. 1-824.

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

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Dados básicos dos municípios brasileiros**. Disponível em:<www..ibge.com.br/cidadesat/painel.php?codmun=251065>Acesso em: Jan. 2013.

INPE. **SPRING – Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas. Manual de Ajuda.** São José dos Campos-SP, 2006.

JENSEN, J.R. **Sensoriamento remoto do ambiente: Uma perspectiva em recursos terrestres.** Tradução José Carlos Epiphanyo (coordenador)...[et al.].- São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Dados básicos dos municípios brasileiros.** Disponível em: <

www.ibge.gov.br/cidadesat/painel/painel.php?codmun=251065> Acesso em 22 de Janeiro de 2013.

KAZMIERCZAK, M. L. **Desenvolvimento de um Algoritmo para modelar a suscetibilidade de Desertificação no Nordeste Brasileiro: Algoritmo ISD.**In: X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Foz do Iguaçu, 2001, p. 1675-1691. Anais.

LIU, W. T. H. **Aplicação de Sensoriamento Remoto.** 1 ed. Campo Grande. Uniderp, 2007. p. 621-839.

LOPES, P.M.O.;VALERIANO, D.M. **Validação do albedo da superfície terrestre obtido dos dados do sensor MODIS em regiões montanhosas.** In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13, 2007, Florianópolis. Anais... Florianópolis: INPE, 2007. P. 2805-2812

MALDONADO, F. D. **Rotação Espectral Controlada como alternativa em Análise por Componentes Principais para detecção de mudanças em regiões do semi-árido.**In: X SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Foz do Iguaçu, 2001, p. 627-630. Anais.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação.** 3. ed. Viçosa: UFV, 2007.

MATALLO JÚNIOR, H. **Indicadores de desertificação: histórico e perspectiva.** Brasília: UNESCO, 2001.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações.** 2.ed.,São Paulo: Editora Edgar Blücher Ltda, 1998

_____, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. 3. ed. São Paulo: Blucher, 2009. 363 p.

OLIVEIRA; E.M; SANTOS, M.J; ARAÚJO, L.E & SILVA, D.F. **Desertificação e seus impactos na região semi-árida do Estado da Paraíba**. *Ambiência - Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais* V. 5 N. 1 Jan./Abr. 2009 . Guarapuava, PR.

PONZONI, F. J. Comportamento espectral da vegetação. p. 157-199. In: P. R. Meneses; J. S. M. Netto. **Sensoriamento remoto: reflectância dos alvos naturais**. Brasília: Editora Universidade de Brasília/Embrapa Cerrados, 2001, 262p.

POZONI, F.J. & SHIMABUKURO, Y.E. **Sensoriamento Remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos, SP: Parêntese, Ed., 2009.

ROUSE, J.W; HAAS, R.H; SCHELL, J.A; DEERING, D.W & HARLAN; J.C. **Monitoring the vernal advancement of retrogradation (greenwave effect) of natural vegetation**. NASA/GSFC, Type III, Final Report, Greenbelt, MD, 1974, 371 p.

ROCHA, C. H. B. **Geoprocessamento tecnologia transdisciplinar**. Juiz de Fora: Ed. do autor, 2000.

RODRÍGUEZ, A. C. M. **Mapeamento Multitemporal do Uso e Cobertura do Solo do Município de São Sebastião - SP, Utilizando Técnicas de Segmentação e Classificação de Imagens TM-LANDSAT e HRV-SPOT**. Dissertação apresentada para obtenção do título de especialista em Sensoriamento Remoto, INPE, 2006.

SÁ, I.S; GALVÍNICO, J. D; MOURA, M. S. B. & SÁ, I. B. **Avaliação da Degradação Ambiental na Região do Araripe Pernambucano Utilizando Técnicas de Sensoriamento Remoto**. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 4, p. 1292-1314, 2011.

SILVA, T.M; SILVA, R.P.V; PATRICIO, M.C.M & MARIANO, B.E. **Análise dinâmica do processo de desertificação na região de Gilbués-PI, utilizando imagens do TM/Landsat 5**. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, 2009.

SILVA, R.M; PAIVA, F.M.L; SANTOS, C.A. **Análise do grau de erodibilidade e perdas de solo na bacia do Rio Capiá baseado em SIG e Sensoriamento Remoto**. Revista Brasileira de Geografia Física – Recife, v.2, n.1, p.26-40, jan/abr, 2009.

SILVA, G.J.F. Avaliação Espaço-Temporal da Cobertura vegetal na Bacia Hidrográfica do Rio Miriri-PB. Monografia apresenta ao Curso Superior de Tecnologia em Geoprocessamento- IFPB, João Pessoa-PB, 2010.

SHIMABUKURO, Y.E.; CARVALHO, V.C.; RUDORFF, B.T.F. NOAA-AVHRR data processing for mapping vegetation cover. In:**International Journal of Remote Sensing**, v. 18 (3), p.671-677.1997.

SOUSA, R.F; BARBOSA, M.P; MORAIS NETO, J.M & FERNANDES, M.F. **Estudo do processo da desertificação e das vulnerabilidades do município de Cabaceiras–Paraíba**. Revista de Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal, v. 4, n. 1, p. 089-102, jan/jun 2007.

SOUSA, R. F. **Terras agrícolas e o processo de desertificação em municípios do semi-árido paraibano**. Universidade Federal de Campina Grande centro de tecnologia e recursos naturais programa de pós-graduação em engenharia agrícola curso de doutorado em engenharia agrícola Campina Grande – PB, 2007.

SUDENE. **O Semiárido**. Disponível em: <http://www.sudene.gov.br/semiario>. Acesso em: 05/07/2012.

TABARELLI, M. & VICENTE. A. **Conhecimento Sobre Plantas Lenhosas da Caatinga: lacunas geográficas e ecológicas**. p.101-112 In: Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias (SILVA, J.M.C, M. TABARELLI, M.F,FONSECA& L.V. LINS, orgs.). MMA, Brasília, 2003.

UNITED NATIONS. **Text of the United Nations Convention to Combat Desertification**. Disponível em: www.unccd.int/convention/text/convention.php. Acesso em 16 Ago. 2012.

VAREJÃO-SILVA, M. A.; SOBRAL, Z. R. (Coord.). **Atlas climatológico do Estado da Paraíba**. Campina Grande: UFPB, 1984.