

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS E
TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO**

Márcia Rejane O. B. C. Macedo



**UMA ABORDAGEM TEMÁTICA E ESPECTRAL DE ÁREAS
PASSÍVEIS À DESERTIFICAÇÃO NA REGIÃO
DO SERIDÓ – RN/PB**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, área de concentração Cartografia e Sistemas de Geoinformação.

**Orientador: Prof. Dr. Admilson da Penha Pacheco
Co-orientador: Dr. Luciano José de Oliveira Accioly**

Recife

2007

M123u

Macedo, Márcia Rejane O. B. C.

Uma abordagem temática e espectral de áreas passíveis à desertificação na região do Seridó-RN/PB / Márcia Rejane O. B. C. de Macedo. - Recife: O Autor, 2007.

114 folhas, il : figs., tabs.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2007.

Inclui Bibliografia.

1. Geodésia Aplicada. 2. Desertificação. 3. Sensoriamento Remoto.
I. Título.

UFPE

551

CDD (22. ed.)

BCTG/2008-077

**UMA ABORDAGEM TEMÁTICA E ESPECTRAL DE
ÁREAS PASSÍVEIS À DESERTIFICAÇÃO NA REGIÃO
DO SERIDÓ-RN/PB**

POR

MÁRCIA REJANE OLIVEIRA BARROS CARVALHO MACEDO

Dissertação defendida e aprovada em 29.08.07.

Banca Examinadora:



Prof. Dr. ADMILSON DA PENHA PACHECO (Orientador)
Departamento de Engenharia Cartográfica - Universidade Federal de Pernambuco



Prof.ª Dr.ª ANA LÚCIA BEZERRA CANDEIAS
Departamento de Engenharia Cartográfica - Universidade Federal de Pernambuco



Prof. Dr. JÜRGEN WILHELM PHILIPS
Departamento de Engenharia Civil - Universidade Federal de Santa Catarina

CARVALHO MACEDO, MÁRCIA REJANE OLIVEIRA BARROS. UMA ABORDAGEM TEMÁTICA E ESPECTRAL DE ÁREAS PASSIVEIS À DESERTIFICAÇÃO NA REGIÃO DO SERIDÓ – RN/PB Recife, 2007. 114p. dissertação (Mestrado) - Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco.

Um dos indicadores da desertificação é a redução da cobertura de plantas perenes. Aliado a essa mudança está a degradação dos solos das áreas com menor cobertura vegetal, sendo possível sua identificação através de dados de sensoriamento remoto. A erosão do solo pela água remove a superfície do solo e expõe as camadas sub-superficiais que conduzem às mudanças em algumas propriedades químicas e físicas do solo, variando com a profundidade. A reflectância do solo é uma propriedade cumulativa que se deriva do comportamento espectral inerente da combinação heterogênea da matéria mineral, orgânica, e fluida que compreende os minerais dos solos. Estudos diversos descreveram as contribuições relativas à reflectância de solos naturais de parâmetros do solo tais como, a matéria orgânica, a umidade do solo, a distribuição de tamanho da partícula, a estrutura do solo, o índice do óxido do ferro, a mineralogia do solo, e o material de origem. Além de existirem poucos levantamentos florestais que cobrem boa parte do bioma, os mesmos utilizaram metodologias diferentes, dificultando assim uma comparação de resultados e avaliação da evolução da cobertura vegetal. Com base nisso, este estudo buscou analisar áreas de risco passíveis à desertificação no semi-árido brasileiro, fazendo uma abordagem conceitual, espacial e espectral do problema, utilizando técnicas de Sensoriamento Remoto numa área denominada Núcleo de Desertificação do Seridó – RN/PB.

Palavras-chave: Desertificação, Sensoriamento Remoto, classificação

CARVALHO MACEDO, MÁRCIA REJANE OLIVEIRA BARROS. UMA ABORDAGEM TEMÁTICA E ESPECTRAL DE ÁREAS PASSIVEIS À DESERTIFICAÇÃO NA REGIÃO DO SERIDÓ – RN/PB Recife, 2007. 114p. dissertação (Mestrado) - Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco.

One of the pointers of the desertification is the reduction of the covering of perennial plants. Aligned to this change is the degradation of ground of the areas with lesser vegetal covering, being possible its identification through data of Remote Sensing. The erosion of the ground for the water removes the surface of the ground and displays the subsurface layers that lead to the changes in some chemical and physical properties of the ground, varying with the depth. The reflectance of the ground is a cumulative property that is inherent to the spectral behavior of the heterogeneous combination of the mineral, organic substance, and fluid that understands minerals of ground. Diverse studies have described the relative contributions to the natural ground reflectance of parameters of the ground such as, the organic substance, the humidity of the ground, the distribution of size of the particle, the structure of the ground, the index of oxide of the iron, the mineralogy of the ground, and the material of origin. Besides existing few forest surveys that cover good part of "bioma", the same ones have used different methodologies, thus making it difficult a comparison of results and evaluation of the evolution of the vegetal covering. With base in this, this study searched to analyze areas of risk to the desertification in the half-barren Brazilian, being made a conceptual, space and spectral boarding of the problem, using techniques of Remote Sensing in a area called Nucleus of Desertification of Seridó - RN/PB.

Palavras-chave: Desertification, Remote Sensing, classification

Agradeço a Deus por ter me dado forças para vencer os desafios.

Aos meus pais pelo carinho e exemplo de superação.

Ao meu marido pelo amor e companheirismo ímpar.

Ao meu sogro por toda demonstração de afeto e consideração.

À minha família pelo apoio incondicional.

Agradeço pelo apoio institucional recebido, sem o qual este estudo não teria tido êxito, ao Dr. Luciano José de Oliveira Accioly, meu co-orientador, à Dr^a Selma Cruz, coordenadora da Embrapa Solos – UEP Recife e aos meus amigos Eudmar, Ricardo Irmão e Hélio Lopes, bolsistas das Embrapa.

Aos pesquisadores do INPE, Dr^a Elizabete Caria e o Dr^o José Carlos Ephifanio, que gentilmente me receberam e prestaram todo o apoio necessário.

Ao meu orientador, Dr^o Admilson da Penha Pacheco por toda paciência e ajuda no desenvolvimento da pesquisa.

À Dr^a Ana Lúcia Candeias, minha eterna incentivadora.

Pelas inúmeras horas que você pacientemente me chamou e eu não pude atender...

Por todos os dias que não estive ao seu lado...

Pelas palavras que não ouvi você dizer...

Pelas festas de sua escola que perdi...

Pelos passeios que não fizemos juntas...

A você, Bianca, dedico com todo meu amor este trabalho.

LISTA DE FIGURAS

Figura nº	Página
II.1. Tempestade de pó ocorrida na região de “ <i>Dust Bowl</i> ”	10
II.2. Desertificação no Sahel – Senegal	11
II.3. Dia Mundial de Combate à Desertificação	15
II.4. Atlas Mundial da Desertificação	15
II.5. Área desmatada na fazenda Canto Alegre (Seridó)	17
II.6. Processo de erosão hídrica do solo	19
II.7. Incidência de secas no Nordeste	24
II.8. Limite do Polígono das Secas e Região Semi-árida do FNE	26
II.9. Localização do Trópico Semi-árido	26
II.10. Mapa da susceptibilidade no Brasil	27
II.11. “Seca, devastação e abandono”	28
II.12. Núcleos desertificados no Brasil	38
II.13. Áreas de ocorrência de Desertificação no Rio Grande do Norte	38
II.14. Opinião quanto à frequência na apresentação de problemas ambientais Relacionados à Desertificação	43
II.15. Ocorrência do Bioma Caatinga na Região Semi-árida Nordestina	44
II.16. Delimitação do Bioma Caatinga e suas ecorregiões	44
II.17. Caatinga densa – Seridó	45
II.18. Caatinga aberta – Seridó	46
II.19. Corte de madeira próximo a fazenda Canto Alegre	48

Figura nº	Página
II.20. Geóide	49
II.1. Elipsóide de Referência	49
II.22. Espectro de reflectância representativos dos horizontes superficiais dos Solos	53
III.1. Caatinga aberta – Seridó	65
III.2. Localização da área de estudo	66
III.3. Carta Imagem da área de estudo	69
III.4. Distribuição espacial dos postos pluviométricos	71
III.5. Distribuição das precipitações médias mensais dos municípios	72
III.6. Espacialização climática no período de fevereiro a abril de 1987	74
III.7. Espacialização climática no período de fevereiro a abril de 2000	74
III.8. Imagem classificada de 1987	77
III.9. Imagem classificada de 2000	77
III.10. Mapa de elevação da área de estudo	79
IV.1. Localização da área de estudo	90
IV.2. Distribuição dos pontos de coleta – Seridó – RN/PB	92
IV.3. Método de coleta das amostras de solo – Seridó – RN/PB	93
IV.4. Preparação das amostras para análises radiométricas	93
IV.5. <i>Field Spec Pro FR</i> e placa de espectralon	94
IV.6. Distribuição das nuvens de pixels da banda 3 e Componentes Principais	96

Figura nº	Página
IV.7. Exemplos de gráficos das curvas espectrais das amostras de solo 6 e gráfico comparativo entre a camada A da amostra de solo 6 e a amostra de solo 7	98
IV.8. Gráfico da amostra de solo 1 para todas as camadas	99
IV.9. (a) Exemplos de curvas espectrais (P = Solo Preservado, E = Solo Erodido) para a profundidade de 0 a 1cm. 1 = Planossolo, 2 = Neossolo Regolítico, 3 = Neossolo Litólico. (b) Curvas espectrais de amostras de um Luvissole Crômico (solo 4) Preservado (4P, 0 a 1cm e 4P, 16 a 18cm De profundidade) e Erodido (4E, 0 a 1 cm de profundidade)	102
IV.10. Curvas espectrais de amostras de um Planossolo (solo 1) Preservado (1P, 0 a 1cm de profundidade) e Erodido (1E, 4 a 5cm de profundidade)	102
IV.11. Imagem de Albedo	103
IV.12. Mapa das mudanças no albedo tendo como plano de fundo o mapa das classes de solos	104
IV.13. Imagem detecção para as áreas preservadas e degradadas	105

LISTA DE TABELAS

Tabela nº	Página
II.1. Breve explanação de eventos relacionados ao combate à Desertificação que ocorreram no Brasil após 1977.....	12
II.2. Intensidade da Desertificação	20
II.3. Categorias de clima de acordo com o Índice de Aridez	22
II.4. Área de atuação da SUDENE	23
II.5. Indicadores da Desertificação	34
II.6. Indicadores relevantes de Desertificação conforme escala de monitoramento .	35
II.7. Áreas piloto para investigação sobre desertificação no Semi-árido brasileiro.....	37
II.8. Núcleos de Desertificação	37
II.9. Regiões do espectro mais adequadas ao estudo de propriedades físico- químicas do solo	54
III.1. Pontos utilizados para correção da imagem LandSat para o ano de 2000.....	68
III.2. Erro do correção da imagem LandSat para o ano de 2000.....	68
III.3. Percentuais de ocorrência de cada classe.....	78
IV.1. diferença entre as classes de uso do solos para os anos de 1987 e 2000.....	98

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

Página

Capítulo I – Desertificação no Semi-árido Brasileiro: Aspecto Espacial,

Espectral e Temporal	1
I.1.Introdução	1
I.1.1.Síntese da Pesquisa	6
I.2.Objetivos.....	6
I.2.1.Objetivo Geral	6
I.2.2.Objetivos Específicos	7
I.3.Organização da Dissertação	9

Capítulo II – Aspectos da Desertificação e Técnicas de Sensoriamento

Remoto	9
II.1.Desertificação	9
II.1.1.Aspectos Teóricos.....	13
II.1.2.Definições da Desertificação	16
II.1.3.Desertificação x Impacto Ambiental	29
II.1.4.Indicadores da Desertificação	35
II.1.5.Núcleos de Desertificação	38
II.1.5.1.Núcleo de Desertificação do Seridó	43

	Página
II.1.6.O Domínio da Caatinga	43
II.2.Geodésia e Cartografia	48
II.2.1.O Sistema Geodésico Brasileiro – SGB	50
II.2.2.Mapeamento da Área de Estudo.....	51
II.3. Sensoriamento Remoto.....	52
II.3.1.Comportamento Espectral dos Solos	52
II.3.2. Albedo.....	57
II.3.3.Índices de Vegetação.....	58
II.3.4.Componentes Principais	60
 Capítulo III – Aspectos de Detecção de Áreas de Risco à Desertificação na	
Região do Seridó – RN/PB	
Resumo	62
Abstract	62
III.1.Introdução.....	63
III.1.1.As Tecnologias da Geoinformação e Desertificação.....	64
III.1.2.Núcleo de Desertificação do Seridó.....	64
III.2.Materiais e Métodos.....	66
III.2.1.Área de estudo.....	66
III.2.2.Georreferenciamento e Vetorização da Carta de Jardim do Seridó.....	67
III.2.3.Corregistro da Imagem de 2000.....	68
III.2.4.Interpretação Visual	68

	Página
III.2.5.Classificação da Imagens	70
III.2.6.Modelo Numérico de Terreno.....	70
III.2.7.Espacialização Climática	70
III.3.Resultados e Discursão.....	73
III.3. 1.Classificação das Imagens.....	74
III.4.Conclusões.....	79
Capítulo IV – Resposta e Mapeamento Espectral de Solos de uma Área Piloto	
no Núcleo de Desertificação do Seridó – RN/PB	84
Resumo	84
Abstract	84
IV.1.Introdução.....	85
IV .2.Materiais e Métodos.....	88
IV.2.1.Base Cartográfica	88
IV.2.2.Área de Estudo.....	90
IV.2.3.Amostragem dos solos e análise dos teores de Carbono Orgânico e Óxidos de Ferro.....	91
IV.2.4.Obtenção das Curvas Espectrais.....	93
IV.2.5.Análise por Componentes Principais.....	95
IV.2.6.Obtenção das Imagens de Albedo.....	96
IV.3.Resultados e Discursão.....	98
IV.3.1.Biblioteca Espectral.....	98

IV.3.2.Alterações no comportamento Espectral com a Profundidade.....	99
IV.3.3.Relações entre Comportamento Espectral, teores de Matéria Orgânica, Óxido de Ferro e a Granulometria.....	99
IV.3.4.Avaliação da Espessura da Camada de Solo.....	102
IV.3.5.Relação entre Albedo, Componentes Principais e Áreas degradadas	103
IV.4.Conclusões	105
IV.5.Referências Bibliográficas	106

Capítulo I

Introdução

Este capítulo apresenta uma contextualização do tema proposto para o estudo e a relevância da pesquisa e seus objetivos, incluindo uma abordagem sobre desertificação e os impactos causados ao meio ambiente. Também apresenta a organização do trabalho buscando direcionar as informações para que auxiliem em estudos futuros.

I. 1. Síntese da pesquisa

O espaço geográfico é produto dos processos naturais e da ação do homem. Este último transforma o espaço natural e modela o meio físico para atender as suas necessidades, consumindo os seus recursos naturais. O espaço humanizado é artificial e vem sendo produzido pela sociedade de acordo com o nível de desenvolvimento e com os sistemas econômicos dominantes; é produzido visando alcançar determinados fins que interessam à formação econômico-social da maioria. Analisando a evolução da humanidade, asseguramo-nos que essa transformação do espaço em que vivemos está modificando a própria natureza, resultando muitas vezes no desequilíbrio entre os elementos naturais como, solo, relevo, clima e hidrografia, onde se desenvolvem os vegetais e os animais.

“Em condições naturais, o solo coberto pela vegetação é pouco sujeito à processos de degradação, refletindo uma condição de equilíbrio ambiental do qual ele é um componente, assim como a cobertura vegetal”. (ROMEIRO, 2004). O uso progressivo de terras marginais do semi-árido nordestino, localizadas em áreas de relevo inadequado favorecendo a erosão dos solos e a redução da cobertura vegetal, associado as variações climáticas e as atividades humanas, degrada o meio ambiente. Esse consumo intensivo dos recursos naturais, cuja degradação ambiental crescente vem ocasionando processos de desertificação cada vez mais significativos tendo como conseqüência, impactos ambientais, sociais e econômicos, que correspondem à redução significativa de recursos hídricos e perdas físicas e químicas do solo, provocando migrações que acarretam em sérios impactos às zonas urbanas.

A desertificação atualmente afeta a um quinto da população mundial e a um terço da superfície terrestre. É assim que entre 6 e 7 milhões de hectares se perdem

anualmente por erosão e mais de 20 milhões de hectares estão afetados pela salinização, enquanto que em torno de 70% dos 5,2 bilhões de hectares de terras secas que se utilizam para a agricultura em todo o mundo já estão empobrecidas.

Os primeiros registros sobre desertificação datam de 2000 a.C., na Mesopotâmia, uma região que é considerada o berço de várias civilizações, onde se desenvolveram cidades e uma agricultura com base na irrigação em locais onde existiam florestas.

Na década de 30, decorrente de fenômeno ocorrido no meio-oeste americano, conhecido como **Dust Bowl**, onde intensa degradação dos solos afetou área de cerca de 380.000 km² nos estados de Oklahoma, Kansas, Novo México e Colorado, este fenômeno motivou os cientistas a iniciarem um conjunto de pesquisas e mencionarem tal processo como sendo o da desertificação, isto é, a formação de condições de tipo desértico em áreas de clima árido.

O problema da Desertificação só veio ganhar maior visibilidade com a ocorrência da grande seca do **Sahel**, entre os anos de 1967 e 1970, quando morreram mais de 200.000 pessoas e rebanhos inteiros de fome e desnutrição. Esta catástrofe desencadeou uma série de ações da ONU para combater a desertificação na região. Em 1977, em Nairóbi – Quênia, foi realizada a Conferência das Nações Unidas sobre Desertificação, que definiu as linhas do Plano de Ação de Combate à Desertificação – PACD, tendo como objetivo desenvolver ações no âmbito mundial, porém, avaliações feitas pelo PNUMA (Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente) em 1977, 1984 e 1991, revelaram uma base insuficiente de conhecimentos sobre os processos de desertificação.

Em 2003, durante a 6^a Conferência das Nações Unidas sobre Desertificação e Seca, em Havana, vários países discutiram os principais problemas ambientais e serviu de palco para expor os obstáculos e resistência encontrados na implantação da Agenda 21.

Desde essa época, os pesquisadores vêm dando atenção aos fenômenos que ocorrem nas regiões áridas e semi-áridas de todo os mundos, aquelas sujeitas a secas periódicas, e a constatação mais evidente é a de que essas áreas, por suas

características físicas e limitações naturais, concentram as populações mais pobres e estão sujeitas a maiores níveis de degradação.

No Brasil, as áreas susceptíveis à degradação são aquelas que correspondem às regiões semi-áridas, localizadas na Região Nordeste e no norte de Minas Gerais. No Nordeste, em particular, essas áreas totalizam 80% de sua extensão (125 milhões de hectares), das quais, 22% (34 milhões de hectares), são ocupadas pelo bioma Caatinga (BRASIL, 2003). Essas áreas são caracterizadas por evapotranspiração elevada, maior do que a precipitação média anual, ocorrência de períodos de seca, solos de pouca profundidade, baixa fertilidade e reduzida capacidade de retenção de água, limitando o seu potencial produtivo.

O bioma Caatinga, apesar de ser o único bioma exclusivamente brasileiro, é também um dos mais alterados pela ação do homem. Em contrapartida dentro os biomas, é o menos conhecido cientificamente e vem sendo tratado sem prioridade. Não obstante de ser um dos mais ameaçados devido ao uso inadequado e insustentável de seus solos e outros recursos naturais. Este bioma tem apenas 0,65% de sua área protegida por unidades de conservação.

Do ponto de vista sócio econômico deve-se ressaltar que, grande parte dessas áreas coincide com as áreas de pobreza, fazendo dos processos de perda da produtividade agrícola e da qualidade de vida, quadros assustadores. As perdas econômicas anuais devido à desertificação chegam a quatro bilhões de dólares e o custo para recuperação das terras em todo mundo chega a 10 milhões de dólares por ano, segundo dados das Nações Unidas (BRASIL, 2003). Outro dado agravante, segundo o PNUMA, é que o Nordeste tem cerca de 47 milhões de habitantes, dos quais 17 milhões vivem na região semi-árida. Estima-se que nos períodos de seca, 10 milhões de habitantes passam fome e sede (ONU, 2001).

A região tem um clima semi-árido, com altas temperaturas e pouca chuva (de 250 – 1000 mm/ano) que geralmente se concentra durante 3 – 5 meses. Submetidas a um regime de escassez e desigual distribuição de chuvas, uma das particularidades notáveis é a capacidade das plantas ali existentes de perderem as folhas na estação seca, como um mecanismo fisiológico de defesa contra a alta transpiração. Em contrapartida dentro os biomas, é o menos conhecido cientificamente e vem sendo

tratado sem prioridade. Não obstante de ser um dos mais ameaçados devido ao uso inadequado e insustentável de seus solos e outros recursos naturais. Este bioma tem apenas 0,65% de sua área protegida por unidades de conservação.

Parciais ou totais, a ocorrência de longos períodos de seca, provoca fortes impactos sobre a economia (em particular sobre as atividades agropecuárias), a população (reduzindo e, no limite, eliminando renda e emprego) e o meio ambiente (diminuindo ou eliminando a cobertura vegetal de amplas áreas, contribuindo para o aumento da erosão do solo, por natureza raso e pedregoso, em quase todas as partes da região).

A erosão do solo pela água causada pelo aumento da agricultura e campos de pastagens na vegetação de caatinga é o principal fator que contribui para desertificação no semi-árido do Brasil. A erosão do solo pela água remove a superfície do solo e expõe as camadas sub-superficiais que conduzem às mudanças em algumas propriedades químicas e físicas do solo, variando com a profundidade. A reflectância do solo é uma propriedade cumulativa que se deriva do comportamento espectral inerente da combinação heterogênea da matéria mineral, orgânica, e fluida que compreende os minerais dos solos (Stoner & Baumgardner, 1981). Os estudos numerosos descreveram as contribuições relativas à reflectância de solos naturais de parâmetros do solo tais como, a matéria orgânica, a umidade do solo, a distribuição de tamanho da partícula, a estrutura do solo, o índice do óxido do ferro, a mineralogia do solo, e o material de origem (Stoner & Baumgardner, 1981; Epiphany et al., 1992; Madeira Netto, 2001).

Diante do exposto, fica evidente que, combater a desertificação implica, fundamentalmente, desenvolver ações no sentido de controlar e prevenir o avanço do processo e, quando possível, recuperar as áreas degradadas. Para reduzir a perda por erosão e manter a produtividade agrícola, devem ser desenvolvidos métodos para avaliar, delinear e monitorar a erosão de forma rápida e precisa.

Técnicas de Sensoriamento remoto têm sido cada vez mais usadas nos trabalhos de levantamento de solos ao longo dos anos. Dados do satélite LANDSAT tem sido usados como complemento aos levantamentos de solos para pequena escala e inventários mais detalhados. Com os trabalhos desenvolvidos pelos Estados Unidos,

combinando técnicas de análises digital com o scanner multiespectral LANDSAT (MSS) somados aos esforços dos levantamentos, pesquisadores concluíram que essas técnicas têm grande potencial para examinar e medir quantitativamente áreas de solos severamente erodidos (Weismiller et al., 1985). Estes sensores possuem resolução espectral limitada, o que impossibilita a extração de informações mais detalhadas sobre o comportamento espectral dos alvos.

Embora o relacionamento entre propriedades químicas e físicas do solo com respostas espectral do solo no visível, na região do infravermelho e infravermelho médio fosse estabelecido em estudos de espectroscopia de laboratório, recentemente, imagens de sensores hiperspectrais têm sido disponibilizadas para a comunidade científica (NASA, 2006), com a possibilidade de uma melhor discriminação entre as feições espectrais presentes nos alvos. Também conhecido como Espectroscopia de Imageamento, estes sensores são projetados para detectar dados de reflectância dos alvos da superfície da terra em faixas estreitas, da ordem de 10 a 20nm e contíguas que vão de 400 a 2500nm, superando as limitações dos sensores multiespectrais.

Neste contexto, este estudo teve o propósito de contribuir com a pesquisa aplicada a mapear e analisar as áreas de risco passíveis de desertificação no semi-árido brasileiro, tomando como estudo de caso uma área denominada Núcleo de Desertificação do Seridó – RN/PB, utilizando tecnologias de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento.

I. 2.Objetivos

I. 2.1.Objetivo Geral

Analisar áreas de risco passíveis à desertificação no semi-árido brasileiro, fazendo uma abordagem conceitual, espacial e espectral do problema, utilizando técnicas de Sensoriamento Remoto numa área denominada “Núcleo de Desertificação do Seridó – RN/PB”.

I. 2.2.Objetivos Específicos

- Abordar conceitualmente a Desertificação e sua interdisciplinaridade;

- Mapear áreas de riscos à Desertificação do Seridó – RN/PB com base em dados de Sensoriamento Remoto.
- Estudar comportamento espectral dos solos em função das alterações nas características físico-químicas provocadas pela degradação;
- Interpretação dos dados da biblioteca espectral visando avaliar as perdas de solo por erosão;

I. 3.Relevância da Pesquisa

O Estado do Rio Grande do Norte possui mais da metade de seu território inserido nas categorias grave e muito grave de ocorrência de desertificação, sendo aproximadamente 6% dessa área, somadas aos 3% das áreas do Estado da Paraíba sob as mesmas condições, consideradas como núcleo de existência desse fenômeno – Núcleo de Desertificação do Seridó.

Diante da complexidade do processo e dos seus reflexos em escala ambiental, social e econômica, na maioria das vezes irreversíveis, as ações de monitoramento e combate à desertificação e a mitigação dos efeitos da seca, através da adoção de medidas rápidas e eficazes, têm sido cada vez mais acentuadas, baseadas na Convenção de Combate à Desertificação – CCD, do qual o Brasil é membro desde 1997.

Do ponto de vista acadêmico, o trabalho busca a geração de informações que contribuam para novos estudos sobre as questões ambientais que afetam a população e sua qualidade de vida. Do ponto de vista prático, visa disponibilizar informações sobre as áreas susceptíveis à desertificação, promovendo o monitoramento e mapeamento dessas áreas com base em técnicas de Cartografia e Geodésia, em especial o Sensoriamento Remoto.

I. 4.Organização da Dissertação

Objetivando a compreensão do trabalho, foi feito o desdobramento em capítulos. Neste contexto, este capítulo apresenta uma síntese da pesquisa, seus objetivos e relevância, bem como sua organização.

Para fundamentar a pesquisa, o **Capítulo II** apresenta o embasamento teórico, onde são enfocados aspectos relativos à desertificação, considerando seus aspectos históricos, definições e indicadores e trazendo uma avaliação sobre o tema e seus impactos sócio-ambientais. Ainda neste capítulo foi dada uma atenção aos aspectos ambientais associados às técnicas de Sensoriamento Remoto, fazendo uma abordagem sobre comportamento espectral do solo, sob o ponto de vista da Geodésia e Cartografia.

O **Capítulo III** apresenta um artigo intitulado “**Uso e ocupação do solo no núcleo de desertificação do Seridó – RN/PB: uma análise multitemporal**”, exemplificando uma aplicação para mapear e analisar áreas susceptíveis à desertificação na região do Núcleo de Desertificação do Seridó – RN/PB, considerando técnicas de sensoriamento remoto, classificação supervisionada, modelo digital de terreno e pluviosidade para detectar mudanças na cobertura do solo.

O **Capítulo IV** traz no artigo “Resposta e mapeamento espectral de solos de uma área piloto do núcleo de desertificação do seridó – RN/PB”, uma avaliação da variação na resposta espectral do solo com aumento da profundidade e sua relação com os índices de carbono orgânico e óxido do ferro presentes no solo, uma análise das mudanças sob o ponto de vista de técnicas utilizando albedo e componentes principais, objetivando avaliar a espessura do solo removido pela erosão usando as características espectrais da reflectância obtidas no laboratório.

Capítulo II

Embasamento Teórico

Neste capítulo apresenta-se a fundamentação teórica dos temas considerados importantes para o desenvolvimento do trabalho. Esta fundamentação envolve aspectos relacionados à desertificação, como seus indicadores e aspectos sócio-ambientais, conceitos de Cartografia, Geodésia e Sensoriamento Remoto, destacando o comportamento espectral dos alvos e técnicas como classificação supervisionada, NDVI e componentes principais.

II.1.Desertificação

II.1.1.Aspectos Históricos

A desertificação é uma forma extrema de degradação da terra, quando a cobertura vegetal se completamente danificada, enquanto que a degradação de terras pode ser qualquer atividade que comprometa o equilíbrio do ambiente natural. Vários podem ser os agentes degradantes do ambiente, mas, o homem, tanto o humilde quanto o sedento de poder são as maiores ameaças ao meio ambiente. (SILVA, 1999, p.40).

Obstante de ser um problema recente, os primeiros registros da desertificação datam de 2000 a.c., na Mesopotâmia, região que é considerada berço de várias civilizações, onde se desenvolveram cidades e uma agricultura com base na irrigação em locais onde existiam florestas. A degradação do solo é algo tão antigo quanto a civilização: na literatura Suméria, há mais de 4000 anos, há evocações e descrições sobre a desertificação. (SECRETARIAT OF UNITED NATIONS CONVENTION TO COMBAT DESERTIFICATION, 2000).

A palavra desertificação foi utilizada pela primeira vez pelo francês A. Aubreville, em 1949 (RHODES, 1991), para referir-se a áreas em processo de degradação, em decorrência do uso predatório de seus recursos, na África tropical. (CONTI, 1998).

Segundo o Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura – IICA, a desertificação começou a ser discutida pela comunidade científica nos anos 30,

decorrente de um fenômeno ocorrido no meio do oeste americano, conhecido como Dust Bowl, onde intensa degradação dos solos afetou uma área de aproximadamente 380.000km², nos estados de Oklahoma, Kansas, Novo México e Colorado. Este fenômeno motivou os cientistas a iniciarem um conjunto de pesquisas e mencionarem tal processo como sendo a desertificação.

No período de 1931 a 1934, em Dust Bowl, o fenômeno provocou mais de 200 tempestades de poeira densa (Figura II.1), com ventos de até 120 milhas por hora, criando redemoinhos de mais de 6 metros de altura, sendo atribuídas como causas principais o vento e a seca. Na verdade, o grande motivo foram os séculos de práticas agrícolas inadequadas, com aragem de terras em sulcos longos e retos, deixando os campos desnudos para a prática da agricultura.



Figura II.1: Tempestade de pó ocorrida na região de Dust Bowl

Fonte: www.cccok.org

Somente no final da década de 60, quando em uma região conhecida como Sahel - região fronteiriça entre o deserto do Saara e uma porção de terras férteis ao sul do mesmo, mais precisamente uma zona de aproximadamente 400km de largura, que abrange Cabo Verde e porções territoriais do Senegal, Mauritânia, Mali, Burkina Faso, Nigéria, Chade e Sudão (RHODES,1991) – ocorreu uma grande escassez de chuvas que perdurou por cerca de 6 anos (1968-1973), levando centenas de milhares de pessoas a morrerem de fome, o mundo reconheceu os impactos sócio-econômicos e ambientais devastadores (Figura II.2) do problema.

O tema passou a ser objeto de preocupação dos cientistas em todo o mundo e por isso, em 1977, realizou-se a 1ª Conferência Internacional das Nações Unidas para

o Combate à Desertificação, na cidade de Nairobi, no Quênia. Constituiu-se um esforço coordenado no sentido de melhor compreender a desertificação e, quais os meios de identificação do processo e procedimentos para contenção de seu avanço. Na época conclui-se que um terço do mundo já eram constituídas por desertos e, anualmente, outras grandes áreas, cerca de 50000km², se desertificavam.(VASCONCELOS SOBRINHO,1978a; BRASIL, 1978).



Figura II.2: Desertificação no Sahel - Senegal

Fonte: UNESCO, 2004

O agravamento do fenômeno da desertificação possibilitou, durante a Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento – CNUMAD, a negociação de uma Convenção Internacional de Combate à Desertificação, cuja implementação teve início em 1996. Em 1997, realizou-se a primeira reunião da Convenção de Desertificação em Roma. Na conferência, definiu-se que o fenômeno da desertificação ocorre mais em consequência das ações antrópicas do que por variações climáticas (ONU, 2000).

Visando assegurar a implementação de todos os compromissos assumidos a CCD também criou a Conferência das Partes – COP – órgão máximo da convenção, que tem competência para tomar decisões necessárias para promover a aplicação efetiva da convenção e facilitar o intercâmbio das informações. Em 1999, em Olinda, aconteceu a 3ª Sessão da Conferência das Partes da Convenção de Desertificação – COP 3. O encontro contou com a participação de 190 países, além de vários setores da sociedade a fim de definir conceitos e propor soluções. (PERNAMBUCO, 1999).

Desde a sua criação já ocorreram oito seções da COP, a última delas em Curitiba Brasil.

Segundo França(1995) o fato da Convenção ser um instrumento juridicamente obrigatório para os países signatários, garante o cumprimento de uma série de compromissos, ao contrário de uma Conferência, em que a adesão é voluntária. França destaca ainda que a Convenção acentua a importância das comunidades locais e da sociedade organizada na tomada de decisões relativas ao tema, ressaltando o aproveitamento de experiências. Ao prever a elaboração e implementação de programas nacionais de ação para combater a desertificação e mitigar os efeitos da seca, ela destaca a necessidade desses programas fazerem parte das políticas nacionais e regionais de desenvolvimento sustentável.

A desertificação passou a ser estudado no Brasil na década de 1970, tendo sido o professor Vasconcelos Sobrinho o pioneiro na indicação de núcleos de desertificação no Brasil (SAMPAIO, 2003, p. 100) e, em 1974, era publicado “O Grande Deserto Brasileiro”, obra de sua autoria. Foi em 1977 que a SUDENE, com a colaboração de Vasconcelos Sobrinho, iniciou o estudo das áreas em processo de desertificação (BRASIL, 2004). A tabela II.1 faz uma breve explanação de eventos relacionados ao combate à desertificação, que ocorreram no Brasil após 1977.

Tabela II.1: Breve explanação de eventos relacionados ao combate à desertificação que ocorreram no Brasil após 1977

Evento	Quando Ocorreu	Local
Conferência internacional sobre variações climáticas e desenvolvimento sustentável no semi-árido – ICID. Essa conferência contou com a participação de representantes de mais de 70 países e, com ela, países afetados pela desertificação consolidaram suas bases técnicas e políticas para reivindicar a celebração de uma Convenção específica para as regiões áridas e semi-áridas.	Janeiro - fevereiro 1992	Fortaleza
Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento – CNUMAD (ECO-92). Negociação de uma Convenção de Combate a Desertificação, proposta pelos países africanos.	jun/92	Rio de Janeiro

ONGs dos cinco continentes, reunidas no fórum paralelo à ECO-92, elaboraram 46 “tratados”, dentre os quais, o “Tratado sobre as Zonas Áridas e Semi-Áridas”. Tal tratado menciona em seus princípios que as regiões áridas e semi-áridas são ecossistemas complexos, capazes de propiciar uma boa qualidade de vida para seus habitantes, desde que se adote uma concepção de desenvolvimento que seja socialmente justo, ecologicamente sustentável e culturalmente <u>apropriado</u> .	jun/92	Rio de Janeiro
Conferência Nacional e Seminário Latino-Americano da Desertificação – CONSLAD; representantes de governos e da sociedade civil latino-americanos formulam e negociam o texto final do “Anexo Regional da América Latina”.	Fevereiro 1994	Fortaleza
Adesão formal do Brasil à Convenção de Combate a Desertificação.	15 de outubro de 1994	Brasília
O Congresso Nacional ratifica a CCD (Convenção das Nações Unidas de combate à desertificação nos países afetados por seca grave e/ou desertificação, particularmente na África).	25 de junho de 1997	Brasília
A CCD entra em vigor no Brasil.	24 de setembro de 1997	Brasília
Realização da COP 3 (3º Conferência das Partes da Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação), com elaboração de metas de médio prazo a serem cumpridas pela CCD. Elaboração da “Declaração do Semi-árido”, através de um fórum paralelo promovido pela sociedade civil.	Novembro de 1999	Recife
Criação do Grupo de Trabalho de Combate a Desertificação – da Articulação no Semi-árido Brasileiro – GTCD/ASA, visando articular <u>as ações da sociedade civil no que diz respeito à desertificação</u> .	Abril de 2002	Recife
Convênio firmado entre a Fundação Grupo Esquel/Brasil (FGEB), o Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura (IICA), o Banco Interamericano para o Desenvolvimento (BID) e o fundo especial do Governo do Japão, objetivando a execução do programa de combate à desertificação e mitigação da seca na América do Sul (envolvendo 06 países: Argentina, Bolívia, Brasil, Chile, Equador e Peru).	Setembro de 2002	Brasília
Encontro dos Núcleos de Desertificação do Semi-árido Brasileiro. Foi a primeira vez que representantes de entidades da sociedade civil, dos núcleos de desertificação, encontraram-se com a finalidade de <u>debater sobre o tema</u> .	Junho de 2003	Salgueiro (Pernambuco)
Processo de construção gradual e de maneira participativa do PANBRASIL, até seu lançamento, durante a Conferência Sul-Americana sobre desertificação.	Junho de 2003 a agosto de 2004	Brasília Fortaleza

Fonte: MMA, 2003

II.1.2. Definições da Desertificação

Segundo Vasconcelos Sobrinho (1979), **“desertificação é o processo de degradação progressiva da cobertura vegetal, do solo e do regime hídrico resultante das condições climáticas e edáficas, ou da ação do homem, ou ambas as coisas conjuntamente, conduzindo à destruição dos ecossistemas primitivos, a redução de sua produtividade e da capacidade de se recuperarem”**.

Retallack (1990) conceitua a desertificação como um processo de deterioração ambiental, resultante do rompimento da estabilidade de uma paisagem, dando origem a eventos catastróficos de erosão de vertentes, desnudação de solos cultiváveis, formação de campos de dunas, etc. que são fenômenos comparados a um deserto.

Este conceito pode ser expandido, considerando que, segundo Sant’Ana (2003a), a degradação da terra é **“a degradação dos solos, principalmente por erosão, compactação e salinização; degradação dos recursos hídricos; degradação da vegetação, com crescimento cada vez menor e mais demorado; degradação da biodiversidade, com menos espécies e menor capacidade de regeneração. Significa, por fim, a redução da qualidade de vida das populações afetadas pelo conjunto combinado desses fatores”**.

A discussão conceitual sobre desertificação evoluiu durante os anos 80 e se consolidou no documento discutido e aprovado durante a Conferência do Rio em 1992, a Agenda 21.

De acordo com o documento resultante da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento - CNUMAD, a Agenda 21, em seu capítulo 12, o termo desertificação pode ser definido como sendo **“a degradação da terra nas zonas áridas, semi-áridas e sub-úmidas secas resultantes de fatores diversos tais como as variações climáticas e as atividades humanas”**. O documento ressalta ainda que **“a desertificação atualmente afeta cerca de um quarto da área terrestre total do mundo, são áreas caracterizadas por baixo potencial de sustento para homens e animais”** (SAMPAIO & SAMPAIO, 2002).

Ainda durante a Rio-92, vários países com problemas de desertificação propuseram à Assembléia Geral que aprovasse a negociação de uma Convenção Internacional sobre o tema. A Assembléia Geral aprovou a negociação da Convenção, que foi realizada a partir de janeiro de 1993 e finalizada em 17 de junho de 1994, data que se transformou no Dia Mundial de Luta contra a Desertificação (Figura II.3).

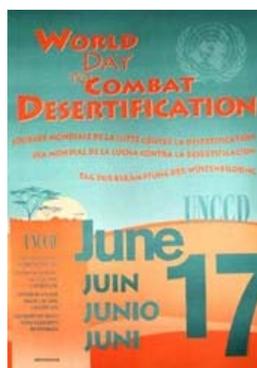


Figura II.3: Dia Mundial de Combate à Desertificação

Fonte: www.unccd.int

O texto da Convenção Internacional de Combate à Desertificação também define que a desertificação pode ocorrer em função da degradação da terra, das zonas climáticas específicas e dos fatores resultantes de processos antrópicos, podendo se manifestar em qualquer parte do planeta, com exceção das zonas polares e subpolares, sendo tecnicamente estabelecido que o Índice de Aridez (ou seja, uma razão entre a precipitação anual e a evapo-transpiração potencial) compreendida entre 0,05 e 0,65 caracteriza regiões enquadradas no escopo de aplicação da Convenção, sendo este índice adotado para o Atlas Mundial da Desertificação do PNUMA – uma referência mundial sobre o tema (Figura II.4).



Figura II.4: Atlas Mundial da Desertificação

Fonte: www.panda.igeo.pt

A palavra desertificação vem sendo acometida por erros de interpretação. Para alguns significa que os desertos do mundo estão crescendo, cobrindo superfícies cada vez maiores de terras férteis. Realmente os limites dos desertos podem se expandir ou retrair, como resultado das variações climáticas, mas, não é o caso. O processo de desertificação é mais abrangente, ocorrendo muitas vezes em áreas distantes dos desertos, isoladas, representadas às vezes por pequenas porções, onde os solos ficam empobrecidos e reduzida capacidade de regeneração, como consequência da utilização de práticas inadequadas (SCHENKEL E MATALLO JUNIOR, 1999).

Verifica-se um *déficit* profundo de água e/ou ausência de vegetação em áreas desertificadas, provenientes de alterações climáticas ou de atividades humanas, principalmente o desmatamento (VIEZZER e OVALLES, 1995). As secas e a desertificação são distintas nas suas causas e efeitos, podemos considerar a desertificação como sendo um processo cumulativo de deterioração nas condições ambientais, que em determinados estágios, afeta as condições sócio-econômicas. A ação antrópica tem um papel decisivo na sua instalação e avanço e, de maneira geral, na sua reversibilidade, que raramente ocorre de forma espontânea, sem que pelo menos as ações prejudiciais sejam suspensas ou reduzidas. No caso da seca, esta pode ser absorvida como um fenômeno natural reversível, de ocorrência esporádica, numa periodicidade complexa. No entanto, os efeitos da seca que perduram além do seu período, podem ser classificados como parte do processo de desertificação. (SAMPAIO *et al.*, 2003)

Globalmente, a área afetada pela seca aumentou mais de 50% durante o século XX, enquanto as mudanças sobre as áreas úmidas permaneceram relativamente inalteradas. É importante ressaltar que enchentes e secas andam lado a lado. Particularmente, a seca é um fenômeno natural, cuja duração e extensão apresenta um caráter aleatório. Apesar disso, cientistas atribuem alguma relação com o fenômeno El Niño. Durante os eventos do El Niño, a seca é endêmica na Austrália, Indonésia, sudeste da Ásia, Nordeste do Brasil, e partes da África. Já, durante o evento La Niña, as localizações preferenciais de seca mudam para outras partes do mundo, incluindo a América do Norte e do Sul. Essas mudanças levam a uma excessiva pressão sobre os recursos naturais e adoção de estratégias de sobrevivência que exaurem os recursos pelo uso da terra, cujas causas imediatas são

o uso inapropriado e a degradação do solo, água e vegetação; perda da diversidade vegetativa e biológica, afetando a estrutura e a função do ecossistema.

II.1.3. Desertificação x Impacto ambiental

A discussão das causas e conseqüências da desertificação, degradação de terras e ocorrência de secas é um assunto complexo e ainda pouco entendido. A seca ocorre freqüentemente em áreas afetadas pela desertificação, correspondendo a uma característica do clima regional, no que se refere às suas principais determinações causais. A relação entre desertificação e seca, por um lado, e a influência humana, de outro, ainda não foram completamente explicadas. Secas ocasionais (devidas à sazonalidade ou às variações interanuais das chuvas) e secas severas de longos períodos podem ser causadas ou agravadas pela influência humana sobre o meio ambiente (redução da cobertura vegetal, mudança do efeito de albedo, mudanças climáticas locais, efeito estufa, etc.). Assim, as atividades humanas contribuem para acelerar o processo de desertificação, agravando suas conseqüências negativas sobre as pessoas.

Conforme propõe a FAO (2003), as ações de degradação da terra, induzidas pelo homem, podem ser entendidas como, a degradação das populações animais e vegetais, a degradação do solo por efeito físico ou químico, a degradação das condições hidrológicas devido à perda da cobertura vegetal, degradação das condições geomorfológicas (águas subterrâneas) e a degradação da infra-estrutura econômica e da qualidade de vida dos assentamentos (Figura II.5).



Figura II.5: Área Desmatada na Fazenda Canto Alegre (Seridó – RN/PB)

Além de serem correlacionados, esses problemas desencadeiam outros, de extrema gravidade para a região. É o caso do assoreamento de cursos d'água e reservatórios provocados pela erosão, que, por sua vez, é desencadeada pelo desmatamento e por atividades econômicas desenvolvidas sem cuidados com o meio ambiente.

Sampaio et al (2003) cita a erosão do solo como uma das principais causas da desertificação, considerando que **“é a mais irreversível das deteriorações porque a formação do solo é um processo muito lento e as camadas atuais, em geral, são o resultado de centenas ou milhares de anos. Uma redução drástica na camada pode levar a uma espessura incompatível com muitas espécies de plantas”**.

Os pesquisadores concluíram que o fenômeno da Desertificação pode ser visto como um círculo vicioso de degradação crescente, onde a erosão causa a diminuição da capacidade de retenção de água pelos solos, que leva à redução de biomassa, com menores aportes de matéria orgânica ao solo; este se torna cada vez menos capaz de reter água, a cobertura vegetal raleia e empobrece, a radiação solar intensa

desseca ainda mais o solo e a erosão se acelera, promovendo a aridez. Trata-se de um processo de simplificação ecológica, onde a ação do homem tem tido papel fundamental, acelerando seu desenvolvimento e agravando as conseqüências através de práticas inadequadas de uso dos recursos naturais.(NEBEL; WRIGHT,1998).

Segundo Nebel e Wright (1998), as principais práticas que expõem o solo à ação da erosão são:

- Sobrecultivo – a demanda econômica ou alimentar causam o abandono da rotação de culturas, a degradação e a erosão excedem o processo regenerativo do solo, provocando um gradual declínio em sua qualidade.
- Desmatamento – se uma floresta é cortada e o solo fica desnudo, gotas de chuva saturam a camada arável do solo e uma massa de água escorre por declives, conduzindo um subsolo barrento, que continua a erodir (Figura II.6). O desmatamento, que além de comprometer a biodiversidade, deixa os solos descobertos e expostos à erosão, ocorre como resultado das atividades econômicas, seja para fins de agricultura de sequeiro ou irrigada, seja para a pecuária, quando a vegetação nativa é substituída por pasto, seja diretamente para o uso da madeira como fonte de energia (lenha e carvão)
- Pastoreio excessivo – áreas que recebem poucas chuvas, não indicadas para apoiar o cultivo agrícola, têm tradicionalmente sido desmatadas para o pasto. Muitas vezes, as terras sofrem com a prática excessiva da ação de pastar, fazendo com que a produção de pasto por parte do solo seja insuficiente, falha, no atendimento à demanda, causando o empobrecimento do mesmo. Isso pode ser interpretado como a degradação do solo, com possível perda difusa da cobertura vegetal que serve de alimento para os animais e posterior ação erosiva por parte do vento e da água.

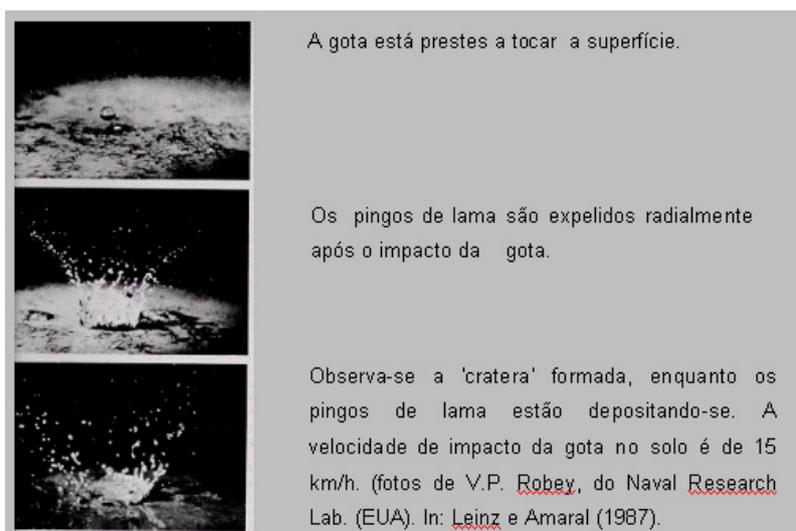


Figura II.6: Processo de erosão hídrica do solo

Fonte: <http://sidklein.vilabol.uol.com.br/pos/dint.htm>

Além das práticas acima mencionadas, também a irrigação inadequada é tida como sendo uma atividade que favorece o desenvolvimento do processo de desertificação. A irrigação mal conduzida provoca a salinização dos solos, inviabilizando algumas áreas e perímetros irrigados do semi-árido, o problema tem sido provocado tanto pelo tipo de sistema de irrigação, muitas vezes inadequado às características do solo, quanto, principalmente, pela maneira como a atividade é executada, fazendo mais uma molhação do que irrigando.

A partir da classificação de Harold E. Dregne, Conti (2003) apresenta critérios ambientais para estabelecer categorias de intensidade de desertificação (Tabela II.2).

Os impactos ambientais da desertificação podem ser visualizados através da destruição da biodiversidade (flora e fauna), da diminuição da disponibilidade de água, através do assoreamento de rios e reservatórios e da perda física e química dos solos. Todos esses fatores reduzem a capacidade e fertilidade da terra, diminuindo a produção, agrícola e animal e, portanto, afetando as populações.

Do ponto de vista biológico e ecológico, o processo de desertificação representa, sobretudo uma ameaça ao conjunto da biosfera. O volume de biomassa (quantidade de organismos vivos presente no meio) é diretamente proporcional à atividade de biosfera, de modo que a escassez de organismos vivos, especialmente

vegetais, indicaria a incidência do ambiente árido e o agravamento dessa condição. Em outras palavras, o declínio da atividade biológica, ou do volume de biomassa, corresponderia ao avanço do processo de desertificação. Em seguida, seria instalada uma reação em cadeia, com a mineralização do solo, o agravamento do trabalho erosivo, a invasão maciça de areia e outros processos, que acabariam por degradar o ambiente de forma generalizada e criar condições semelhantes às dos desertos.

Tabela II.2: Intensidade da Desertificação

GRAU	CARACTERIZAÇÃO	% DE INCIDÊNCIA
Fraca	Pequena deterioração da cobertura vegetal e dos solos	18,0
Moderada	Grande deterioração da cobertura vegetal e surgimento de nódulos de areia. Indícios de salinização dos solos. Voçorocamento.	53,6
Severa	Severa ampliação das áreas sujeitas a voçorocamentos e surgimentos de dunas. Avanço da erosão eólica.	28,3
Muito Severa	Desaparecimento quase completo da biomassa. Impermeabilização e salinização intensa dos solos.	0,1

Fonte: Dregne, 1977 apud Conti, 2003.

A desertificação ecológica ocorre quando os ecossistemas perdem sua capacidade de regeneração, verificando-se a rarefação da fauna e a redução da superfície coberta pela vegetação, seguida do empobrecimento dos solos e da salinização.

Os prejuízos sociais podem ser caracterizados pelas importantes mudanças que a crescente perda da capacidade produtiva provoca nas famílias. Nesse cenário, têm sido marcantes, principalmente até a década de 80, as migrações para outros Estados como alternativa à dificuldade de sobrevivência para a população mais vulnerável no semi-árido, sendo que, nos últimos anos e nas últimas secas, tem sido registrado um fluxo maior para as cidades de porte médio na Região Nordeste e para

as grandes cidades do Centro-Sul, incrementando os cinturões de pobreza dos centros urbanos.

As migrações desestruturam as famílias e afetam as zonas urbanas, que quase sempre não estão em condições de oferecer serviços às massas de migrantes que para lá se deslocam. A população atingida caracteriza-se por alta vulnerabilidade, já que estão entre os mais pobres da região e com índices de qualidade de vida muito abaixo da média nacional.

Estudos desenvolvidos pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) na África mostraram que as perdas econômicas devidas à desertificação são da ordem de US\$ 7,00/ha./ano para as áreas de pastos nativos, US\$ 50,00/ha./ano para a agricultura de sequeiro e US\$ 250,00/ha./ano para agricultura irrigada. Aplicando os parâmetros do PNUMA às áreas desertificadas no Brasil, o total das perdas seria de cerca de US\$ 290 milhões por ano. Já os custos de recuperação são bem mais elevados. Estima-se que, para as áreas afetadas, seriam necessários US\$ 3,8 bilhões.

Da Tabela II.3, verifica-se que a atuação da Convenção restringe-se, portanto, às regiões áridas, semi-áridas e sub-úmidas secas do mundo, somando cerca de 1/3 de toda a superfície do planeta, ou mais de 5 bilhões de ha (51.720.000 km²), afetando direta e indiretamente mais de 100 países, excluindo desse total os desertos, que somam 9.780.000 km², ou 16% da superfície do globo (BRASIL, 2003).

ANDRADE (1999) afirma que o grau de aridez de uma região para outra, no entanto, é muito variável, “havendo aquelas classificadas como hiper-áridas, onde a umidade é muito baixa durante todo ano” e outras consideradas apenas áridas com chuvas esporádicas e, ainda, outras áreas semi-áridas, “quando a estação úmida é curta, de três a quatro meses por ano, permitindo o desenvolvimento de culturas de ciclo vegetativo curto”, situação esta mais próxima da realidade do semi-árido brasileiro.

Tabela II.3 - Categorias de clima de acordo com o índice de aridez

Categoria	Índice de Aridez
Hiper-Árido	< 0,05
Árido	0,05 - 0,20
Semi-Árido	0,21 - 0,50
Sub-úmido seco	0,51 - 0,65
Sub-úmido e úmido	> 0,65

Fonte: MMA, 2003.

Entretanto, convém observar que “a aridez ou a semi-aridez, não tornam estas terras improdutivas, apesar da pobreza dos solos em matéria orgânica, uma vez que os mesmos podem ser enriquecidos com adubos orgânicos ou podem ser irrigados” (ANDRADE, 1999), como ocorre em diversos países do mundo. Isto permite afirmar, então, que a variação da suscetibilidade à desertificação não pode ser unicamente expressa pelo índice de aridez, uma vez que outros fatores, como por exemplo, as atividades humanas sobre os recursos naturais, podem intervir. Assim, há que se considerar que mesmo atendendo aos pesquisadores, a Convenção da ONU precisa de adequações às diversas realidades regionais, podendo haver uma ampliação posterior do conceito de desertificação então adotado.

No Brasil, as áreas susceptíveis à desertificação, inicialmente ligadas somente ao fenômeno das secas, podiam ser observadas em várias partes da Região Nordeste. Por incidirem, com mais frequência em determinadas áreas, e por ter o Governo Federal de atender às suas populações, o conjunto dessas áreas foi denominado, em 1936, em conformidade com a Lei nº 175, de 01.01.1936, de Polígono das Secas. Tomando como área oficial de ocorrência das secas, o polígono chegou a abranger, em 1989, uma superfície de 1.085.187km², correspondente a 64,9% da área de jurisdição da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste – SUDENE. A área de jurisdição da Sudene, intitulada Nordeste da Sudene, teve sua superfície de 1.662.947km², vigente em 1980, ampliada em 1998, em mais 97.714,30km². Com esses acréscimos, o Nordeste da Sudene cobria, em 1998, uma superfície de 1.760.661,30km².(CARVALHO;SANTOS, 2003). Entretanto, de acordo com os outros documentos esta área de ampliação efetuada conforme a Lei nº 9.690

de 15.07.1998, foi de 134.118,00km², passando então a uma superfície de 1.797.065,00km². A tabela II.4 mostra a área de atuação da Sudene.

Tabela II.4: Área de atuação da SUDENE

ESTADOS	Área Terrestre		
	Absoluta (km ²)	(% das Áreas	
		Sudene	Brasil
Maranhão	331918,6	18,5	3,9
Piauí	251311,2	14,0	2,9
Ceará	145712,3	8,1	1,7
Rio Grande do Norte	53077,3	3,0	0,6
Paraíba	56341,0	3,1	0,7
Pernambuco	98525,7	5,5	1,2
Alagoas	27818,9	1,5	0,3
Sergipe	21962,4	1,2	0,3
Bahia	564272,3	31,4	6,6
NORDESTE	1550939,7	86,3	18,1
Minas Gerais	200078,1	11,1	2,3
Espírito Santo	46047,2	2,6	0,5
Área da Sudene	1797065,0	100,0	21

Fonte: MMA, 2004

As áreas mais afetadas pelas secas no Nordeste são aquelas que se encontram sob influência direta da Zona de Convergência Intertropical-ZCIT, quer se trate de secas anuais ou plurianuais. As evidências empíricas disponíveis indicam que a variabilidade climática decorrente da ação da ZCIT é combinada com os fatores que determinam o regime pluviométrico na Zona da Mata e no Nordeste meridional. Quando essa conjunção de fatores se articula é que ocorrem as secas de amplas proporções – anuais (como as de 1951, 1958 e 1970) e plurianuais (como a de 1979-1983). Nelas, os solos são relativamente mais pobres do que nas demais zonas geoeconômicas do Nordeste – Zonas da Mata, do Agreste ou dos Cerrados da Bahia. Ali, a precipitação pluviométrica gira em torno de 400 a 700 ou 800 mm de chuvas anuais. No interior das áreas afetadas pelas secas há um espaço, já denominado de “miolão semi-árido”, onde as secas ocorrem com frequência entre 81 e 100%. (Figura II.7) Nesse espaço, a variabilidade climática é extremamente acentuada.

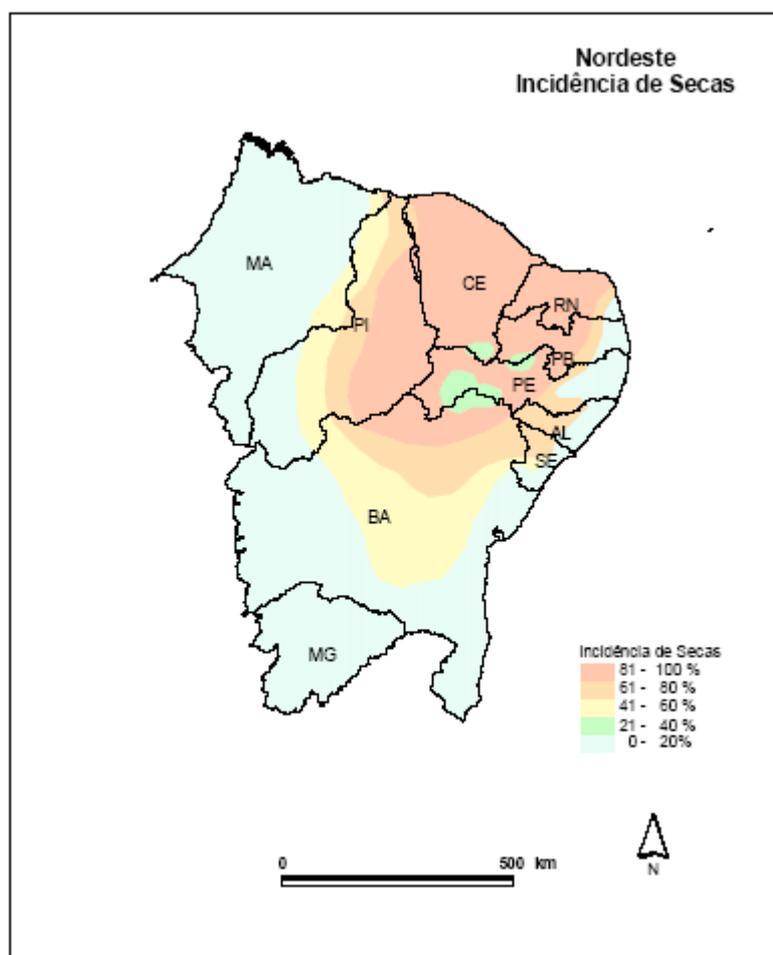


Figura II.7: Incidência de secas no Nordeste

Fonte: MMA, 2004

Essas áreas foram cultivadas, até meados dos anos de 1970, pelas atividades do consórcio gado-algodão-lavouras alimentares. Os trabalhadores e pequenos proprietários que viviam das atividades desse complexo tiravam seu sustento da parte que lhes tocava no cultivo do algodão e das lavouras alimentares. A desorganização dessas atividades foi levada ao seu limite como resultado dos impactos da seca de 1979-83, reforçada pela entrada da praga do bicudo 11 nos algodoads do semi-árido, a partir de 1980. Desde então, a agricultura dessa região perdeu uma de suas principais fontes de renda e de emprego. (Carvalho, 1988.)

Certo é que as áreas semi-áridas do Nordeste adquiriram notoriedade devido à ocorrência de secas e à relativa escassez de recursos naturais. Por se tratar de espaço densamente povoado, têm se notabilizado também por seu elevado grau de

pobreza. São consideradas como um dos espaços semi-áridos mais povoados do mundo, na observação feita por Jean Dresch, em 1956, registrada pelo professor Aziz Ab'Saber, durante o Congresso Internacional de Geografia, ocorrido naquele ano na cidade do Rio de Janeiro. Os espaços semi-áridos do Nordeste apresentam, além disso, a maior abrangência físico-territorial, vis-à-vis os outros espaços naturais que conformam e estruturam o Nordeste brasileiro.

Os critérios utilizados na delimitação da área oficial de ocorrência de secas no Nordeste foram alterados a partir da Constituição de 1998. com a aprovação, em 1989, da Lei que instituiu o Fundo Constitucional de Financiamento do Nordeste – FNE, o espaço de ocorrência de secas no Nordeste passou a ser denominado de Região Semi-Árida do FNE. A partir de 1989 a Sudene praticamente deixou de utilizar a figura do Polígono das secas como referência a área oficial de ocorrência de secas, passando a produzir informações para a Região Semi-árida do FNE, conforme determinações contidas no inciso IV, do Art. 5º da Lei nº 7.827, de 27.09.1989. (CARVALHO; SANTOS,2003).

Vale ressaltar que a área oficial de ocorrência das secas e a Região Semi-árida do FNE (Figura II.8) são equivalentes e que estão inseridas na área de atuação da Sudene, com precipitação média igual ou inferior a 800mm. As áreas semi-áridas do Brasil (Figura II.9) adquiriram notoriedade devido à ocorrência de secas e relativa escassez de recursos naturais. Afetam no todo ou em parte os Estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e Minas Gerais. Começou a afetar, de forma mais visível, partes do Estado do Maranhão, durante a seca ocorrida no período 1979-1983. Outras ocorrências menores também foram observadas no Maranhão em algumas das secas anuais da década de 1990.

O processo de desertificação se manifesta de duas maneiras diferentes: i) difusa no território, abrangendo diferentes níveis de degradação dos solos, da vegetação e dos recursos hídricos; ii) concentrada em pequenas porções do território, porém com intensa degradação dos recursos da terra.

O desenvolvimento das atividades de preparação do Plano Nacional de Combate à Desertificação - PNCD leva em consideração estes dois níveis de

ocorrência do fenômeno, sendo que as ações requeridas para cada um deles serão de naturezas diferentes.

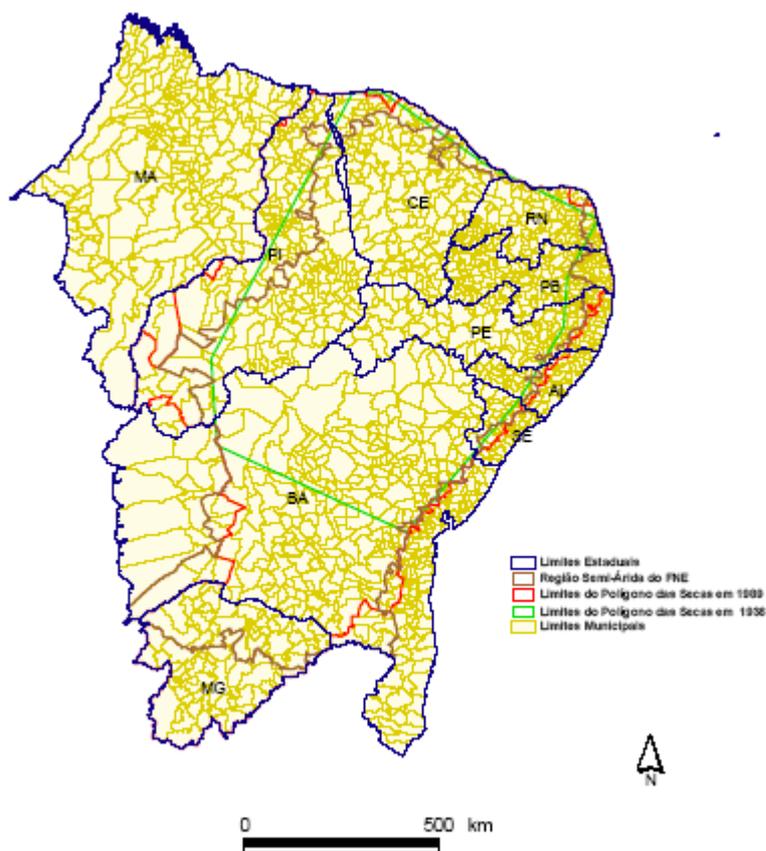


Figura II.8: Limite do Polígono das Secas e Região Semi-árida do FNE

Fonte: MMA, 2004



Figura II.9 – Localização do Trópico do Semi-árido no Brasil.

Fonte: IBAMA, 2003.

O mapa da susceptibilidade do Brasil, elaborado pelo MMA a partir de trabalho realizado pelo Centro de Sensoriamento Remoto do IBAMA, determinou três categorias de susceptibilidade: Alta, Muito Alta e Moderada. As duas primeiras referem-se respectivamente às áreas áridas e semi-áridas definidas pelo índice de aridez. A terceira é resultado da diferença entre a área do Polígono das Secas e as demais categorias. Assim, de um total de 980.711,58 km² de áreas susceptíveis, 238.644,47 km² são de susceptibilidade Muito Alta, 384.029,71 km² são de susceptibilidade Alta e 358,037,40 km² são moderadamente susceptíveis (figura II.10).

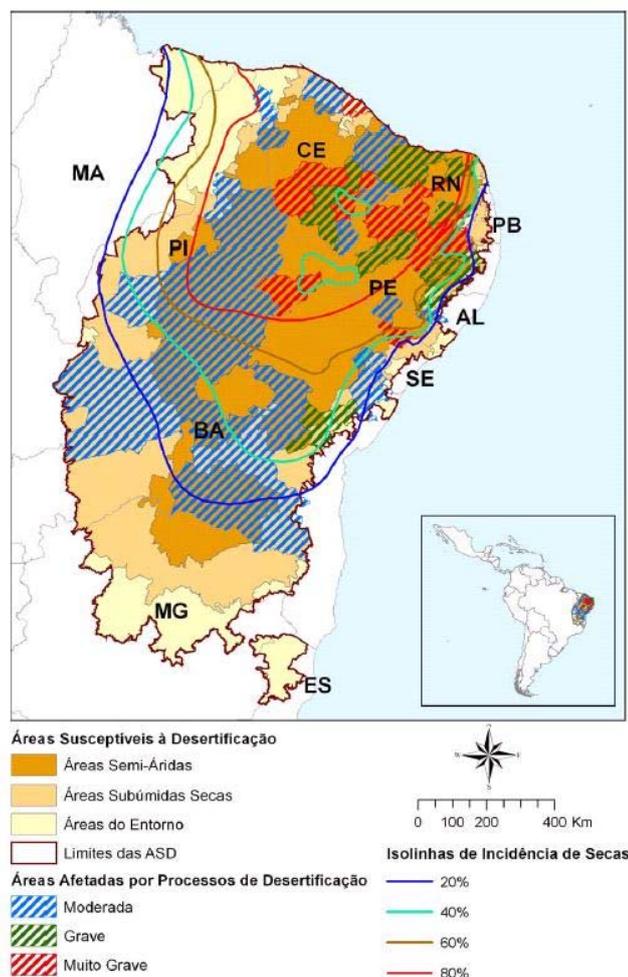


Figura II.10: Mapa de susceptibilidade do Brasil

Fonte: OTAMAR,2006

A imprensa vem registrando continuamente o sofrimento das comunidades sertanejas atingidas pelo problema da desertificação e da seca e suas já conhecidas conseqüências: pobreza, miséria, desnutrição, mortalidade infantil elevada e êxodo rural (Figura II.11), dentre outras . De fato, ao longo do tempo, a mídia vem encarando a questão como uma fatalidade geográfica, quando na verdade um conjunto cada vez maior de trabalhos científicos evidencia substancialmente as ações predatórias do homem sobre o meio ambiente como um fator primordial no agravamento da situação sócio-econômica (FREIRE *apud* SACHS, 2000).



Figura II.11 – “Seca, devastação e abandono”.

Fonte: Freire *apud* Jornal do Commercio, Recife-PE, ed. 10/11/2002.

Trata-se de um sério e crescente problema de âmbito mundial, onde o Brasil está social, econômico, cultural e ambientalmente inserido, cabendo um papel primordial ao binômio “Ciência & Tecnologia” no sentido de prover os instrumentos, técnicas, dados e procedimentos adequados e necessários à identificação, localização, quantificação e avaliação das ações e resultados das políticas públicas de combate à desertificação, tanto no Brasil, como no mundo, esperando-se uma contribuição significativa das Tecnologias da Geoinformação ao permitir uma análise espacial do problema.

II.1.4. Indicadores da desertificação

Foi o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP – United Nations Environmental Program), quem patrocinou a primeira tentativa de formulação de um sistema de indicadores de desertificação, quando estava-se a preparar a Conferência de Nairóbi (Quênia), em agosto de 1977. Apesar de mais de 25 anos terem se passado e das muitas tentativas que vêm sendo feitas, praticamente não existe consenso acerca da adoção de 11 metodologias de indicadores de desertificação. “Como resultado, proliferam os `sistemas de indicadores`, e os modelos explicativos se enfraquecem, não gerando instrumentos eficazes para enfrentar o problema.” (MATALLO JÚNIOR, 2001, p. 69).

Rodrigues (1997 apud MATALLO JÚNIOR, 2001) foi o autor do mais completo trabalho de levantamento bibliográfico feito sobre a desertificação no Brasil, elaborado para o Plano Nacional de Combate à Desertificação. Dos 56 títulos que foram analisados, 15 fazem referência a indicadores e apenas 5, de forma mais consistente, os usam em suas análises (MATALLO JÚNIOR, 2001). Os autores mencionaram um total de 139 indicadores diferentes, dos quais, aproximadamente metade eram superpostos (RODRIGUES, 1997 apud MATALLO JÚNIOR, 2001). Assim, a triagem e agrupamento dos mesmos (dos indicadores) mostra um total de 70 indicadores distintos (MATALLO JÚNIOR, 2001).

Em fevereiro de 1999, o Natural Heritage Institute – NHI, a Fundação Grupo Esquel Brasil, a Secretaria Nacional de Meio Ambiente do Governo do México e a Universidade do Chile reuniram em um workshop lideranças políticas e especialistas em meio-ambiente do Brasil, Chile, México e Estados Unidos, para dois dias de trabalhos na Cidade do México. O objetivo deste workshop era desenhar um plano de ação para o desenvolvimento de um Sistema de Indicadores de Desertificação e um Projeto para apresentação ao Fundo Global para o Meio Ambiente (GEF).

O Sistema de Indicadores de Desertificação proporcionou, ao GEF, ONGs, formuladores de políticas e comunidades relacionadas, uma ferramenta que possibilita identificar ecossistemas e comunidades vulneráveis à desertificação, desenvolver políticas apropriadas para este problema e monitorar os impactos da implementação destas políticas. Além disso, os temas apresentados neste estudo não são

exclusividade do hemisfério sul. Os indicadores usados no desenho deste Sistema e as recomendações relacionadas são aplicáveis para estudos em outras regiões que também sofram com o baixo cultivo, migração das áreas rurais e perdas na biodiversidade dos ecossistemas.

Neste projeto, com duração de quase dois anos, foi desenvolvida uma metodologia inovadora de identificação de situações de pressão, estado e resultado dos processos de desertificação. Complementarmente, foi também desenvolvido pela FGEB um software para processamento de informações.

O projeto foi formalmente concluído em dezembro de 2002 e, na atualidade, este software e o os demais resultados do projeto têm sido apresentados e aprovados em vários fóruns técnicos e políticos vinculados à implementação da Convenção de Combate a Desertificação – UN-CCD.

Os indicadores foram utilizados para diagnosticar um processo acelerado de desertificação na região do Seridó (rio Grande do Norte e Paraíba – BR), e serviu de embasamento para a elaboração e desenvolvimento de um Projeto de Capacitação de Recursos Humanos para uso Sustentável dos Recursos naturais no Seridó.

Segundo Kazmierczak (1988), parte do problema verificado no estudo da desertificação tem sido a tendência de tratar de modo independente os diferentes aspectos a ela relacionados. Em seu estudo sobre o desenvolvimento de um algoritmo para modelar a susceptibilidade de desertificação, foram selecionados seis indicadores sensíveis ao potencial de desertificação, uma vez que se torna impraticável medir todos os indicadores de um determinado recurso natural para avaliar os impactos causados por tal fenômeno. Estes indicadores são: precipitação, erodibilidade do solo, cobertura vegetal e uso da terra, pressão exercida pela pecuária, Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN) e Índice de Repelli. Este último refere-se a um “índice de anomalias de precipitação para a região semi-árida do Nordeste do Brasil, baseado na classificação da quantidade de precipitação acumulada num bimestre (para cada localidade) em relação à distribuição de frequências constituída empiricamente a partir de séries históricas”. (KAZIMIERCZAK, 1988).

Detalhando suas causas, o IBAMA (2003) lista os principais agentes considerados desencadeadores da desertificação:

- Expansão e intensificação de uso agrícola sobre terras secas, não respeitando sua capacidade de suporte;
- Redução dos períodos de pousio dos campos de cultivo ou pastagem, não atendendo o tempo necessário à sua recomposição;
- Utilização de técnicas de irrigação mal dimensionadas, não dispendo de adequado sistema de drenagem ou baseando-se na utilização de águas de qualidade duvidosa;
- Intensa coleta ou corte de plantas para alimentos, fins medicinais, energéticos, de construção civil ou assemelhados, reduzindo o material genético;
- Desmatamento indiscriminado, especialmente atingindo grandes extensões, encostas, nascentes, áreas de solo incipiente ou pobre;
- Queimadas, implementadas periódica e sistematicamente desassociadas à utilização de técnicas de manejo ou controle;
- Sobrepastoreio, ignorando a capacidade de suporte do ambiente;
- Mineração, realizada à parte de um sistema de manejo e recuperação dos recursos;
- Falta de políticas de uso da terra, para proceder ao zoneamento das áreas e disciplinar o uso e ocupação dos solos;
- Elevadas concentrações populacionais ou repentinos afluxos migratórios, sobrecarregando os recursos naturais;
- Falta de ajustes das atividades antrópicas às naturais flutuações do ambiente;
- Forças internacionais que estimulam a superexploração dos recursos; entre outros.

Por sua vez, considerando os aspectos climáticos, hidrogeológicos, morfodinâmicos, edáficos, fitogenéticos, zoogenéticos e antrópicos, resultam da desertificação as seguintes conseqüências (IBAMA, 2003):

- Redução da precipitação atmosférica e do episódico fornecimento de água ao solo;
- Redução de reservas hídricas;

- Elevação do lençol freático;
- Mudanças no macro e microclima;
- Aumento da aridez;
- Salinização dos solos e dos recursos hídricos;
- Exposição dos solos;
- Compactação dos solos;
- Impermeabilização dos solos;
- Acúmulo de substâncias tóxicas nos solos;
- Surgimento e movimentação de dunas;
- Atividade e aceleração de processos de erosão hídrica e eólica;
- Perda de nutrientes e microorganismos do solo;
- Mudanças no padrão de drenagem;
- Assoreamento de rios, reservatórios, áreas úmidas e sistemas marinhos;
- Mudanças na composição da vegetação;
- Redução das populações;
- Risco à extinção de espécies;
- Redução da biodiversidade (vegetal, animal e da paisagem);
- Colonização por invasoras;
- Redução da viabilidade de energéticos florestais;
- Desaparecimento da fauna nativa;
- Redução da viabilidade de materiais naturais de uso ou importância cultural;
- Perda de rebanhos;
- Perda de produtividade agrícola;
- Importação de produtos básicos;
- Mudanças nos sistemas de produção;
- Empobrecimento da população;
- Desestruturação da sociedade;
- Abandono de terras;
- Êxodo rural;
- Perda do conhecimento tradicional das áreas abandonadas;
- Fomento da instabilidade política na região;
- Redução das condições de saúde;

- Emigração;
- Aumento das tensões sociais em áreas receptoras de migrantes;
- Criação de bolsões de pobreza;
- Aumento da dependência de benefícios do Estado; entre inúmeros outros.

Como Indicadores de Situação, estão agrupados aqueles indicadores voltados aos dados sociais, econômicos e climáticos. Uma vez que o antropismo é determinante para a degradação ambiental, os dados sócio-econômicos caracterizariam áreas de risco à desertificação, assim como os indicadores de precipitação, insolação e evapo-transpiração – todos constantemente monitorados segundo métodos adequados. No outro grupo, como Indicadores de Desertificação propriamente ditos, estariam os indicadores ambientais: índices de vegetação, solos e recursos hídricos. Segundo o autor, os indicadores devem ser usados em combinação, “pois nenhum deles pode, sozinho, prover as informações necessárias para o diagnóstico da desertificação” (MATALLO, 1999). Apreende-se deste modelo a complexidade e, mais que a multidisciplinaridade, uma transdisciplinaridade do estudo dos processos de desertificação. São necessários diversos estudos regionais e locais, em escalas apropriadas e compatíveis, levando-se em consideração a grande diversidade do semi-árido brasileiro. Neste contexto, MATALLO (1999) concluiu que “o sistema de indicadores existentes, ainda que insuficientes e necessitando de desenvolvimentos, são os únicos instrumentos disponíveis para a compreensão do problema”.

O Programa de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca para a América do Sul, propôs um conjunto de seis critérios para estabelecer os indicadores de forma clara:

- Relevância
- Claridade
- Custo
- Continuidade
- Compreensão
- Benefício Social

O uso desses critérios objetivou o uso das informações possibilitando a simplificação, quantificação e comunicação, de maneira que as informações pudessem ser relatadas e integradas, permitindo assim uma comparação entre diferentes regiões e diferentes aspectos. A metodologia envolveu uma diferenciação entre variáveis, indicadores e índices. Os indicadores são dependentes das variáveis e quando agrupados passam a ser representados pelos índices, conforme o fluxograma a seguir. Com base nesse estudo foi possível descrever os indicadores da desertificação de forma concisa, ressaltando o grau de importância e o nível de abrangência de cada um deles (tabela II.5).

Tabela II.5: Indicadores da Desertificação

Densidade demográfica (urbana, rural)	1	N	hab/km ²
Taxa de migração líquida	2	N	$TM = (M / (((E+R)/2) * N)) * 1000$
Taxa média de crescimento populacional anual	2	N	$(P_{t2} - P_{t1}) - 1$
Estrutura da idade			$P(0 - 19 \text{ anos}) / P_t * 100$
PEA/GÊNERO	1	N	$P(20 - 59 \text{ anos}) / P_t * 100$
			$P(60 \text{ anos}) / P_t * 100$
% de mulheres chefes de famílias	1	N	$(\text{Mulheres chefes de família} / \text{total famílias}) * 100$
Renda agrícola das famílias/renda total por famílias	1	N	$(\$ \text{ agrícola família} / \$ \text{ família})$
Auto consumo%	1	L	$\$ \text{ auto consumo} / \$ \text{ produção}$
Incidência de pobreza	1	N	IDH Índice de pobreza
Enfermidades maior incidência (veiculação hídrica)	1	N	nº de atendimento SUS
Saneamento (serviço sanitário)	1	N	% de residências rurais que possuem sanitários
Mortalidade infantil	1	L	Mortos até 5 anos/1000
Escolaridade	1	L	Média de anos na escola
Estrutura fundiária	1	L	Distribuição de classes das propriedades Quantos Proprietários Coeficiente de GINI
INDICADORES INSTITUCIONAIS			
Controle estatal/Fiscalização			
Plano diretor			
Capacitação			
Associação municípios			
ONGS/OSCIP			
Conselhos			
Recursos orçamentários			
Marcos legais			
Integração programas			
Institucionalização			
INDICADORES CLIMÁTICOS			
Índice de Aridez			
Índice de Precipitação Padronizado			

N – Escala Nacional L – Escala Local

Fonte: IBAMA, 2003

Segundo Sampaio et al (2003), deve-se separar a medida de propensão à desertificação da medida de ocorrência de desertificação, pois, são coisas distintas, embora relacionadas — “A ocorrência da mesma intensidade de desertificação em duas áreas é mais grave na área onde a susceptibilidade é maior.” (SAMPAIO et al, 2003, p.53).

Sampaio et al (2003) propõe a criação de dois índices:

- Índice de propensão à desertificação;
- Índice de desertificação.

Segundo Dregne (1983), os indicadores podem ser de natureza qualitativa (como a presença de de crostas ou voçorocas no solo) ou quantitativa (por exemplo, a profundidade efetiva e a condutividade elétrica dos solos). Além dessas características, os indicadores devem atender as exigência de escala temporal e espacial do processo de desertificação (ACCIOLY, 2004).

A escala temporal é importante devido ao fato de aspectos como clima, umidade do solo, cobertura vegetal, entre outros, serem considerados como indicadores. Espacialmente, os processos e feições que ocorrem no meio ambiente dependem da escala considerada. Accioly apud Dregne (1983) sugere três níveis hierárquicos e relaciona seus indicadores (Tabela II.6).

Tabela II.6: Indicadores relevantes de desertificação conforme a escala de monitoramento

Escala de monitoramento	Indicadores
Global	albedo, tempestades de areia, precipitação pluvial, erosão do solo e sedimentação, salinização dos solos
Regional	Produtividade, biomassa, clima, nutrição, salinização dos solos
Local	Produtividade, qualidade de vida da população, percepção humana do problema

Fonte: ACCIOLY, 2004 apud DREGNE, 1983

Pelas facilidades de Análise Espacial com dados advindos de imagens de satélite, ACCIOLY et al (2001) afirmam que “um dos indicadores da desertificação é a redução da cobertura de plantas perenes”, aliado à degradação dos solos em áreas com menor cobertura vegetal. Segundo os autores, estas duas condições provocam o aumento do albedo das superfícies sujeitas à degradação.

II.1.5. Núcleos de Desertificação

A ocorrência de processos de desertificação é evidenciada pelo aparecimento de determinadas manchas de solo no semi-árido nordestino. São áreas de solos rasos, quase que reduzidas ao afloramento rochoso, sem capacidade de retenção de água, pois cessadas as chuvas, elas ficam imediatamente desidratadas. Os solos dessas áreas também apresentam deficiências em matéria de nutrientes, que contribuem para potencializar sua vocação para a desertificação. Ali o clima é o mesmo das áreas mais próximas, observando-se diferenças específicas em função do tipo de solo. Significa dizer que ao lado dos fatores gerais que comandam os processos de desertificação, há fatores locais determinados pelas condições de solo. Daí ser possível encontrar manchas férteis de solos, ao lado de manchas desertificadas ou em processo de desertificação. (Vasconcelos Sobrinho, 1983: 26.)

A ocorrência dessas manchas determina o processo de constituição das áreas denominadas por Vasconcelos Sobrinho como Núcleos de Desertificação. Os Núcleos de Desertificação têm uma dupla importância conceitual: ora se caracterizam como o efeito máximo do processo de degradação ambiental, ora representam seu indicador mais importante. Os Núcleos de Desertificação apresentam tendência a se expandirem, em detrimento das áreas vizinhas. (Vasconcelos Sobrinho, 1983: 27.)

Os Núcleos de Desertificação também podem ser encontrados de forma isolada, fora de áreas degradadas. São os chamados Núcleos de Desertificação Solitários, constituídos como resultado direto da ação antrópica. Esses núcleos ocorrem em áreas cultivadas intensa e ininterruptamente. Os Núcleos Solitários também surgem como resultado da “tomada de empréstimo” de terras marginais às

rodovias, para a construção das pistas de rolamento. As áreas desses núcleos têm recuperação difícil, pois sua constituição foi feita às custas da retirada total do solo.

Com a colaboração do prof. Vasconcelos Sobrinho, que a Sudene iniciou, em 1977, o estudo das áreas em processo de desertificação. Esses estudos tinham em vista identificar as áreas mais atingidas pelo fenômeno e selecionar as consideradas mais críticas, como áreas piloto – seis áreas inicialmente (Tabela II.7) -, para efeito de mapeamento.

Tabela II.7: Áreas piloto para investigação sobre desertificação no semi-árido brasileiro

ÁREAS PILOTO SELECIONADAS	ESTADO	REGIÕES NATURAIS E/OU MICRORREGIÕES HOMOGÊNEAS	MUNICÍPIOS
1	Piauí	Caatinga e Cerrado	Gilbués, Simplício Mendes, Cristino Castro, Ribeiro Gonçalves Correntes, Bom Jesus e municípios vizinhos
2	Ceará	Inhamuns	Tauá, Arneiroz, Mombança, Aiuaba, Catarina, Saboeiro, Irauçuba e municípios vizinhos
3	Rio Grande do Norte	Seridó	Currais Novos, Acari, Parelhas, Equador, Carnaúba dos Dantas, Caicó e Jardim do Seridó
4	Paraíba	Cariris Velhos	Juazeirinho, São João do Cariri, Serra Branca, Cabaceiras, Camalaú, Picuí e municípios vizinhos
5	Pernambuco	Sertão Central	Salgueiro, Parnamirim, Cabrobó, Itacuruba, Belém do São Francisco, Petrolina, Afrânio, Ouricuri, Araripina e municípios vizinhos
6	Bahia	Sertão do São Francisco	Uauá, Macacuré, Chorrochó, Abaré, Rodelas, Curaça, Glória, Jeremoabo, Juazeiro e municípios vizinhos

Fonte: MMA, 2004

A partir dessas áreas, foram selecionadas quatro áreas (Tabela II.8), com intensa degradação para a realização de estudos mais específicos, Caracterizando-as como áreas desertificadas e de alto risco, os chamados Núcleos de Desertificação. São eles: Gilbués-PI, Irauçuba-CE, Seridó-RN e Cabrobó-PE, totalizando uma área de 18.743,5 km² (Figura II.12).

Tabela II.8: Núcleos de desertificação

NÚCLEOS	SUPERFÍCIE (km2)	POPULAÇÃO (HABITANTES)	CAUSAS PRINCIPAIS DA DESERTIFICAÇÃO E/OU DA DEGRADAÇÃO
1. Gilbués - PI	6.131	10.000	Região devastada por mineradoras
2. Iraçuba - CE	4.000	34.250	Ocupação desordenada do solo
3. Seridó - RN	2.341	244.000	Solos aluviais utilizados para a extração de argila e lenha
4. Cabrobó - PE	5.960	24.000	O solo frágil não suportou a pecuária e a agricultura
TOTAL	18.431	312.250	

Fonte: MMA, 2004

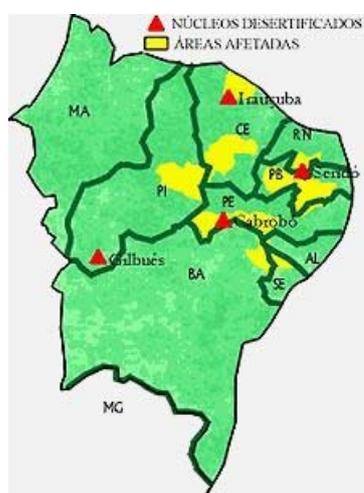


Figura II.12: Núcleos Desertificados no Brasil

Fonte: MMA, 2003

II.1.5.1. Núcleo de Desertificação do Seridó

A degradação das terras do Rio Grande do Norte vem contribuindo para a intensificação do fenômeno da desertificação na região. O Estado possui cerca de 57,4% do seu território incluído nas categorias grave e muito grave de ocorrência de desertificação e de um núcleo de desertificação de 5,39%, o que evidencia processos de degradação ambiental bastante preocupantes, conforme mostra a figura II.13.

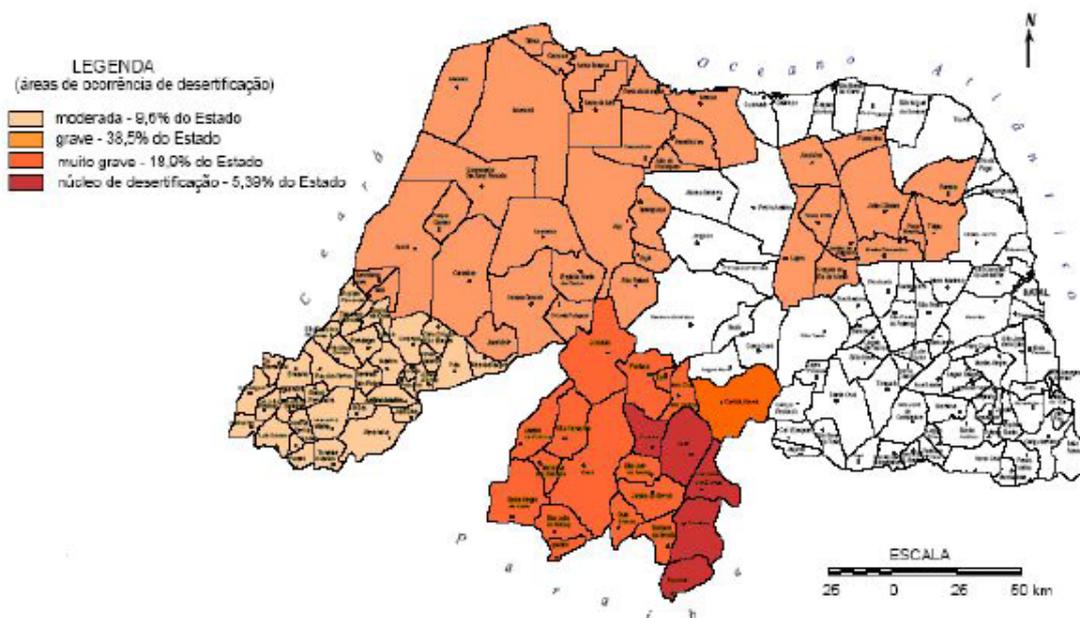


Figura II.13: Áreas de ocorrência de desertificação no Rio Grande do Norte

Fonte: Carvalho et al., 2000 apud Vianna, 2006

O Núcleo de Desertificação do Seridó localiza-se no interior do Nordeste Semi-Árido, em área de solos de baixíssima fertilidade, a não ser nos escassos terrenos de baixadas aluviais, e está submetido a um dos mais característicos regimes de escassez e desigual distribuição de chuvas no Nordeste. Ali, as chuvas falham com frequência, dando lugar à ocorrência de secas, totais (quando afetam toda a região) ou parciais, de duração anual (quando ocorrem em anos intercalados) ou plurianual (quando se estendem por períodos superiores a um ano). As chuvas nessa região ocorrem de janeiro a maio, com variações de 127 mm a 916 mm, por ano, como aconteceu no período de 1930 a 1955, apresentando valor médio de 497 mm, anuais, em Cruzeta. “O mapa das isoietas de 22 anos, apresenta esse Seridó envolvido pelas chuvas de 400 a 600 mm.” Como não há orvalho, a “insolação média é de 2.988 horas de luz solar, por ano,” e a temperatura média das máximas é de 33°C e a das mínimas de 22°C; o índice de aridez, é elevado, correspondendo a 3,3.” (Duque, 1964: 61.)

A Região do Seridó foi classificada como zona muito grave, segundo o Plano Nacional de Combate à Desertificação – PNCD. Essa área representa 24,3% da área total do Estado e abriga 11% da sua população, distribuída em 28 municípios.

Szilagyi (2004) lista alguns fatores, apontados como sendo de atesto, da condição do Seridó como potencial núcleo de desertificação. São exemplos de tais fatores listados por ele:

- Espaçamento exagerado entre as espécies vegetais nativas da região (redução da cobertura vegetal);
- Extinção e redução no número de espécimes típicas;
- Afloramento da base geológica de origem;
- Assoreamento de rios, açudes e barragens (devido à ausência vegetal das margens dos canais fluviais);
- Perda da produção agrícola de subsistência (como consequência da compactação de solos em áreas de sobrepastoreio);
- Salinização de solos (devido à prática inadequada da irrigação).

Em relação à vegetação, a região apresenta um tipo peculiar de caatinga, constituindo uma formação herbáceo-lenhosa, tipicamente caducifólia, com grande quantidade de plantas espinhosas, de engalhamento baixo, com cactáceas e bromeliáceas em algumas áreas. Apesar da grande área com cobertura vegetal ainda existente no Seridó, a maior parte dela está localizada em área de preservação permanente, e não pode ser legalmente explorada. O uso racional destes recursos depende do conhecimento da oferta e da demanda dos mesmos e das próprias características do Seridó. A demanda naquela região refere-se, em essência, aos energéticos florestais – lenha e carvão vegetal – utilizados principalmente pela indústria da cerâmica, pelas padarias e olarias, que juntas eram responsáveis pela metade do consumo industrial, ainda em 1989. Cabe aqui um destaque. Naquela época, o número de indústrias de cerâmicas era de apenas 8, chegando, no ano de 2000, ao número de 77 estabelecimentos. Este aumento com certeza está contribuindo para o avanço do processo de desertificação na região, já que estes energéticos provêm de áreas exploradas sem critérios de sustentabilidade. Além de causar grande impacto sobre a vegetação, a atividade da cerâmica ainda causa grande impacto sobre as áreas mineradas para a extração da argila, retirado muitas vezes da área dos baixios e dos aluviões, impossibilitando o uso da área para a agricultura (CARVALHO et al., 2000 apud VIANNA, 2006).

Os insumos básicos para a indústria cerâmica são: a argila, o combustível para a queima – em sua maioria a lenha – a energia elétrica e a água. Cada indústria cerâmica tenta dispor destes recursos da melhor forma possível, sempre considerando a relação custo-benefício. As argilas são oriundas, predominantemente, das várzeas dos grandes rios ou açudes, retiradas por meio de retroescavadeiras e tratores, com as lavras da argila feitas de maneira informal.

Política e administrativamente delimitado pelo IBGE, o “Seridó” tem uma configuração distinta da que foi sendo construída de acordo com as especificidades históricas e culturais da região. Para o Ibge, o Seridó é integrado por duas Microrregiões Geográficas – a do Seridó Ocidental, composta pelos municípios de Caicó, Ipueira, Jardim do Seridó, Piranhas, São Fernando, São João do Sabugi, Serra Negra do Norte e Timbaúba dos Batistas e a do Seridó Oriental composta pelos municípios de Acari, Carnaúba dos Dantas, Cruzeta, Currais Novos, Equador, Jardim do Seridó, Ouro Branco, Parelhas, Santana do Seridó e São José do Seridó, abrangendo uma superfície de 6.970,60 km².

Estudos recentes realizados pelas Consultoras Tecnosolo & CEP, para a Federação das Indústrias do Rio Grande do Norte-Fiern, salientaram características assinaladas por Guimarães Duque. Do ponto de vista hidrográfico dispõe de uma rede fluvial constituída por rios não-perenes. Excetuados os anos de seca, eles apresentam dois ciclos perfeitamente caracterizados: um, com escoamento, durante o período chuvoso, e outro, sem escoamento ou seco, na época de estiagem, tão logo cessam as chuvas. A eologia da região é constituída, predominantemente, pelo cristalino, circunstância que aliada ao poder erosivo das chuvas torrenciais dá origem a solos rasos que impedem o acúmulo de água no seu perfil e a conseqüente descarga de base. O clima da região é classificado como muito quente e semi-árido, com a estação chuvosa se atrasando para o outono. Propicia, por isso, um acentuado déficit hídrico anual.

De acordo com o Diagnóstico Ambiental da região, realizado pela Embrapa Solos, no ano de 2000, seus solos pertencem, predominantemente, à categoria dos Bruno Não-Cálcicos, caracterizados pela escassa profundidade e elevada suscetibilidade à erosão. Apresentam aptidão agrícola limitada, por conta da ação conjunta de fatores como relevo, vegetação e regime hídrico. Apresentam acentuada deficiência de água,

alta pedregosidade na superfície, pouca profundidade efetiva e alta suscetibilidade à erosão. Por isso, é difícil encontrar faixas amplas e contínuas de terras cultiváveis. São relatadas também a presença de outros tipos de solos como, Planossolos, Regossolos e Litólicos, sendo estes em menor proporção.

O tipo de agricultura e as práticas culturais primitivas, não adaptadas ao manejo adequado de solo, vêm diminuindo progressivamente a capacidade produtiva dos solos, por conta de sua degradação, sendo possível, atualmente, encontrar grandes extensões de terras que devem deixar de ser exploradas, daí decorrendo a urgência de restaurar a vegetação de cobertura. (Consórcio Tecnosolo & CEP, 1999: v. 3, 327-328).

A população do Seridó cresceu extraordinariamente, desde a consolidação do Município de Vila do Príncipe, atual município de Caicó, que pode ser considerado como ápice da conquista da emancipação administrativa do Seridó, em 31 de julho de 1788, de acordo com o diagnóstico do Plano de Desenvolvimento Sustentável da região do Seridó. De um total de 3.630 hab, em 1782, passou para 6.276 (em 1824), 15.921 (em 1855), 31.281 (em 1872)(Medeiros, 1952). Em 1996 a população era de 289.767 habitantes de acordo com dados do IBGE.

Ainda nesse contexto histórico, observa-se que com a pecuária, o Seridó representou o sustentáculo do povoamento das Capitanias de Pernambuco, Itamaracá e da Paraíba. A pecuária de início e o algodão, bem mais tarde, a par com o cultivo de lavouras alimentares, nas terras mais férteis, de permeio com a cultura algodoeira, constituíram a matriz básica das atividades econômicas do Seridó. Outra importante fonte de expansão econômica no Seridó foi a mineração, iniciada por volta dos anos 30/40, do século XX. Suas possibilidades centraram-se em minerais como a tantalita – com jazidas importantes nos Municípios de Jardim do Seridó, Parelhas, Acari e Currais Novos –, o berilo, a scheelita (com reservas de minérios e indústrias localizadas em Currais Novos, Caicó, Serra Negra, Jardim do Seridó e Parelhas) e a cassiterita. (Medeiros, 1952: 86.)

O declínio da riqueza gerada no Seridó veio com a crise da economia algodoeira e da mineração, agravada pelo impacto que a degradação ambiental exerce sobre as populações, rurais e urbanas, como fruto das práticas inadequadas de

exploração dos recursos naturais. Neste quadro salientam-se os elevados índices de desmatamento, os quais evidenciam para muitas áreas, fortes evidências de processos quase irreversíveis de desertificação.

Outras políticas públicas contribuíram para aumentar o uso inadequado dos recursos florestais do semi-árido em geral e do Seridó, em particular. A sustentação dessas políticas tem sempre uma razão econômica. A elevação dos preços internacionais do petróleo, em 1973, fez com que o governo brasileiro estimulasse o uso do carvão vegetal, por parte de indústrias nacionais. Em seguida, as indústrias voltaram a consumir combustíveis derivados do petróleo. Mas nesses quase 20 anos ocorreu grande a devastação da caatinga em municípios como Mossoró, no Rio Grande do Norte, e Sobral e Barbalha, no Ceará. Além da razão econômica, essas decisões também têm sido pautadas pelos argumentos de geração de emprego, por parte de empresários urbanos e rurais ligadas ao corte de madeira e à produção de carvão. (Mendes, 1997: 32.) A exploração econômica dos recursos florestais é responsável por 29% da renda gerada pelos pequenos produtores rurais do Rio Grande do Norte (Pnud/FAO/Ibama, 1993-a.).

Pesquisas realizadas por Vianna (2006), no município de Parelhas, mostram que, 20,2% da população acham que a cidade nunca apresentou problemas relacionados com a desertificação; 9,9% acham que raramente ocorrem problemas relacionados com a desertificação; 9,4% acham que às vezes ocorrem problemas relacionados com a desertificação; 9,0% acham que quase sempre ocorrem problemas relacionados com a desertificação; 31,4% acham que a cidade sempre apresenta problemas relacionados com a desertificação e 20,2% não têm opinião sobre o assunto (Figura II.14). As respostas levam a crer, pela maior variação neste ponto, que a população local percebe o problema ambiental e a maioria (31,4%) o reconhecem como um processo contínuo. Em contrapartida, não se pode deixar de lado os (20,2%) sem opinião, dado que reflete a falta de informação daquela comunidade a respeito da desertificação.

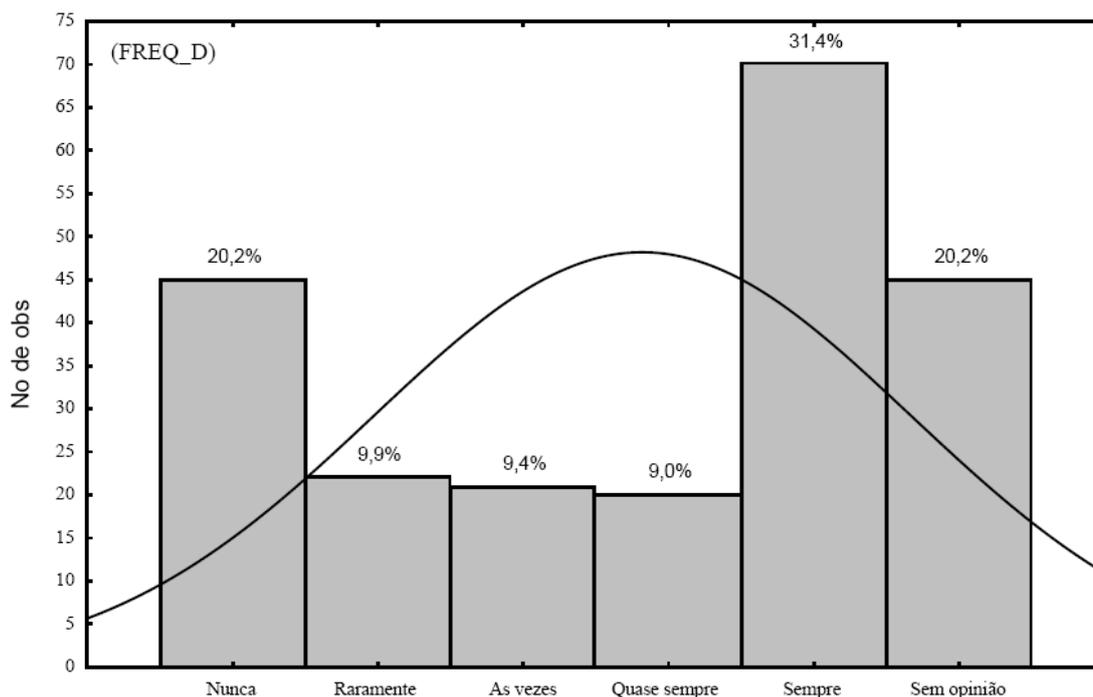


Figura II.14: Opinião quanto a freqüência na apresentação de problemas ambientais relacionados com a desertificação

Fonte: VIANNA, 2006

II.1.6.O domínio da Caatinga

A região semi-árida nordestina é fundamentalmente caracterizada pela ocorrência do Bioma Caatinga, como mostra a figura II.15, sendo o único bioma exclusivamente brasileiro.



Figura II.15: Ocorrência do Bioma Caatinga na Região Semi-árida Nordestina;

Fonte: IBAMA, 2003.

Esse bioma está dividido em oito ecorregiões ou unidades geográficas de planejamento para conservação, sendo elas Complexo de Campo maior, Complexo Ibiapaba – Araripe, depressão sertaneja Setentrional, Planalto da Borborema, Depressão Sertaneja Meridional, Complexo da Chapada Diamantina, Dunas do São Francisco e Raso da Catarina, como mostra a figura II.16.

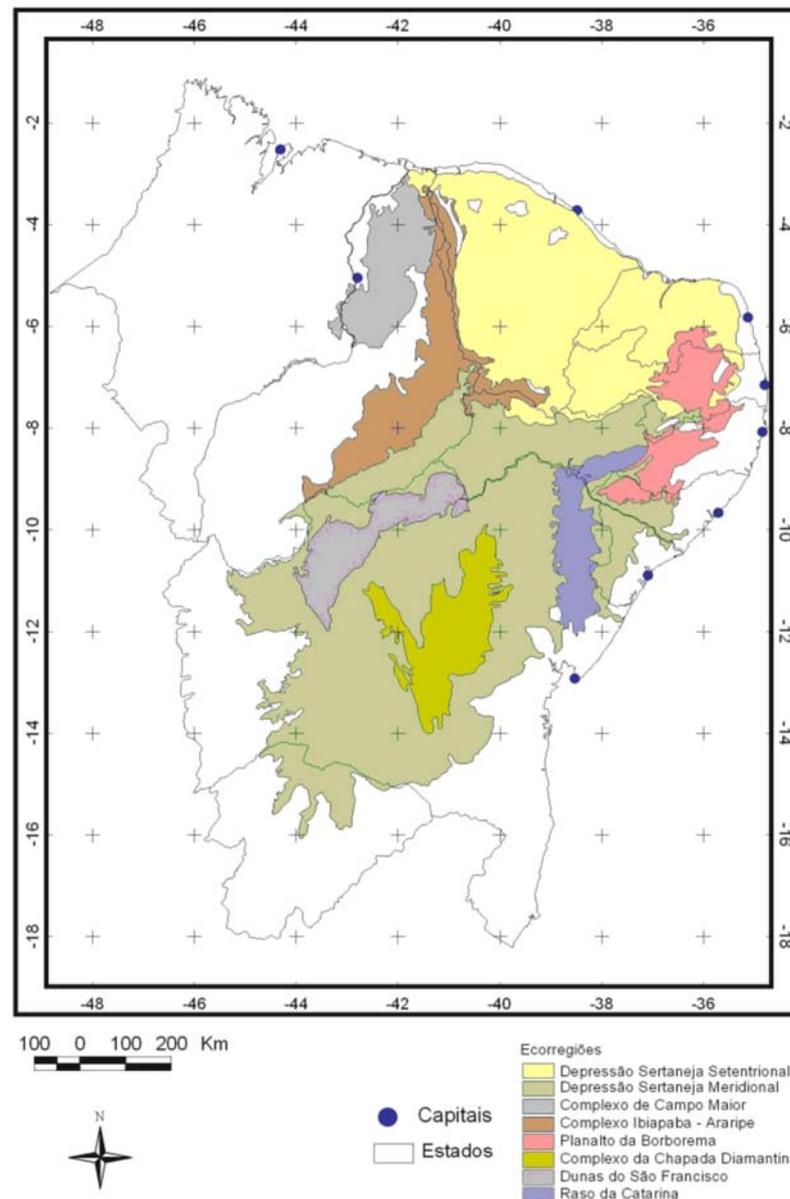


Figura II.16: Delimitação do Bioma Caatinga e sua Divisão em Ecorregiões;

Fonte TNC-APNE, 2002

De um modo geral, a Caatinga tem sido descrita na literatura como pobre em biodiversidade e de pouca importância biológica. Porém, levantamentos recentes mostram que esse ecossistema possui um considerável número de espécies

endêmicas, ou seja, que só ocorrem nesta região, e que devem ser consideradas como patrimônio biológico de valor incalculável .

A vegetação pode ser de porte arbóreo com altura do dossel maior que 10 m e diâmetro ao nível do peito maior que 20 cm (Figuras II.17 e II.18) ou arbustivo com árvores esparsas, possuindo um porte médio de 2,5 metros de altura e arvoretas com mais de 3 m, e diâmetro ao nível do peito não ultrapassando mais que 10 cm. Na área concentram-se mais arbustos eretos e ervas ruderais que florescem no período chuvoso, secando em seguida (Andrade-lima, 1981). As espécies vegetais são lenhosas, decíduas e espinhentas, com elevado grau de xerofilismo (LINS & ALBUQUERQUE, 2001), muitas delas são das famílias Malvaceae, Caesalpiniaceae, Mimosaceae, Fabaceae, Bromeliaceae, Euphorbiaceae e Cactaceae (SUDENE, 1975).



Figura II.17: Caatinga Densa – Seridó – RN/PB

Fonte: Accioly, 1999



Figura II.18: Caatinga Aberta – Seridó – RN/PB

Fonte: Accioly, 1999

A vegetação de Caatinga possui características fisiológicas e anatômicas que impedem ao máximo a perda d'água ex: o caule suculento das Cactaceae, a cutícula espessa das Bromeliaceae, as túberas aquíferas de *Spondias tuberosa* (umbu) Anacardiaceae (ANDRADE-LIMA, 1972; BAUTISTA, 1988) e raízes bem desenvolvidas, grossas e penetrantes, para aumentar a adaptação às condições de semi-aridez da região (LINS & ALBUQUERQUE, 2001).

Segundo ANDRADE-LIMA (1981), a vegetação de Caatinga cresce em diferentes tipos de solos, de acordo com a profundidade, fragilidade e composição arenosa, florescendo na estação chuvosa, principalmente as herbáceas e escavando-se no solo durante a estação seca. Entretanto, duas ou três espécies podem manter suas folhas verdes, como a *Ziziphus joazeiro* Mart. (juazeiro) e a *Maytenus rigida* Mart. (bom nome).

Como dito, de um modo em geral, a caatinga apresenta diferenças fisionômicas quanto ao porte (arbóreo, arbóreo-arbustivo e arbustivo) e a densidade (densa, pouco densa e aberta). Na caatinga de densidade aberta ou pouco-densa a penetração de raios solares permite o desenvolvimento do substrato herbáceo, com grande dispersão de indivíduos. Entretanto, devido ao menor ou maior grau de xerofilismo (relacionado

com o grau de aridez onde ocorre), a vegetação também pode ser classificada em Caatinga hipoxerófila e hiperxerófila (SUDENE, 1975).

A caatinga hipoxerófila é menos seca que a caatinga hiperxerófila, pois se situa numa região de clima menos seco, na faixa bioclimática entre 120 a 150 dias biologicamente secos (dbS). As faixas bioclimáticas foram construídas a partir de dados meteorológicos da SUDENE (pluviométricos e de temperatura) da série de 1912 a 1985, associados à altitude, geologia, morfologia e solos, assim podem-se comprovar as áreas úmidas e como se reflete na vegetação (ASSIS, 2000). Suas espécies mais conhecidas são: *Caesalpinia pyramidalis* Tul. (catingueira), *Senna splendida* (Vogel) Irwin & Barneby (canafístula), *Erythrina velutina* Willd (mulungu) e *Anadenanthera columbrina* Benth. (angico), dentre outras.

Por outro lado, a caatinga hiperxerófila se apresenta mais seca, estando inclusa na faixa bioclimática de 150 a 180 dbS (ASSIS, 2000), constituindo-se em uma vegetação típica do semi-árido, predominando na região do São Francisco e do Sertão (SUDENE, 1975) Tem pequeno porte, arbustiva ou arbustiva-arbórea, onde se destacam as seguintes espécies: *Aspidosperma pyriforme* Mart. (pereiro), *Caesalpinia pyramidalis* Tul. (catingueira), *Pilosocereus gounellei* Weber. (xique-xique), *Sideroxylon obtusifolium* (Roem & Schult.) (quixabeira) e *Maytenus rigida* Mart. (bom nome), dentre outras

A expansão das áreas de cultivo tem levado a quase extinção da caatinga. Além da perda da biodiversidade, a expansão para áreas impróprias, geralmente com relevos inadequados, fez com que problemas de erosão e assoreamento dos cursos d'água e reservatórios se agravassem, gerando grandes inundações, levando, também, ao aumento dos níveis de poluentes nos mananciais hídricos que abastecem as cidades da região. Portanto, a ocupação desordenada do solo acelera a degradação ambiental, com base principalmente em atributos do relevo, e é fundamental para identificar, mapear e valorizar as potencialidades locais, objetivando o uso e manejo racional das terras (Figura II.19).



Figura II.19: Corte de Madeira Próximo a Fazenda Canto Alegre

Fonte: Accioly, 2001

A Caatinga tem índices pluviométricos muito baixos, em torno de 500 a 700 mm anuais. Em certas regiões do Ceará, por exemplo, embora a média para os anos ricos em chuvas seja de 1000 mm, pode chegar a apenas 200 mm nos anos secos.

Os cerca de 20 milhões de brasileiros que vivem na caatinga (IBGE, 2003) nem sempre podem contar com as chuvas de verão. Quando não chove, o homem do sertão e sua família sofrem muito. Precisam caminhar quilômetros em busca da água dos açudes. A irregularidade climática é um dos fatores que mais interfere na vida do sertanejo. Na longa estiagem, os sertões são, muitas vezes, semi-desérticos e nublados, mas, sem chuva. O vento seco e quente não refresca, incomoda.

II.2. Geodésia e Cartografia

A Geodésia pode ser definida como “o ramo da matemática aplicada que determina através de observação e medições, a posição exata de pontos, figuras e grandes áreas sobre a superfície terrestre, o formato e o tamanho a Terra, além de variações da gravidade terrestre”. Na Geodésia, utiliza-se o geóide como sendo a forma mais próxima da terra (Figura II.20), determinado pela superfície equipotencial do campo da gravidade terrestre que mais se aproxima do nível médio dos mares. A adoção do geóide como superfície matemática de referência esbarra no conhecimento limitado do campo da gravidade terrestre (veja Graaff-Hunter, 1966), por isso, a Cartografia vale-se de uma superfície matemática aproximada, conhecida como

elepsóide de revolução (Figura II.21) (GEMAEL, 1970). Visto de um ponto situado em seu eixo de rotação, projeta-se como um círculo; visto a partir de uma posição sobre seu plano do equador, projeta-se como uma elipse, que é definida por um raio equatorial ou semi-eixo maior e por um achatamento nos pólos.

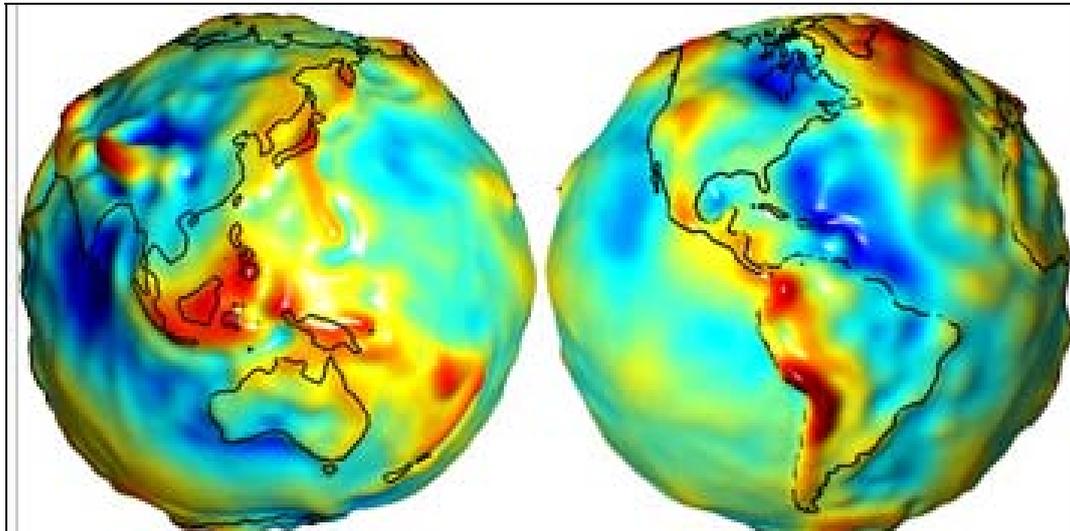


Figura .20: Geóide

Fonte: Wikipédia, 2007

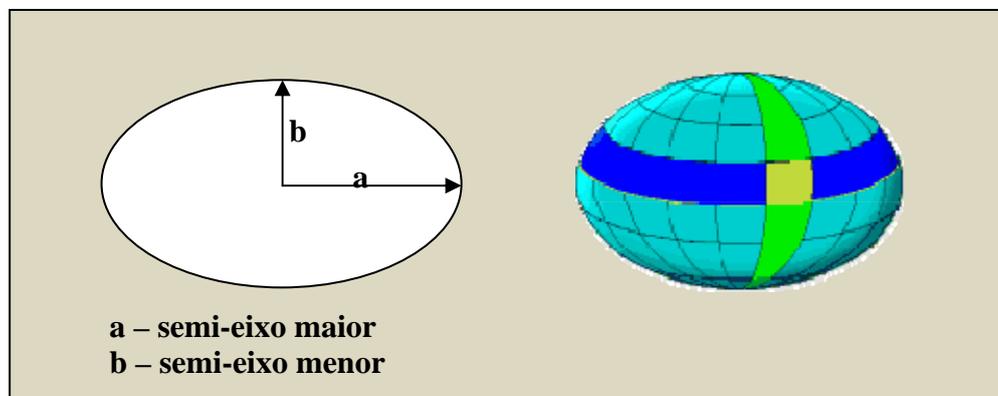


Figura .21: Elipsóide de revolução

Fonte: Wikipédia, 2007

Neste ponto torna-se oportuno colocar o conceito de “datum” planimétrico. Começa-se com um certo elipsóide de referência, que é escolhido a partir de critérios geodésicos de adequação ou conformidade à região da superfície terrestre a ser mapeada. O próximo passo consiste em posicionar o elipsóide em relação à Terra real. Para isto impõe-se inicialmente a restrição de preservação do paralelismo entre o eixo de rotação da Terra real e o do elipsóide. Com esta restrição escolhe-se um ponto

central (ou origem) no país ou região e se impõe, desta vez, a anulação do desvio da vertical, que é o ângulo formado entre a vertical do lugar no ponto origem e a normal à superfície do elipsóide. Fica definido então um dos arcabouços básicos para o sistema geodésico do país ou região: o “datum” planimétrico. Trata-se, portanto, de uma superfície de referência elipsoidal posicionada com respeito a uma certa região. Sobre esta superfície realizam-se as medições geodésicas que dão vida à rede geodésica planimétrica da região.

Um “datum” planimétrico é formalmente definido por cinco parâmetros: o raio equatorial e o achatamento elipsoidais e os componentes de um vetor de translação entre o centro da Terra real e o do elipsóide. Na prática, devido à incertezas na determinação do centro da Terra real, trabalha-se com translações relativas entre diferentes “data” planimétricos.

Dado um ponto sobre a superfície do elipsóide de referência de um certo “datum” planimétrico, a latitude geodésica é o ângulo entre a normal ao elipsóide, no ponto, e o plano do equador. A longitude geodésica é o ângulo entre o meridiano que passa no ponto e o meridiano origem (Greenwich, por convenção). Fala-se aqui da definição do sistema de paralelos e meridianos sobre a superfície elipsoidal do “datum”.

As projeções cartográficas desenvolvem-se, então, através de um mapeamento, normalmente guiado por imposições de conformidade ou equivalência (veja Snyder, 1987), de pontos sobre o elipsóide de referência (aquele escolhido para ser a Terra cartográfica) para pontos sobre uma superfície de projeção desenvolvível num plano (plano, cilindro ou cone). Este mapeamento traduz-se por uma relação entre coordenadas planas ou coordenadas de projeção e coordenadas geodésicas.

II.2.1.O Sistema Geodésico Brasileiro

O Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) é definido a partir de um conjunto de pontos geodésicos implantados na superfície terrestre delimitada pela fronteira do país. Tal como qualquer outro sistema geodésico de referência, ele pode ser dividido em duas componentes: - os dados horizontal e vertical, compostos pelos sistema de coordenadas e superfícies de referência (elipsóide e geóide) e a rede de referência,

consistindo das estações monumentadas, as quais representam a realização física do sistema. A rede de nivelamento conta com aproximadamente 60.000 pontos e foi recentemente ajustada. A rede horizontal é composta por aproximadamente 7.000 pontos (Costa & Fortes, 1991).

II.2.1.1. Sistema de Referência Brasileiro

O SAD69 é um sistema geodésico regional de concepção clássica que tinha como objetivo a unificação do referencial para os trabalhos geodésicos e cartográficos na América do Sul. A sua adoção no Brasil se deu no final da década de 70. A materialização do SAD69 foi realizada por técnicas e metodologias de posicionamento terrestre, destacando-se a triangulação e poligonação.

As estruturas geodésicas e a grande maioria do apoio cartográfico são estabelecidas por levantamentos realizados com o GPS, por serem mais precisas e mais eficientes do que aquelas utilizadas na antiga materialização do SAD69. Conseqüentemente, surge uma dificuldade na compatibilização da documentação existente e dos levantamentos realizados com o GPS. Buscando uma solução para este problema, o IBGE desenvolveu estudos sobre o ajustamento e conexão da Rede Planimétrica do Sistema Geodésico Brasileiro - SGB ao SIRGAS.

A Rede de Referência SIRGAS (Figura II.22) é uma densificação do International Terrestrial Reference Frame (ITRF) na América do Sul, via estações GPS (IBGE, 2000). Sua realização inicial é composta por 58 estações distribuídas pelo continente sul americano, sendo que 11 estão localizadas no Brasil, e destas, 9 coincidem com estações da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) (IBGE, 1997).

As coordenadas das estações foram determinadas por uma campanha GPS realizada no período de 26 de maio a 4 de junho de 1995 e referidas ao ITRF 94, época 1995,4 (IBGE, 1997). De 10 a 19 de maio de 2000 foi realizada a campanha SIRGAS 2000, na qual foram ocupadas 184 estações situadas em todo o continente americano (IBGE, 2000).

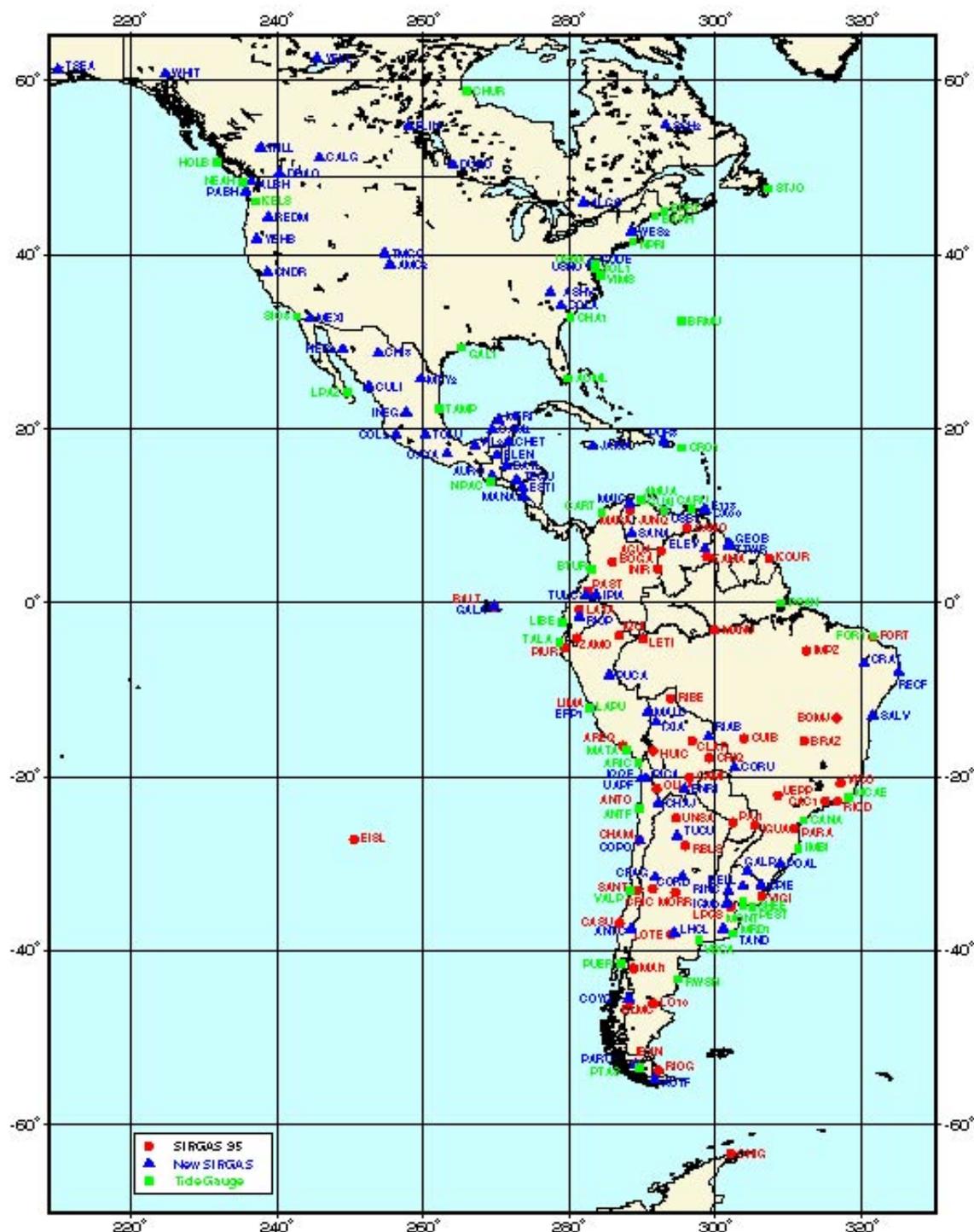


Figura II.22: Estações da rede de referência brasileira - Sirgas

II.2.2. Projeção Universal Transversa de Mercator – UTM

A projeção UTM, proposta pelos Estados Unidos em 1950, abrange a totalidade das longitudes. Para que seja possível, é feito um fracionamento em fusos

ou zonas, de longitude determinada de maneira a não ultrapassar certos limites aceitáveis de deformação.

Este fracionamento já havia sido calculado em módulos de 60 de longitude cada um. Todos são idênticos, de tal modo que os cálculos efetuados para um deles (fuso padrão) têm seus resultados válidos para a totalidade da Terra, isto é, para todos os fusos.

A numeração das zonas, começando com a Zona 1, têm sua origem no meridiano de 180oW (ou seja, no antemeridiano de Greenwich) e vai caminhando progressivamente para Leste até chegar à zona 60, que está compreendida entre 174oE e 180oE. Em Latitude, os fusos são limitados aos paralelos de 80oS e 84oN, porque as deformações seriam muito grandes para latitudes superiores. A diferença de 4o entre latitudes N e S é devida à diferença de achatamento entre o Hemisfério Norte e Hemisfério Sul (Figura II.23).

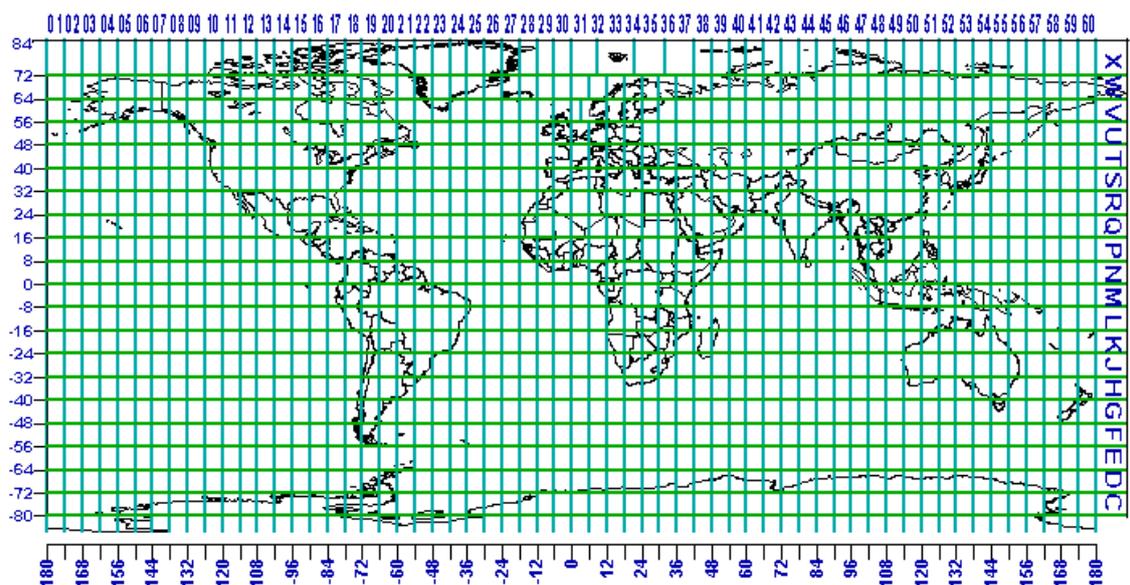


Figura II.23: Projeção UTM

II.3.Sensoriamento Remoto

Por definição “Sensoriamento Remoto é a ciência e a arte de obter informações de um objeto, área ou fenômeno através da análise de dados adquiridos por um mecanismo que não está em contato com o objeto, área ou fenômeno sob investigação”. (LILLESAND & KIEFER, 1987).

O grande desafio das atuais pesquisas em sensoriamento remoto tem sido buscar metodologias que se restrinjam cada vez mais a automação completa ou quase completa dos processamentos digitais para classificação dos diferentes usos da superfície terrestre. Notadamente, a elaboração de algoritmos de índices de vegetação – NDVI e EVI – associados com a alta resolução temporal do sensor MODIS/Terra tem produzido resultados satisfatórios no que concerne ao monitoramento global e regional da dinâmica dos fenômenos fitogeográficos mundiais (Huete et al., 2002).

II.3.1. Comportamento espectral dos solos

A reflectância espectral dos solos é a expressão que registra o fluxo de radiação eletromagnética refletida pelo solo em relação ao fluxo radiante. De acordo com Madeira Netto (2001), a reflectância do solo é uma propriedade cumulativa que deriva do comportamento espectral dos seus constituintes – minerais, orgânicos e fluídos. Dentre os principais constituintes que afetam o comportamento espectral podemos destacar os índices de ferro e matéria orgânica. O tamanho das partículas, a cor, a mineralogia da fração de argila, a rugosidade e umidade também são fatores importantes.

Para Epiphanyo et al. (1992), os principais componentes dos solos são sólidos inorgânicos, matéria orgânica, ar e água. Os espaços porosos entre as partículas de materiais sólidos são ocupados pela água ou ar, em concentrações relativas variantes. A presença da água no solo provoca um decréscimo geral da reflectância em todos os comprimentos de onda (Curcio & Petty, 1951). Essa é uma característica bastante relevante para a região do semi-árido nordestino, uma vez que esses solos têm baixa capacidade de armazenar água, o que resulta em altos valores de reflectância (GUERRA E GUERRA, 1997).

Stoner & Baumgardner(1981) com base em amostras de solos, distinguiram no intervalo espectral de 520 a 2320 nm, cinco tipos de curvas, as quais forma associadas aos constituintes que controlam suas reflectâncias, conforme mostra a figura II.24:

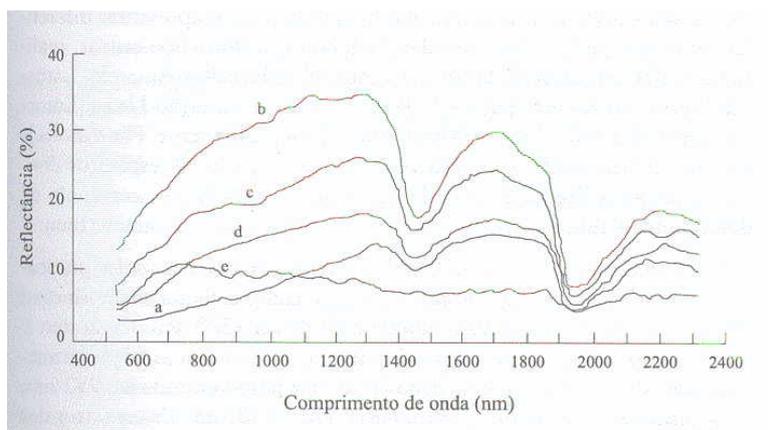


Figura II.24: Espectro de Reflectância Representativos de Horizontes Superficiais dos Solos

Fonte: Madeira Netto, 2002

A curva (a) está relacionada ao alto teor de matéria orgânica e textura argilosa. A (b) aos baixos teores em matéria orgânica e em óxido de ferro. A curva (c) corresponde a teores baixos em matéria orgânico e médio em óxido de ferro. O espectro (d) corresponde ao alto teor de matéria orgânicos e arenosos e o (e) a alto teor de óxidos de ferro e textura argilosa. A análise dessas cinco curvas permitiu tabela que resume suas principais características (NOVO, 1992), conforme mostra a tabela 9.

Tabela 9: Regiões do espectro mais adequadas ao estudo de propriedades físico-químicas do solo

Regiões Espectrais (μm)	Propriedades
0.57	monitoramento de matéria orgânica em solos sem cobertura vegetal
0.7 e 0.9	monitoramento do conteúdo de compostos de ferro férrico
1.0	monitoramento do conteúdo de compostos de ferro ferroso
2.2	monitoramento de umidade do solo

Fonte: Madeira Netto, 2002

Outra característica importante está no fato de se relacionar parâmetros colorimétricos extraídos dos espectros de reflectância dos solos, com seus teores de óxido de ferro. Em ambientes áridos e semi-áridos, Frase(1991) demonstrou a possibilidade de discriminar o tipo de óxido de ferro dominante (Goethita ou hematita) usando a razão de bandas TM3/TM1.

Muitos estudos tem sido completados mostrando significantes relacionamentos entre as propriedades do solo e a sua reflectância espectral no visível e infra-vermelho próximo(Stoner, 1979; Stoner and Baumgardner, 1981; Baumgardner et.al., 1985; DaCosta, 1979; Shields et.al., 1968; Condit, 1960). Esses pesquisadores enfatizam como os componentes orgânicos do solo, C, Óxidos de ferro, textura, água e sais afetam a resposta espectral.

Outro fator importante no comportamento espectral dos solos é o seu teor de matéria orgânica (MOS), que é uma denominação geral para misturas complexas de carbono com características físico-químicas variáveis (Madeira Netto, 2001). De uma maneira geral existe uma relação entre a resposta espectral no visível e no infravermelho próximo, com solos mais escuros contendo mais matéria orgânica, ocasionando uma diminuição da reflectância. Epiphany et al.(1992) citam que o conteúdo de matéria orgânica presente no solo e a composição dos constituintes orgânicos (ácidos húmicos e fúlvicos) tem uma relação inversa na resposta espectral dos solos, principalmente na faixa do espectro que vai de 0,4 a 2,5 μm . Baumgardner et al.(1985), demonstrou que dados espectrais obtidos com escanner óptico-mecânico podem ser usados com computador implementando modelo de técnicas de reconhecimento para produzir mapas, os quais delineam solos contendo diferentes quantidades de matéria orgânica. Nesse estudo, o objetivo era obter um mapa de teste local mostrando a localização de solos com cinco níveis de matéria orgânica. O conteúdo de matéria orgânica e a resposta espectral correspondente de doze comprimentos de onda para cada amostra de solo foram usados como amostras de treinamento. Os níveis de radiância média dos doze canais de comprimento de onda foram plotados versus o conteúdo de matéria orgânica de cada local da amostra. Quando a resposta relativa para o limite espectral de 0.62 a 0.66 μm foi plotado, um valor de r de 0,74 foi obtido. Contudo, os dados plotados parecem indicar que talvez uma relação linear pode não ser válida sobre o limite de matéria orgânica observado. Acima de 2% de matéria orgânica, existe uma correlação linear com um valor mais alto

de r. abaixo de 2%, a curva torna-se mais. Quando a matéria orgânica excede 2% é propriedade dominante na resposta espectral. Quando a matéria orgânica começa a cair, torna-se menos efetiva em mascarar os efeitos de outros constituintes do solo, como o ferro e manganês, na resposta espectral dos solos.

Altos valores de teor de matéria orgânica são raros no semi-árido (Duque, 1980), em consequência das altas temperaturas que alcançam o solos (60°C). neste caso, a textura e a granulometria tornam-se fatores importantes para explicar as características da sua resposta espectral. A granulometria influencia na resposta espectral dos solos, mostrando uma relação inversa entre o tamanho da partícula e a sua reflectância. Quanto menor for o tamanho das partículas, maior será o albedo dos solos (MADEIRA NETTO, 2001). Stoner e Baumgardner (1980) observaram que os solos de textura arenosa aumentam a reflectância, na medida que proporções de areia fina e muito fina tornam-se maiores. A situação é oposta para solos não arenosos de textura média. A reflectância desses solos diminui devido a formação de agregados estáveis em água, ocasionando a criação de uma superfície diferente daquela formada por grãos simples de solos arenosos.

Escadafal et al.(1988, 1989), investigou os relacionamentos entre as cores do solo de Munsell e a resposta espectral do LandSat, especialmente em paisagens áridas e relata que os parâmetros de intensidade, brilho e matiz são significativamente correlacionados com os dados do LandSat. Post et al.(1993), mostrou que a componente intensidade é usualmente o parâmetro que mais afeta a energia refletida da superfície da terra, contudo, o brilho e matiz são também importantes. A pesquisa mostrou que diferentes tamanhos de partículas tem cores diferentes e que frações de solo <2mm e fragmentos de rocha >2mm devem ser medidos.

Através de trabalhos com a fator bidirecional da reflectância com uma amostra de uma região predominantemente Alfisol no White County, Indiana, Seubert et al.(1979), ilustra que existem diferenças significantes entre as características da reflectância em solos levemente, moderadamente e severamente erodidos e áreas deposicionais dentro de uma seqüência de erosão. Latz expandiu esse trabalho para incluir a coleção do espectro dos solos erodidos representando a ordem de solos Mollisol e Ultisol, bem como a ordem de solo Alfisol e Alfisol erodido artificialmente. Os

resultados corroboraram com os encontrados por Seubert e ilustraram as reflectâncias de todos os solos erodidos estudados foram significativamente diferentes das reflectâncias do seu correspondente não erodido.

Weismiller et al. (1985) simulou a resposta espectral do LandsatTM no laboratório para amostras do solo feitas em diferentes níveis de erosão e concluiu a praticabilidade de estimar a erosão do solo através dos dados de satélite. Matéria orgânica e Fe₂O₃ influenciam significativamente nas propriedades da reflectância dos solos, particularmente na região de 0.5 a 1.2 µm. Alto conteúdo de MO tende a baixar a reflectância total, reduz o declive e muda a forma côncava para linear da resposta da reflectância na região de 0.5 a 0.8 µm. Alto conteúdo de Fe₂O₃, aumenta a reflectância total, aumenta o declive muda a forma linear para convexa para a reflectância na região de 0.5 a 0.8 µm. Dentro da região de 0.8 a 1.1 µm, o declive da reflectância é reduzido com o aumento do conteúdo de ferro e o traçado chega a zero. Intermediariamente o conteúdo de MO e Fe₂O₃ afetam a resposta espectral de acordo com suas proporções dentro da amostra de solo(Weismiller, 1985).

Muitos pesquisadores têm estudado os efeitos da mistura matéria orgânica e óxido de ferro sobre a reflectância na superfície dos solos. Os resultados são o testemunho para a complexidade de interação de muitas variáveis na determinação das características da reflectância dos solos. Pazar(1983) avança no desenvolvimento dos conceitos de Latz e usa um espectrofotômetro, integrando a reflectância total para estudar os efeitos da MO e Fe₂O₃ e suas interações sobre as características espectrais de três solos Alfisoils erodidos artificialmente. Ele usou também a técnica de análise da segunda derivada para estudar dados da reflectância obtida. Pazar mostrou novamente que a MO e o Fe₂O₃ são as maiores influências na resposta espectral de solos erodidos e ainda que o tipo de ferro influencia fortemente nas características da reflectância do mesmo. Goethita apresenta cor marrom a amarelo no solo e tem forte absorção na banda do 0.52 a 0.65 µm, forte reflectância de 0.54 a 0.60 µm e fraca absorção na banda de 0.65 µm. Hematita tem alto poder de pigmentação e se apresenta na cor vermelha no solo e absorção na banda de 0.56 µm. Solos que contém Goethita terão energia refletida na região do verde, amarelo e vermelho do espectro, entretanto, quando a hematita está presente, comprimentos de onda verde e amarelo são absorvidos e a energia é refletida para a porção vermelha do espectro.

Em seus estudos Pazar(1983) mostrou que nem o conteúdo de MO, nem o de Fe₂O₃ sozinho controlaram as características da reflectância para os solos, mas, a interação entre os dois. Ele provou que o conteúdo de Fe₂O₃ poderia ser estimado dos dados de reflectância com precisão razoável pela observação das regiões de 0.485, 0.56 e 0.66 µm do espectro e a matéria orgânica na região de 0.66 µm, que correspondem a 3 bandas espectrais do sensor temático.

2.3.2. Albedo

Accioly, et al. (2001), estudou as mudanças no albedo no núcleo de desertificação do Seridó através de imagens Landsat TM e verificou que o albedo aumentou em áreas ocupadas 3121 principalmente por solos Bruno Não-Cálcicos, Litólicos e em áreas onde há predominância de afloramentos de rochas. Os solos Bruno Não-Cálcicos e Litólicos são reconhecidamente mais susceptíveis à erosão. No caso dos solos Litólicos a hipótese mais provável é a de que esse aumento esteja associado à exploração da lenha em áreas que no passado eram mantidas preservadas.

Segundo Robinove et al. (1981) imagens albedo podem ser derivadas diretamente de imagens digital do Landsat e uma seqüência de imagens albedo podem ser usadas para mostrar mudanças na superfície. Mudanças podem ser mapeadas em um nível de percentagem selecionada, para mostrar a localização, o padrão, quantidade, e direção (aumento ou diminuição) na mudança do albedo. Áreas analisadas por Robinove et al. (1981) mostraram que aumento no albedo é primeiramente devido ao solo exposto, e diminuição no albedo é primeiramente devido ao aumento da umidade do solo e aumento na densidade da vegetação.

Estudos apresentados na Assembléia Geral da ONU (2001) relatam a utilidade no uso de dados de satélite para estimar albedo da superfície, emissividade da superfície, temperatura da superfície e parâmetros físicos relacionados. Algoritmos têm sido usados para estimar o albedo da superfície por utilização eficaz de dados de informações de satélite.

A redução da cobertura vegetal também aumenta o albedo, que é a reflectância das propriedades da superfície do solo. Sobre circunstâncias específicas, o aumento no albedo reduz a precipitação local, intensificando o processo de desertificação. Logo, a vegetação é um fator principal na desertificação. Sua perda promove a desertificação, e a desertificação impede sua regeneração (Convention to Combat Desertification, UN, 1998).

II. 3.3. Índices de vegetação

Os índices de vegetação são técnicas de realce particularmente importantes para a estratificação da vegetação verde devido a relação que estes índices têm apresentado com a fitomassa aérea. Costa et al. (2002) encontraram que cerca de 76% da variação no índice de área da planta (IAP) da caatinga da região do Seridó-RN podiam ser explicados pelo Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) extraído de imagens do sensor TM. Por meio desta relação foi possível elaborar o mapa da fitomassa aérea da caatinga de uma área piloto do sertão do Seridó-RN, separando-se as áreas de caatinga aberta das intermediárias e densas.

Considerando que a vegetação é, em geral, decídua as folhas tendem a possuir uma maior reflectância quanto maior for a tonalidade de verde das folhas, isto quer dizer, as plantas mais jovens produzindo maior número de folhas podem ser melhor detectadas no infravermelho próximo, ou seja, na região do EM compreendido entre 0.7 e 1.1 μm . Evidentemente que associado com esta característica física outros fatores são determinantes para a análise digital das imagens: o tamanho e a forma das árvores, a área envolvida pela biomassa vegetal, a presença de sombras, o grau de maturidade da vegetação, entre outros.

No caso da série Landsat, a banda 3 servirá para diferenciar solo exposto da vegetação, inclusive malha viária quando possível, bandas 5 e 7 servirão para interpretar o grau de umidade dos solos e identificar a presença de solos argilosos e a banda 4 para detectar o grau de saúde da vegetação.

Existem mais de 20 maneiras de se calcular o IV, examinaremos aqueles possíveis de serem implementados neste projeto de pesquisa. Jackson e Huete (1991) classificaram os IV em dois grupos: baseado na declividade e baseado na distância. O

IV baseado na declividade corresponde a uma simples combinação aritmética que objetiva obter o contraste entre o padrão de resposta espectral da vegetação na região do vermelho e do infravermelho próximo. O IV baseado na distância mede o grau de vegetação presente aferindo a diferença entre qualquer pixel com vegetação e aqueles que correspondem a solo exposto.

Um terceiro grupo de IV é também proposto por Kjauth e Thomas (1976), chamado de transformação ortogonal e que se utiliza de todo o conjunto de bandas espectrais para definir um novo conjunto descorrelacionado.

O Índice da Razão da Vegetação (IRV) foi proposto por Rouse et al em 1974 para possibilitar a separação entre vegetação e solo ($IRV = \text{banda4} / \text{banda3}$). Os altos índices são relacionados a baixa resposta no vermelho e alta resposta no

$$IVT = \sqrt{\frac{(\text{banda3} - \text{banda4})}{(\text{banda3} + \text{banda4})} + 0.5}$$

infravermelho próximo. O Índice de Vegetação Transformado foi proposto por Deering et al em 1975 com o objetivo de evitar números negativos que são obtidos com o cálculo do IVT e conduzir o resultado para uma distribuição normal.

O Índice de Vegetação Transformado Corrigido (IVTG) foi proposto por Perry e Lautenschlager em 1984 busca corrigir possíveis valores negativos que insistam em ocorrer quando do cálculo do IVDN.

$$IVTG = \frac{(IVDN + 0.5)}{ABS(IVDN + 0.5)} \times \sqrt{ABS(IVDN + 0.5)}$$

O Índice de Vegetação Transformado de Thiam (IVTT) proposto por Thiam em 1997 busca a obtenção de uma imagem com um menor ruído do que aquela obtida com o cálculo do IVDN

$$IVTT = \sqrt{[ABS(\frac{\text{banda4} - \text{banda3}}{\text{banda4} + \text{banda3}})] + 0.5}$$

O Índice de Vegetação da Razão Normalizada (IVRN) proposto por Baret e Guyot em 1991 reduz a influência da topografia, iluminação e os efeitos da atmosfera.

$$IVRN = \frac{\frac{\text{banda3}}{\text{banda4}} - 1}{\frac{\text{banda3}}{\text{banda4}} + 1}$$

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN ou NDVI) foi proposto por Rouse et al (1974) com a finalidade de separar vegetação verde de solo exposto. O NDVI será a técnica de realce a ser amplamente utilizada neste trabalho.

Para o caso do sensor ETM+ o NDVI tem sido obtido com base nas respostas espectrais das bandas 3 (0,63 - 0,69 micrômetros) e 4 (0,76 - 0,90 micrômetros) usando-se a seguinte equação:

$$NDVI_{ETM+} = (TM4 - TM3) / (TM4 + TM3)$$

As técnicas que usam índices de vegetação que tomam como base a relação entre bandas têm as seguintes vantagens: ressaltam as diferenças espectrais entre áreas com diferentes percentagens de cobertura verde, suprimem os efeitos da topografia e normalizam as diferenças na irradiância quando são utilizadas imagens multitemporais (Singh, 1989).

II. 4.4. Componentes Principais

Novos sensores orbitais que operam na faixa espectral do infravermelho termal apresentam imageamento em intervalos de comprimento de ondas, estas faixas (bandas) podem apresentar uma correlação interessante no processamento de imagens. O sensor ASTER, por exemplo, opera em 5 faixas de imageamento. A grande correlação entre bandas multiespectrais em uma imagem de Sensoriamento Remoto é dada pela própria estrutura de aquisição dessas imagens. Tem-se certa similaridade entre as bandas por expressarem essencialmente a mesma informação (LILLESAND, 1994).

A Análise por Componentes Principais (Principles Component Analysis - PCA) é usada como um método de compressão de dados. Ela permite que dados redundantes sejam compactados em poucas bandas, isto é, a dimensão dos dados é reduzida. As bandas de dados PCA são não-correlacionadas e independentes, e são freqüentemente melhor interpretadas que os dados fonte (JENSEN, 1996). Esta técnica tem sido empregada em várias aplicações de sensoriamento. A utilização de Principais Componentes em imagens hiperespectrais é um exemplo deste tipo de aplicação.

No processamento de imagens a principal tarefa executada pela PCA pode ser descrita da seguinte forma: dadas n imagens brutas (sem qualquer outro tipo de processamento), são analisadas as correlações entre elas e produzido um novo conjunto de n novas imagens, com nenhuma correlação entre si. De modo geral, esse novo conjunto de imagens terá as seguintes características: a primeira delas, chamada de Primeira Componente Principal (PC1) irá conter a informação que é comum a todas as n bandas originais; a Segunda Componente Principal (PC2) irá conter a feição espectral mais significativa do conjunto e assim sucessivamente as PCs de ordem mais alta irão conter feições espectrais cada vez menos significantes, até a última PC, que concentrará então a informação de ruído (CROSTA, 1992).

A primeira componente principal é o autovetor associado ao maior autovalor, a segunda componente principal é o autovetor associado ao segundo maior autovalor, e assim por diante.

Os valores dos dados da análise por componentes principais são resultantes de simples combinações lineares de valores de dados originais (LILLESAND, 1994). Para uma imagem com duas bandas podemos exemplificar a combinação pelas equações abaixo:

$$DN_I = a_{11}DN_A + a_{12}DN_B \quad (1)$$

$$DN_{II} = a_{21}DN_A + a_{22}DN_B \quad (2)$$

Onde:

- DNI e DNII: número digital (nível de cinza) no novo sistema de coordenadas;

- DNA e DNB: número digital (nível de cinza) no sistema de coordenadas original;
- a11, a12, a21 e a22: coeficientes de transformação.

A PC1 contém o sombreamento topográfico da cena deixando as demais PCs desprovidas de informações topográficas enquanto que a última PC irá conter toda concentração de ruídos, podendo ou não ser descartada.

CAPÍTULO III

**ASPECTOS DE DETECÇÃO DE ÁREAS DE RISCO À DESERTIFICAÇÃO NA
REGIÃO DO SERIDÓ**

RESUMO

Um dos indicadores da desertificação é a redução da cobertura de plantas perenes. Aliado a essa mudança está a degradação dos solos das áreas com menor cobertura vegetal, sendo possível sua identificação através de imagens de sensoriamento remoto. Além de existirem poucos levantamentos florestais que cobrem boa parte do bioma, os mesmos utilizaram metodologias diferentes, dificultando assim uma comparação de resultados e avaliação da evolução da cobertura vegetal. Com base nisso, este estudo buscou contribuir com a pesquisa aplicada a mapear e analisar as áreas de risco passíveis de desertificação no semi-árido brasileiro, fazendo uma abordagem conceitual e espacial do problema, tomando como estudo de caso uma área denominada Núcleo de Desertificação do Seridó – RN/PB, utilizando tecnologias de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento.

Palavras-chave: Desertificação, Sensoriamento Remoto, Classificação Supervisionada, Análise da Precipitação

ABSTRACT

One of the desertification indicators is the reduction of vegetation cover of perennial plants. Associated with this reduction is the soils degradation. Both, reduction of vegetation cover and soil degradation can be evaluated using remote sensing images. Few and localized forest surveys using different methodologies complicate multitemporal comparisons of vegetation cover in this region. In this context, the objective of this study was to contribute with the applied research to map and to analyze the areas of desertification risks in the Brazilian semi-arid. To achieve the objective remote sensing and GIS techniques, such as supervised classification and DEM, were used to model the changes in soil cover in a pilot area located at the Desertification Nucleus of Seridó (State of Rio Grande do Norte, Brazil).

Keywords: Desertification, Remote Sensing, Supervised Classification, Precipitation Analysis

III.1. INTRODUÇÃO

No Brasil, as áreas mais susceptíveis à desertificação estão no semi-árido da região Nordeste e do Estado de Minas Gerais. O bioma Caatinga está inserido nesta região. Naturalmente frágil, este bioma é, provavelmente, o mais ameaçado e o menos conhecido dos biomas brasileiros. Este ambiente é caracterizado por evapotranspiração elevada, ocorrência de períodos de seca, solos de pouca profundidade, baixa fertilidade e reduzida capacidade de retenção de água limitando o seu potencial produtivo. O Nordeste brasileiro tem cerca de 80% de sua extensão classificada como semi-árida, possuindo cerca de 34 milhões de hectares de caatinga (BRASIL, 2003).

Inúmeras políticas contribuíram para exacerbar o uso inadequado dos recursos florestais do semi-árido em geral e do seridó, em particular. A elevação extraordinária dos preços do petróleo, em 1973, fez com que o povo brasileiro estimulasse o uso do carvão vegetal, por parte das indústrias nacionais (ver referência).

O uso inadequado e progressivo das terras do semi-árido nordestino, favorecendo a erosão dos solos e a redução da cobertura vegetal, associada às variações climáticas e as atividades humanas, degrada o meio ambiente. Tal fato é agravado pelo consumo intensivo dos recursos naturais. Nestas condições, os processos de desertificação são cada vez mais significativos acarretando redução nos recursos hídricos e na produtividade das terras trazendo consequências sociais e econômicas para as populações envolvidas.

É um espaço que requer preciso e adequado manejo dos recursos naturais de solo e água para evitar a degradação e, no limite, a desertificação. Em consequência do desmatamento, tendo como objetivo principal a produção de lenha para alimentar os fornos das olarias e cerâmicas da região, estima-se que O Seridó tenha perdido nos últimos quarenta anos grande parte da sua vegetação nativa.

O monitoramento e a avaliação de impactos ambientais são hoje uma exigência da sociedade para todos os setores e em todos os níveis de escala espacial. O aumento da complexidade dos trabalhos de mapeamento e monitoramento da superfície é o principal responsável pelos avanços das formas de captação e

manipulação das informações. Nas últimas décadas as áreas de sensoriamento remoto e geoprocessamento lançaram no mercado uma variedade enorme de meios e aplicativos para a execução dessa tarefa.

Considerando o papel que o uso das terras do semi-árido tem nos processos de desertificação, este trabalho busca fazer uma avaliação da mudança do uso e da cobertura do solo na região do Seridó – RN/PB entre os anos de 1987 e 2000, utilizando técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento.

III.1.1.As tecnologias da geoinformação e desertificação

Nas últimas décadas as áreas de sensoriamento remoto (Lillesand e Kiefer, 1994; Crosta, 1992) e geoprocessamento (Burrough, 1998) lançaram no mercado uma grande variedade de sensores, imagens e aplicativos para a execução do monitoramento e avaliação de impactos ambientais em diversas escalas. O Zoneamento Ecoambiental dentro das unidades geoambientais, por exemplo, é fundamental, dentro das políticas conservacionistas pode utilizar estas geotecnologias.

Alguns trabalhos sobre o Bioma Caatinga que utilizam técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento são mostradas em: Carvalho (1986); Nobrega (1991), Maldonado (1999), Lopes (2005), Camacho e Baptista (2005), Candido et al (2002), Tavares Jr. et al (2005) e Barbosa (1999).

Considerando o papel que o uso das terras do semi-árido têm nos processos de desertificação, este trabalho faz uma avaliação da mudança do uso e da cobertura do solo na região do Seridó – RN/PB entre os anos de 1987 e 2000, utilizando técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento.

III.1.2.Núcleo de desertificação do Seridó – RN/PB

O núcleo de desertificação do Seridó – RN/PB é classificado pelo MMA (Ministério do Meio Ambiente) como uma das mais atingidas pelo processo de desertificação. Essa área vem sofrendo um processo intenso de desmatamento devido, principalmente, a extração de lenha para alimentação dos fornos das olarias e cerâmicas instaladas na região. Trabalhos como Accioly (2004), Accioly (2001) e Costa (2001) analisam a desertificação desta área em questão.

Os tipos climáticos para região, de acordo com a classificação proposta por Wilhelm Köppen (1846 – 1940), são: BSs'h': climas muito quentes, semi-áridos, com estação chuvosa se adiantando para o outono, antes do inverno; e BSw'h': climas muito quentes, semi-áridos, com estação chuvosa atrasando-se para o outono. A precipitação é escassa e mal distribuída, as temperaturas nunca são inferiores a 24°C e a estação seca pode prolongar-se até 10 meses.

A altitude varia de 200 a 700 m com média de 270 m. O clima é tropical semi-árido com precipitação média anual de 550 mm e estação chuvosa de fevereiro a maio. As classes de solo foram mapeadas por Silva et al. (2006). Nessa área predominam os Luvisolos Crômicos vérticos fase erodida, quase sempre, associados com Neossolos Litólicos, os Planossolos Nátricos, ocorrendo em áreas com relevo plano e suave ondulado e os Neossolos Regolíticos que são solos profundos mas de textura arenosa. A área é dominada por vegetação de caatinga heperxerófila arbórea-arbustiva. Três classes dessa tipologia de caatinga podem ser encontradas na área: densa, semi-densa e aberta (Figura III.1). A maior parte da área piloto encontra-se sob intensa pressão antrópica com ocorrência esparsa de caatinga “preservada”. Até o final da década de 1980, a cultura do algodão dominava a ocupação da área. No início da década de 1980, essa cultura foi, praticamente, devastada pela praga do bicuco (*Anthonomus grandis* Boheman, 1843). Atualmente, pastagens, extração de minerais diversos e olarias, que usam a lenha como combustível, são os principais responsáveis pelos impactos ambientais que levam à degradação dos solos.



Figura III.1: Caatinga Aberta – Seridó – RN/PB
Fonte: Accioly, 1999

III.2. MATERIAIS E MÉTODOS

III.2.1. Área de Estudo

Foi selecionada uma área piloto de formato retangular, de aproximadamente 75000 ha, localizada no Núcleo de Desertificação do Seridó – RN/PB, com base nos dados do MMA, que classifica essa região como uma das quatro mais atingidas pelo processo de desertificação. Essa área vem sofrendo um processo intenso de desmatamento, devido principalmente a extração de lenha para alimentação dos fornos das olarias e cerâmicas instaladas na região. A área do estudo abrange parte dos municípios de Parelhas (leste), Jardim do Seridó (norte), Santana do Seridó (sul), São José Sabugui (sudoeste) e Ouro Branco (sudeste), conforme mostra a figura III.2.

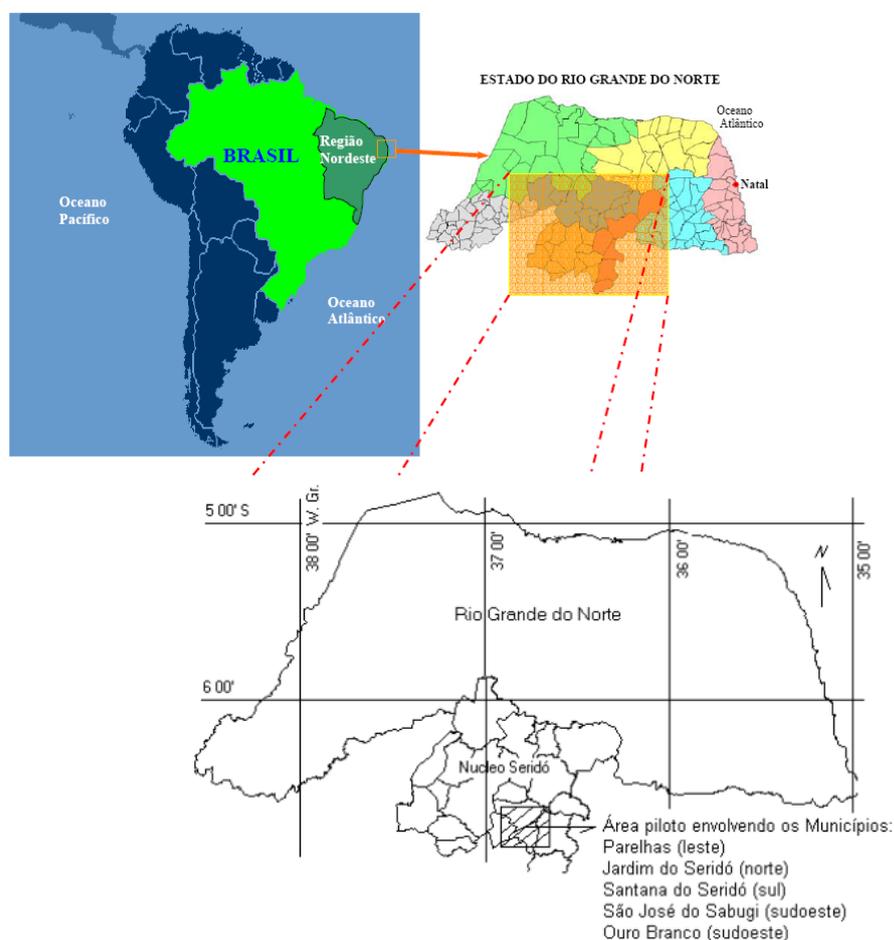


Figura III.2: Localização da Área de Estudo

Localiza-se, aproximadamente, entre as coordenadas 07°00' a 6°30' de latitude sul e 37°00' a 36°30' de longitude oeste. Esta área encontra-se mapeada na folha

topográfica de Jardim do Seridó (SB-24-Z-B-V e MI – 1131) na escala 1/100000, restituída pelo Serviço Geográfico do Exército, em 1968.

III.2.2. Georreferenciamento e vetorização da carta de Jardim do Seridó

A carta topográfica do Jardim do Seridó foi escaneada na 3ª Divisão de Levantamentos do Exército – 3ª DL, em scanner tipo A0. Em seguida ela foi georreferenciada e feita a vetorização dos planos de informação: rodovias, área urbana, curvas de nível, hidrografia, etc. No caso aqui estudado foi utilizado o ArcGis 8.7.

Foi criado um banco de dados (geodatabase – Geographic Data Bases) no ArcCatalog para armazenar todas as informações resultantes do processo de vetorização. Além dos arquivos gráficos, este formato de dados possibilita, ainda, o armazenamento das relações espaciais entre as classes de objetos geográficos num banco de dados georreferenciados.

Dentro do geodatabase foram criados os planos de informação: rodovias, área urbana, curvas de nível, hidrografia. Nesta etapa do processo definiu-se a geometria da classe e adotou-se o sistema de referência Córrego Alegre, em concordância com as especificações da carta e sistema de projeção UTM. Posteriormente, o sistema de referência foi convertido para SAD-69.

O georreferenciamento foi feito utilizando-se as coordenadas dos quatro cantos da carta. O cálculo do erro foi feito pelo método dos mínimos quadrados, com um erro residual de 9,56681, estando de acordo os índices recomendados pelo IBGE que são de 10% do valor da escala.

Após a vetorização das feições foi realizada a auditoria das tabelas para investigar a existência de duplicações de coordenadas com o mesmo atributo. Este procedimento foi necessário para evitar interferências nos cálculos dos parâmetros estatísticos. Uma outra abordagem, de caráter qualitativo, foi realizada no intuito de identificar feições no mapa inconsistentes, eliminando-se erros decorrentes das interpretações da carta durante o processo de transformação do formato “raster” para o formato vetorial.

III.2.3. Corregisto da imagem de 2000

A imagem Landsat TM de 2000 foi corregistrada a partir da imagem Landsat TM para o ano de 1987, utilizando os pontos de controle, conforme descritos na tabela abaixo:

Tabela III.1: Pontos utilizados para corregisto da imagem Landsat para o ano de 2000

Descrição	Coordenadas	
	Norte	Leste
Cruzamento saindo de Parelhas. Entrada à esquerda vai para Jardim de Seridó enquanto seguindo em frente vai para Acari	746794	9271039
Entrada para Ouro Branco	743989	9270513
Entrada para o ponto 29 (Fazenda)	740530	9272456
Lajedo visitado com o Sr. José Felipe da Silva (vulgo Zé Bento). O lajedo fica dentro da Fazenda Canto Alegre.	740539	9272554
Caatinga Densa dentro da Fazenda do Sr. Raul Medeiros	730535	9255237
Área de caatinga aberta não antropizada	741500	9263000

O erro associado ao corregisto da imagem acima mencionada é mostrado na tabela a seguir:

Tabela III.2: Erro do corregisto da imagem Landsat TM para o ano de 2000

Control Point Error: (X) 3.0521
 Control Point Error: (Y) 3.0850
 Total: 4.3396

X input	Y Input	X Ref.	Y Ref.	Type	X Residual	Y Residual	RMS error	Contri b.	Match
746694	9274156	746794	9271039	Control	0,8621455	1,44553236	1,6831098	0,38785	
743261	9270171	743389	9270513	Control	0,3919687	1,04155528	1,1128687	0,25644	0,94585
740292	9274255	740530	9272456	Control	-1,0547950	5,10620299	5,2140101	1,2015	0,94149
740176	9277877	740539	9272554	Control	-0,5990835	1,38502540	1,5090382	0,34773	0,87776
730983	9255469,	730535	9255237	Control	0,2489290	4,24461181	4,2519048	0,97979	0,96729
741864	9263970	741500	9263000	Control	3,1685494	3,93259576	5,0502490	1,16376	0,95528

III.2.4. Interpretação Visual

Foi escolhida a composição colorida 5(R), 4(G) e 3(B), através de testes das melhores combinações de bandas do Landsat 5 TM no visível e no infravermelho, para extração das informações sobre parâmetros associados ao uso e ocupação do solo.

Foi aplicado um aumento linear de contraste nas três bandas para realçar a imagem e melhorar a visualização.

A carta imagem foi o produto gerado a partir da composição colorida e do realce (Figura III.1). A imagem foi exportada no formato geotif. A edição da carta foi feita utilizando o software ArcView 3.2, onde foram adicionadas as informações vetoriais de interesse, como: estradas federais e estaduais, localização dos municípios e principais rios. Foi criado um grid coordenado, utilizando o sistema de projeção UTM, fuso 24 e o sistema de referência SAD – 69.

A interpretação visual da carta imagem envolveu o uso de elementos como variação na tonalidade, na textura, nos padrões, nas associações, no formato e nas dimensões das feições. A separação das classes de cobertura caatinga densa, semidensa e aberta puderam ser realizadas com base na textura e na tonalidade das imagens.

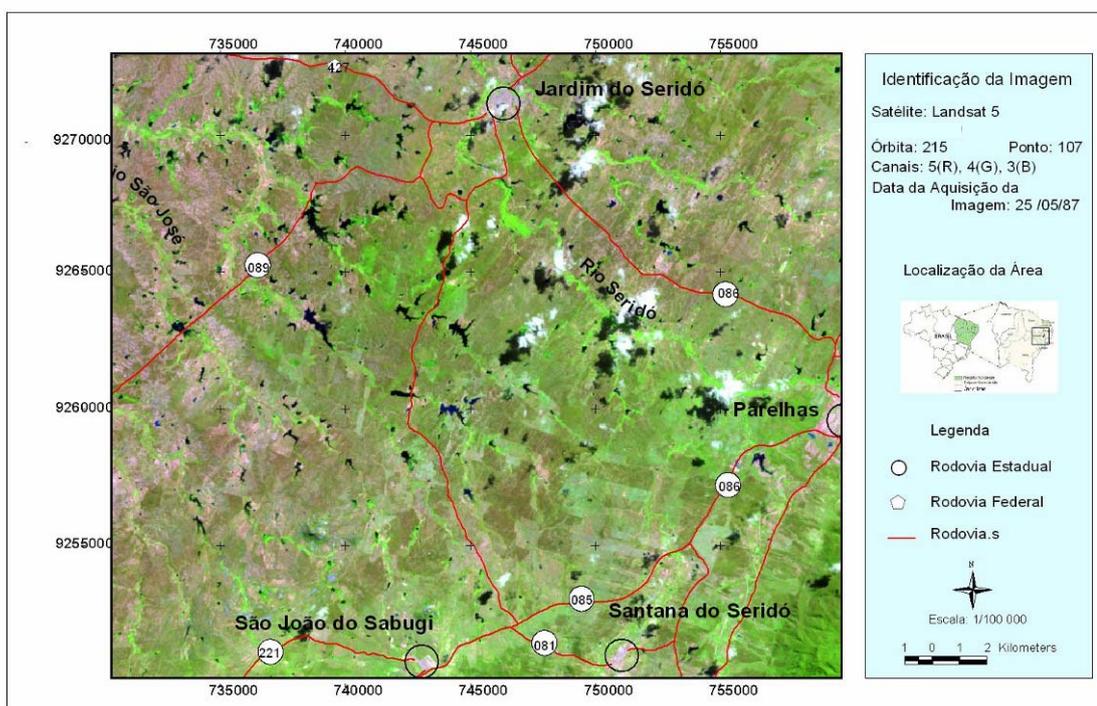


Figura III. 1. Carta Imagem da Área de Estudo.

III.2.5. Classificação das Imagens

Foi realizada a classificação supervisionada utilizando o método da máxima verossimilhança (MAXVER) (Crósta, 1992). A identificação das classes de uso para as amostras de treinamento foi obtida e outras informações georreferenciadas (mapas topográficos, mapas de vegetação, etc.). As classes selecionadas foram: caatinga densa, caatinga semidensa, caatinga aberta, solo exposto, pastagem, área urbana, vegetação ribeirinha e açudes.

III.2.6. Modelo numérico de terreno

O Modelo Numérico de Terreno foi gerado com a utilização do software ArcView 3.2, incluindo o pacote 3D *Analyst* e *Spatial Analyst*, a partir das isolinhas de curvas de nível anteriormente vetorizadas e serão explicadas a seguir.

Os pontos amostrais, resultantes do processo de conversão das isolinhas, a princípio, não armazenam informações tridimensionais. Isso acontece porque no processo de vetorização no ArcGis um ponto é representado através de um par de coordenadas (X,Y), sem a componente Z. Os valores das cotas são inseridos como atributos da tabela, num processo conhecido como geocodificação. Com base nisso, a geração imediata dos pontos tridimensionais representadas pela inclusão da coordenada Z no modelo numérico não foi possível. Foi necessária a conversão do ponto bidimensional num ponto tridimensional, associando as coordenadas Z aos valores das respectivas cotas. O produto obtido a partir do MNT foi o mapa de elevação.

III.2.6 Espacialização climática

Com o objetivo de se conhecer melhor a dinâmica da precipitação no período de 1971 a 1990, foram realizadas análises a partir das médias anuais de quatro postos pluviométricos da Sudene, situados nos municípios de Jardim do Seridó, Parelhas, São João do Sabugi e Ouro Branco. O município de Santana do Seridó não contribuiu para as análises por ter sido desativado desde 1975 (Figura III.3).

Especialmente para os anos das imagens, 1987 e 2000, foi feita a distribuição das precipitações médias mensais para avaliar a ocorrência dos períodos seco e chuvoso.

De acordo com a análise das médias anuais de precipitação de 1971 a 1985, no município de São João do Sabugi, observa-se que as maiores médias pluviométricas ocorreram nos anos de 1974 (111 mm) e 1985 (130 mm). Estas médias são consideradas atípicas para região em relação aos anos anteriores, principalmente para os anos de 1983 e 1990, que registraram os menores índices de chuva (22 e 24 mm, respectivamente).

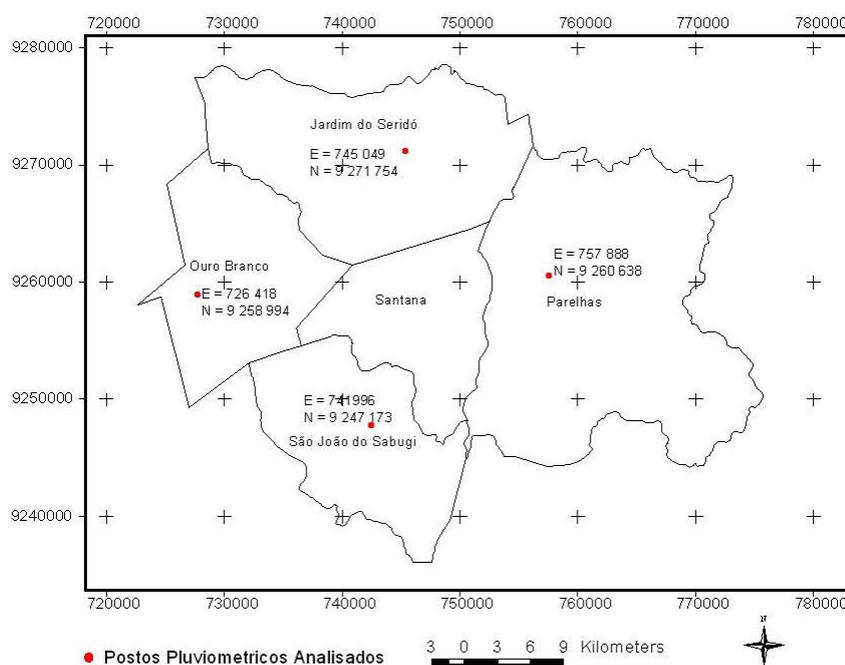


Figura III.3: Distribuição Espacial dos Postos Pluviométricos na Área de Estudo

No município de Jardim do Seridó a maior média pluviométrica ocorreu no ano de 1974, correspondendo cerca de 106mm, seguida do ano de 1975, com, aproximadamente, 92 mm, como pode ser visto no gráfico. Estas médias podem ser consideradas bastante elevadas quando comparada com a média dos anos anteriores, que registraram índices pluviométricos entre 20 e 80 mm, com a menor média no ano de 1983 (21 mm).

A análise do município de Parelhas mostra as médias anuais de precipitação de 1971 a 1990. A maior média pluviométrica do município ocorreu no ano de 1974, correspondendo a 92mm, enquanto que, a menor média pode ser observada no ano de 1990. O ano de 1983 também registrou uma média de precipitação de 19 mm, abaixo da média local que fica entre 30 e 80mm.

No município de Ouro Branco as maiores médias pluviométricas ocorreram nos anos de 1984 e 1977, com 112 e 99 mm, respectivamente. A menor média ocorreu no ano de 1983, com cerca de 22 mm.

O gráfico (Figura III.4) mostra a distribuição das precipitações médias mensais dos municípios, para os postos analisados. Pode-se observar que a distribuição em todos os postos é bastante semelhante, verificando-se, para toda a região, que as maiores precipitações ocorreram no período de fevereiro a maio, caracterizando um período chuvoso de 3 meses para a região, com índices pluviométricos entre 100 e 800 mm. O período seco, portanto, se estende por nove meses, de maio a dezembro, sendo os menores índices pluviométricos registrados entre os meses de julho a dezembro.

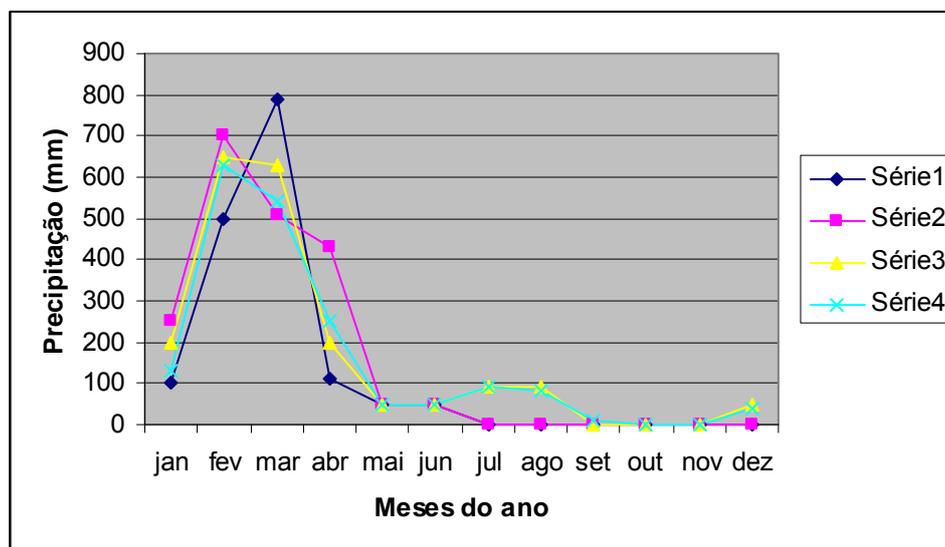


Figura III.4: Distribuição das precipitações médias mensais dos municípios

Segundo Andrade-Lima (1981), a região apresenta um clima seco e quente, com chuvas que se concentram nas estações de verão e outono. A influência direta das massas de ar (Equatorial Atlântica e Equatorial Continental, a Polar e as Tépidas Atlântica e Calariana) interfere na formação do seu clima. Essas massas adentram o interior do Nordeste com pouca energia, tornando variáveis os volumes de precipitação e os intervalos entre as chuvas.

III. 3.RESULTADOS E DISCUSSÃO

O mapa temático apresentado na Figura III.5 é o resultado da avaliação das médias trimestrais (fevereiro a abril) dos postos pluviométricos, para o ano de 1987. Numa análise comparativa, observou-se que, no período de fevereiro a abril a média pluviométrica foi inferior a 100mm no município de São João do Sabugi e entre 100 e 150mm nos municípios de Parelhas, Jardim do Seridó e Ouro Branco. Entre os meses de setembro a novembro não choveu.

A Figura III.6 espacializa as médias trimestrais dos postos pluviométricos, para o ano de 2000, no período de fevereiro a abril. Para este período observou-se que, a média pluviométrica ficou entre 100 e 150 mm nos municípios de Jardim do Seridó e Ouro Branco e entre 150 e 200 mm nos municípios de São João do Sabugi e Parelhas. Entre os meses de setembro a novembro não choveu nos municípios de São João do Sabugi e Jardim do Seridó e nos municípios de Ouro Branco e Parelhas os índices médios de precipitação foram inferiores a 2mm.

Essas baixas médias pluviométricas podem ser explicadas pelo fato de que os períodos chuvosos registram índices em torno de 500mm, porém o período seco, que pode prolongar-se por até 10 meses, na maioria das vezes, não registram nenhuma ocorrência de chuvas.

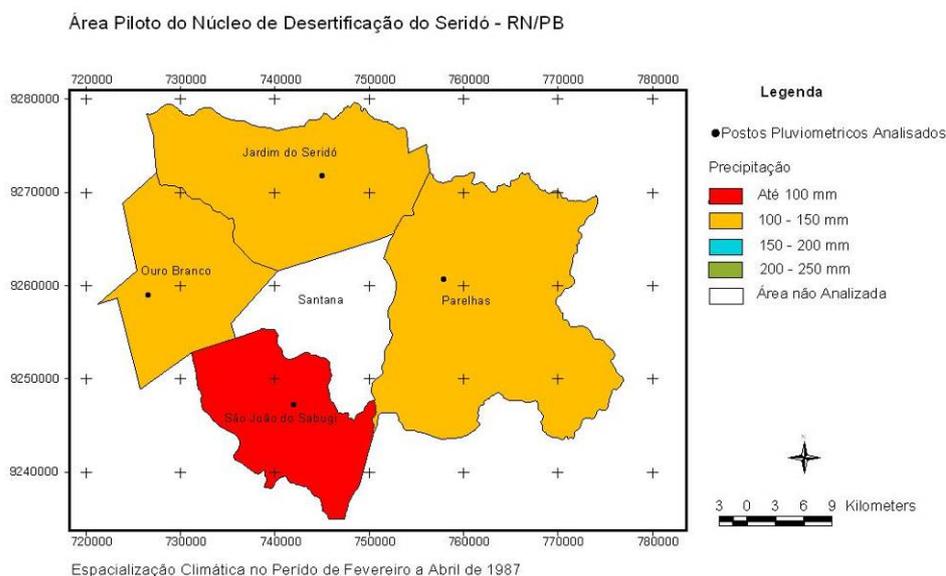


Figura III.5. Espacialização climática no período de fevereiro a abril de 1987

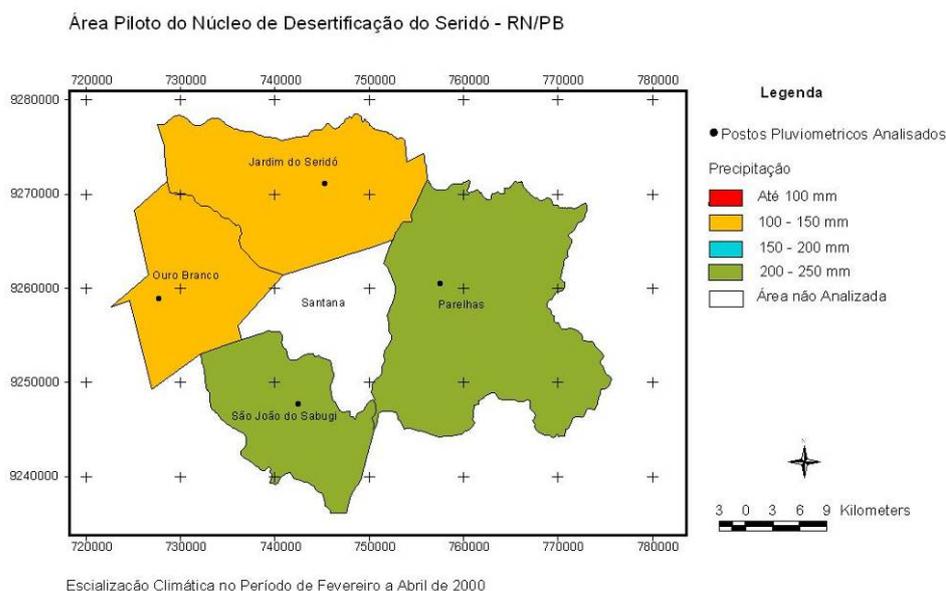


Figura III.6. Espacialização climática no período de fevereiro a abril de 2000

III.3.1. Classificação das Imagens

Com base na carta imagem de 1987 foi feita uma interpretação visual do local (identificação as classes envolvidas no estudo) de acordo com a legenda adotada na classificação de 2000. Na carta imagem podem ser identificadas, também, as principais vias de acesso aos municípios, bem como informações relativas à hidrografia.

A partir da classificação feita para a imagem de 2000, que mostra a espacialização da ocupação das classes acima mencionadas para o referido ano, foi possível fazer uma análise quantitativa e da distribuição espacial de cada classe entre as imagens de 1987 (Figura III.7) e 2000 (Figura III.8).

Após a realização da classificação, foi determinada a área correspondente a cada classe, o que possibilitou a montagem da tabela de percentuais de ocorrência de cada classe (Tabela III.1), em cada período.

Na Tabela III.1, percebe-se que, considerando a cobertura vegetal total, houve um equilíbrio percentual entre as classes, com uma redução de apenas 7%. No entanto, avaliando as classes separadamente, a vegetação ribeirinha foi a mais afetada, sofrendo uma redução de, aproximadamente, 57,3%, enquanto que as áreas de caatinga aberta

aumentaram em torno de 113,6%. Pequenas alterações foram observadas para as classes de caatinga densa e semidensa. A caatinga semidensa sofreu uma redução de 21,3 % e a caatinga densa um aumento de 23,7% no mesmo período. A redução nas áreas de vegetação ribeirinha implica em maior assoreamento dos rios e açudes. O aumento na área de caatinga aberta está associado ao consumo de lenha e ao desmatamento para atividades agropecuárias, o que tende a acelerar os processos de desertificação.

Foi observada uma redução de 31,7% nos corpos d'água, contudo, o fato não pode ser caracterizado como sendo irreversível devido à seca que assolou a região entre os anos de 1997 e 1999.

Com relação às classes solo exposto e pastagens verificou-se um aumento de área. Enquanto em 1987 a ocorrência de solo exposto e pastagem eram de 5,62 e 13,70%, em 2000 esses percentuais foram de 9,59 e 19,75, o que reflete um aumento de 70,6% e 39,8%, respectivamente.

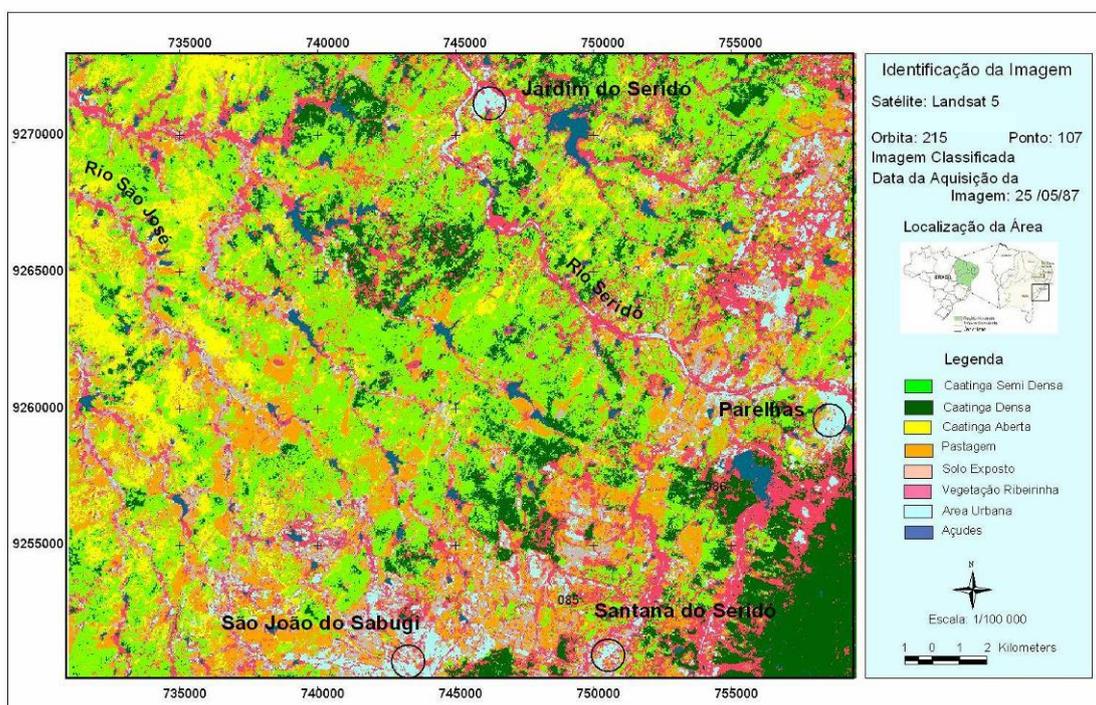


Figura III.7. Imagem classificada de 1987

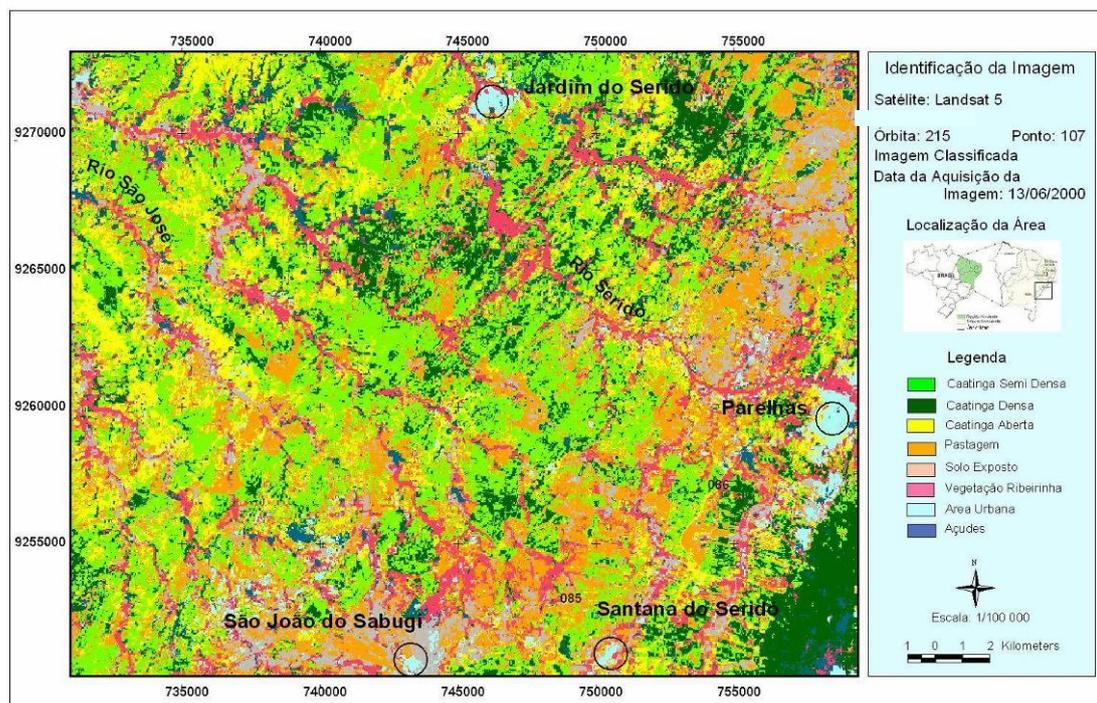


Figura III.8. Imagem classificada de 2000

Tabela III.3: Percentuais de ocorrência de cada classe

Classe	1987	2000
Veget. ribeirinha	18,64	7,96
Área urbana	5,09	1,69
Açude	1,92	1,31
Caatinga aberta	8,70	18,58
Caatinga densa	11,47	14,19
Caatinga semidensa	33,36	26,25
Solo exposto	5,62	9,59
Pastagem	13,70	19,15
Não classificada	1,47	1,27

O mapa digital de elevação (Figura III.9) foi gerado para que pudesse ser feita uma análise visual para uma possível associação entre as áreas mais degradadas e suas respectivas altitudes. Comparando-se com as classificações realizadas anteriormente, percebe-se que as áreas onde ocorre um aumento nas classes de solo exposto, caatinga aberta e pastagens situam-se nas áreas mais planas. Uma observação que pode ser

considerada é a ocorrência de caatinga densa nas áreas mais altas, o que pode ser um dos fatores associados ao aumento da classe no período considerado. As altitudes da região variam entre 200 e 700m.

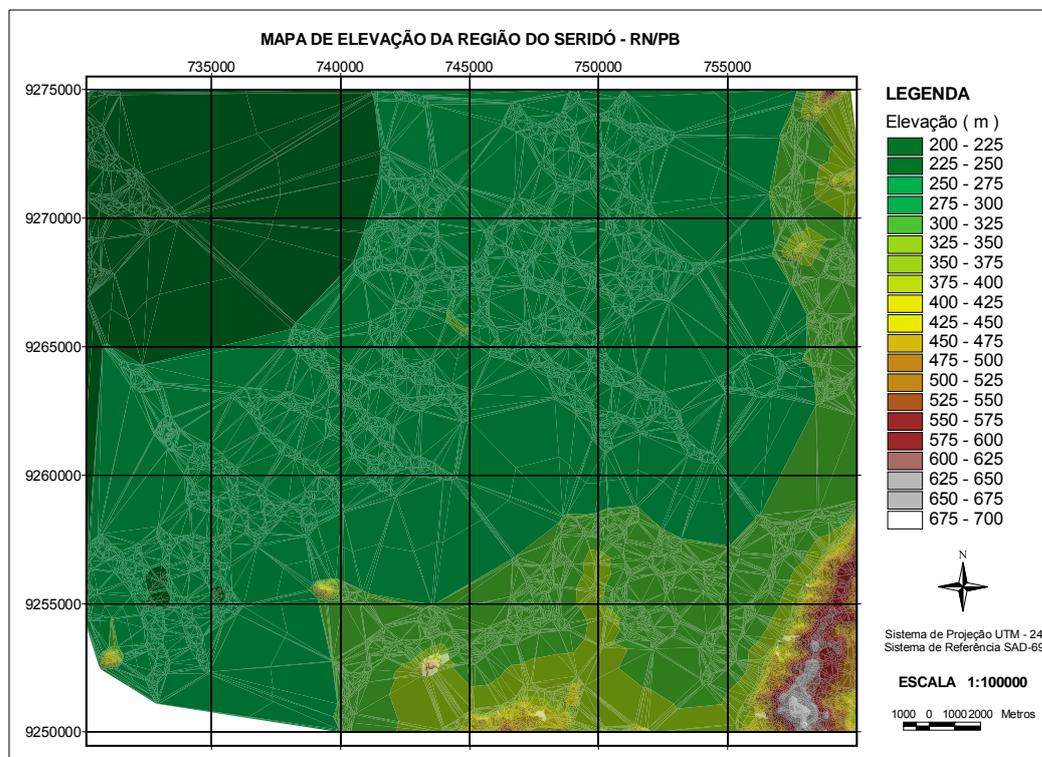


Figura III.9. Mapa de elevação da área de estudo

III. 4.CONCLUSÕES

Neste trabalho fez-se uma avaliação da mudança do uso e da cobertura do solo na região do Seridó – RN/PB entre os anos de 1987 e 2000, utilizando técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. Esta área está inserida em um núcleo se desertificação.

Houve uma significativa redução nas classes de vegetação ribeirinha e caatinga semidensa e um aumento nas áreas de caatinga aberta, pastagem e solo exposto entre os anos de 1987 e 2000.

Os riscos à desertificação aumentaram na medida em que houve aumento na área de caatinga aberta e nas áreas com solo exposto e a redução das áreas com vegetação ribeirinha entre os anos 1987 e 2000.

Houve redução no espelho d'água dos açudes no ano de 2000 associada, provavelmente, a ocorrência de seca entre os anos 1997 e 1999.

A área estudada apresenta uma concentração de chuvas ao longo de três a quatro meses e uma má distribuição ao longo dos anos. A associação desses fatores favorece a degradação dos solos pela falta de uma cobertura vegetal no período seco, o que acaba acelerando o processo de desertificação.

É necessário um estudo mais aprofundado a cerca dos indicadores do processo de desertificação da região, para que sejam definidas medidas necessárias para controle e monitoramento que assegurem a preservação do bioma.

**RESPOSTA E MAPEAMENTO ESPECTRAL DE SOLOS DE UMA ÁREA PILOTO DO
NÚCLEO DE DESERTIFICAÇÃO DO SERIDÓ (RN)**

RESUMO

A erosão do solo pela água causada pelo aumento da agricultura e campos de pastagens na vegetação de caatinga é o principal fator que contribui para desertificação no semi-árido do Brasil. A erosão do solo pela água remove a superfície do solo e expõe as camadas subsuperficiais que conduzem às mudanças em algumas propriedades químicas e físicas do solo, variando com a profundidade. A reflectância do solo é uma propriedade cumulativa que se deriva do comportamento espectral inerente da combinação heterogênea da matéria mineral, orgânica, e fluida que compreende os minerais dos solos (Stoner & Baumgardner, 1981). Os estudos numerosos descreveram as contribuições relativas à reflectância de solos naturais de parâmetros do solo tais como, a matéria orgânica, a umidade do solo, a distribuição de tamanho da partícula, a estrutura do solo, o índice do óxido do ferro, a mineralogia do solo, e o material de origem (Stoner & Baumgardner, 1981; Epiphany et al., 1992; Madeira Netto, 2001). O objetivo atual deste trabalho é: (a) para avaliar a variação na resposta espectral do solo com aumento da profundidade; (b) para relacionar esta variação com índice do carbono orgânico e os índices de óxido do ferro presentes no solo; (c) para avaliar a espessura do solo removido pela erosão usando as características espectrais da reflectância obtidas no laboratório. A etapa seguinte será relacionar estes dados com espectroscopia da imagem latente usando dados do sensor Aster a fim quantificar perdas do solo pela erosão.

Palavras-chave: hyperion, erosão do solo, carbono orgânico, óxidos de ferro, caatinga.

ABSTRACT

Erosion by water removes the surface of the soils and exposes the subsurface layers. Soil characteristics varies in depth. Some soil characteristics that varies with depth, such as soil texture, soil organic carbon and iron oxide content have important effects on spectral characteristics of the soils. As an example, for a given soil type the increase in soil organic matter content decreases soil reflectance and, thus, soil albedo. The objective of this paper

is to compare soil spectral curves from “unaltered” soil and degraded soils using small depth samples and to evaluate the depth of the layer removed by soil erosion on the base of these comparisons. Spectral curves matches between “preserved” and eroded soils was able to assess the depth of the layer removed by erosion. The next step will be to extend these results to produce maps of quantified soil losses on the base of hyperspectral images.

Palavras-chave: caatinga, soil erosion, organic carbon, iron oxides.

1.INTRODUÇÃO

Técnicas de sensoriamento remoto, como a fotogrametria têm sido usadas nos trabalhos de levantamento de solos ao longo dos anos. Mais recentemente, dados do satélite LandSat tem sido usados como complemento aos levantamentos de solos para pequena escala e inventários mais detalhados. Com os trabalhos desenvolvidos pelos Estados Unidos, combinando técnicas de análises digital com o escanner multiespectral LandSat (MSS) somados aos esforços dos levantamentos, pesquisadores concluíram que essas técnicas tem grande potencial para examinar e medir quantitativamente áreas de solos severamente erodidos(Weismiller et al., 1985).

Muitos estudos tem sido realizados mostrando relacionamentos entre as propriedades do solo e a reflectância espectral dos solos no visível e infra-vermelho próximo (Stoner, 1979; Stoner and Baumgardner, 1981; Baumgardner et.al., 1985; DaCosta, 1979; Shields et.al., 1968; Condit, 1960). Esses pesquisadores enfatizam como os componentes orgânicos do solo, C, Óxidos de ferro, textura, água e sais afetam a resposta espectral.

O elo de ligação entre os alvos da superfície terrestre e os sensores remotos é a radiação eletromagnética (REM), e, sendo assim, é necessário um entendimento sobre o comportamento das interações eletromagnéticas e os diferentes materiais constituintes dos objetos, como por exemplo, rocha, solos, vegetação, entre outros.

Escadafal et al.(1988, 1989), investigaram os relacionamentos entre as cores de solos obtidas no sistema Munsell e a resposta espectral do LandSat, especialmente em paisagens áridas e relata que os parâmetros de intensidade, brilho e matiz são correlacionados com os dados do LandSat. Post et al.(1993), mostrou que a componente

intensidade é usualmente o parâmetro que mais afeta a energia refletida da superfície da terra, contudo, o brilho e matiz são também importantes. A pesquisa mostrou que diferentes tamanhos de partículas tem cores diferentes e que frações de solo < 2mm e fragmentos de rocha >2mm devem ser medidos.

Baumgardner et al.(1985), demonstraram que dados espectrais obtidos com escanner óptico-mecânico podem ser usados com computador implementando modelo de técnicas de reconhecimento para produzir mapas, os quais delineam solos contendo diferentes quantidades de matéria orgânica. Nesse estudo, o objetivo era obter um mapa de teste local mostrando a localização de solos com cinco níveis de matéria orgânica. O conteúdo de matéria orgânica e a resposta espectral correspondente de doze comprimentos de onda para cada amostra de solo foram usados como amostras de treinamento. Os níveis de radiância média dos doze canais de comprimento de onda foram plotados versus o conteúdo de matéria orgânica de cada local da amostra. Quando a resposta relativa para o limite espectral de 0.62 a 0.66 μm foi plotado, um valor de r de 0,74 foi obtido. Contudo, os dados plotados parecem indicar uma relação linear pode não ser válida sobre o limite de matéria orgânica observado. Acima de 2% de matéria orgânica, existe uma correlação linear com um valor mais alto de r. abaixo de 2%, a curva torna-se mais. Quando a matéria orgânica excede 2% é propriedade dominante na resposta espectral. Quando a matéria orgânica começa a cair, torna-se menos efetiva em mascarar os efeitos de outros constituintes do solo, como o ferro e manganês, na resposta espectral dos solos.

Através de trabalhos com o fator de reflectância bidirecional com uma amostra de Alfisol Seubert et al.(1979), ilustram que existem diferenças significantes entre as características da reflectância em solos levemente, moderadamente e severamente erodidos e áreas deposicionais dentro de uma seqüência de erosão. Latz expandiu esse trabalho para incluir a coleção do espectro dos solos erodidos representando a ordem de solos Mollisol e Ultisol, bem como a ordem de solo Alfisol e Alfisol erodido artificialmente. Os resultados corroboraram com os encontrados por Seubert e ilustraram as reflectâncias de todos os solos erodidos estudados foram significantemente diferentes das reflectâncias do seu correspondente não erodido.

Latz apud Weismiller et al.(1985) encontrou que os parâmetros do solos que tem mais efeito nas características da reflectância de solos erodidos são a matéria orgânica(MO) e óxido de ferro(Fe_2O_3). Com o aumento da erosão, o conteúdo de óxido de ferro aumenta e a matéria orgânica diminuiu.

A Matéria orgânica e o Fe_2O_3 influenciam significativamente nas propriedades da reflectância dos solos, particularmente na região de 0.5 a 1.2 μm . Alto conteúdo de MO tende a baixar a reflectância total, reduz o declive e muda o formato da curva de côncava na região de 0.5 a 0.8 μm . Alto conteúdo de Fe_2O_3 , aumenta a reflectância total, aumenta o declive e muda a forma o formato da curva de linear para convexa na região de 0.5 a 0.8 μm (Weismiller, 1985).

Na região de 0.8 a 1.1 μm , o declive da curva de reflectância é reduzido com o aumento do conteúdo de ferro e o traçado chega a zero. Intermediariamente o conteúdo de MO e Fe_2O_3 afetam a resposta espectral de acordo com suas proporções dentro da amostra de solo(Weismiller, 1985).

Muitos pesquisadores tem estudado os efeitos da mistura matéria orgânica e óxido de ferro sobre a reflectância na superfície dos solos. Os resultados são testemunho para a complexidade de interação de muitas variáveis na determinação das características da reflectância dos solos. Pazar(1983) avança no desenvolvimento dos conceitos de Latz e usa um espectrofotômetro, integrando a reflectância total para estudar os efeitos da MO e Fe_2O_3 e suas interações sobre as características espectrais de três solos Alfisoils erodidos artificialmente. Ele usou também a técnica de análise da segunda derivada para estudar dados da reflectância obtida. Pazar mostrou novamente que a MO e o Fe_2O_3 são as maiores influências na resposta espectral de solos erodidos e ainda que o tipo de ferro influencia fortemente nas características da reflectância do mesmo. Goethita apresenta cor marrom a amarelo no solo e tem forte absorção na banda do 0.52 a 0.65 μm , forte reflectância de 0.54 a 0.60 μm e fraca absorção na banda de 0.65 μm . Hematita tem alto poder de pigmentação e se apresenta na cor vermelha no solo e absorção na banda de 0.56 μm . Solos que contém Goethita terão energia refletida na região do verde, amarelo e vermelho do espectro, entretanto, quando a hematita está presente, comprimentos de onda verde e amarelo são absorvidos e a energia é refletida para a porção vermelha do espectro.

Em seus estudos Pazar(1983) mostrou que nem o conteúdo de MO, nem o de Fe_2O_3 sozinho controlaram as características da reflectância para os solos, mas, a interação entre os dois. Ele provou que o conteúdo de Fe_2O_3 poderia ser estimado dos dados de reflectância com precisão razoável pela observação das regiões de 0.485, 0.56 e 0.66 μm do espectro e a matéria orgânica na região de 0.66 μm , que correspondem a 3 bandas espectrais do sensor temático.

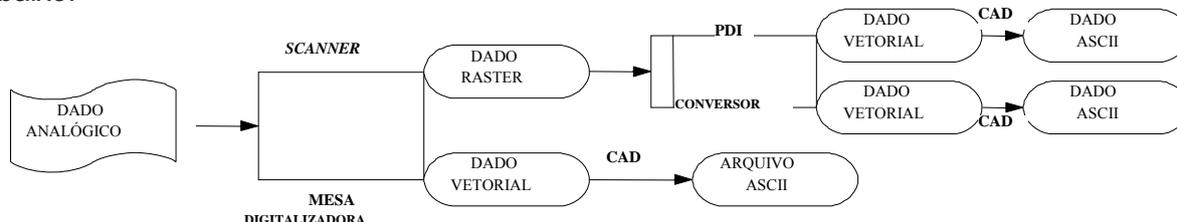
Este artigo teve por objetivos: a) elaborar uma biblioteca espectral de solos “preservados” e degradados; b) avaliar as alterações no comportamento espectral dos solos com a profundidade; c) relacionar as características espectrais dos solos da biblioteca com os teores de matéria orgânica e óxidos de ferro; d) avaliar a espessura da camada de solo removida por erosão com base nas curvas espectrais

IV.2. MATERIAL E MÉTODOS

IV.2.1. Base cartográfica

A preparação da base cartográfica iniciou-se com a modelagem conceitual para especificar as características do banco de dados georeferenciados a ser projetado para integrar o conjunto de dados obtidos. Foi adotado o sistema de coordenadas UTM com datum SIRGAS, e os dados compatibilizadas para a escala 1:100.000. Foi produzido um mosaico geo-referenciado com controle do erro (Root Mean Square). A rede viária principal foi a partir da interpretação e análise das imagens de satélite (Landsat), bem como o mapeamento de rotas de acesso com a utilização de GPS.

Todos os dados analógicos pertinentes ao projeto foram digitalizados utilizando-se a vetorização automática e semi-automática e eventualmente manual, seguindo o fluxograma abaixo.



Os dados, eventualmente, possuem diferentes resoluções e são, comumente, originados por diversos autores em diferentes épocas, possuindo na maioria das vezes escalas variadas e sistemas de coordenadas diversos. Nesta etapa, todos os dados foram convertidos para o sistema de coordenadas UTM e feita a homogeneização da resolução espacial dos dados, através do cálculo do RMS (Root Mean Square) que é a raiz quadrada do valor médio dos quadrados dos valores instantâneos tomados sobre um ciclo completo. A resolução espacial adotada (o tamanho do pixel será de 30 m) refletirá a escala de trabalho que é 1:100.000.

Para a auditoria de dados vetoriais duas abordagens foram utilizadas, uma de caráter qualitativo, outra definindo quantitativamente os erros. A abordagem qualitativa refere-se à identificação de feições no mapa inconsistentes, tais como polígonos espúrios (operação de superposição e digitalização) e ajuste de linhas (erros de digitalização e aqueles decorrentes da importação de dados digitais). A abordagem quantitativa está baseada no cálculo do Erro Médio Quadrático (Root Mean Square – RMS) que determinou a acurácia da digitalização, indicando o erro associado à correção geométrica. O RMS também indica qual a forma e a dimensão mínima do pixel quando o arquivo vetorial vai ser transformado em dado raster.

A auditoria nos dados raster consistiu da avaliação da transformação vetor para raster, das correções geométricas, dos métodos de interpolação utilizados e dos erros decorrentes das interpretações dos mapas observacionais, analíticos, integrados ou fundidos. Os mapas observacionais são aqueles que representam o mundo real através de dados factuais. Os mapas analíticos são todos aqueles derivados de processamento digital de imagens, ou seja, quando se agrega valor intelectual aos mapas observacionais. Os mapas integrados são aqueles derivados de operações algébricas não cumulativas e os mapas fundidos são aqueles derivados de operações algébricas cumulativas.

A transformação vetor-raster e as correções geométricas foram avaliadas a partir do cálculo do RMS. Os métodos de interpolação utilizados foram analisados pelos resultados obtidos com o cálculo do INR. Os erros decorrentes da interpretação dos mapas serão avaliados calculando-se os índices de kappa normal e ponderado, o PABAK (Prevalence and Bias Adjusted Kappa).

Este projeto utilizou métodos assistidos por computador, envolvendo o uso de imagens do sensores remotos para a extração de informações sobre a cobertura vegetal e o uso atual das terras do bioma caatinga. Serão utilizadas as bandas localizadas nas regiões do espectro eletromagnético do visível, do infravermelho próximo e do infravermelho médio e a banda pancromática (esta última para auxiliar na interpretação visual das feições presentes nas imagens). Uma das idéias básicas desse projeto é a de que é possível estabelecer uma relação entre dados espectrais de laboratório e dados espectrais provenientes de imagens de satélite e a avaliação e a geração de mapas de perdas de solo por erosão deste bioma. Aliada a esta hipótese está o fato de que, por se tratar de uma área localizada na região semi-árida esses dados básicos de sensores remotos orbitais terão a qualidade necessária (principalmente ligadas ao percentual de nuvens) para o cumprimento dos objetivos desse projeto.

Os métodos assistidos por computador foram checados sob condições de campo através do levantamento das verdades de campo. Foram estabelecidas as correlações entre as verdades de campo e os resultados obtidos através dos diferentes métodos de tratamento de imagens, o que serviu como base para identificação das áreas onde seriam coletadas as amostras.

Para identificação das áreas onde seriam coletadas as amostras foram utilizadas as imagens classificadas da área piloto, a partir da imagem Landsat 7 ETM+ de 2000, a carta imagem gerada a partir das imagens CBERS 2 de 2005 e o mapa de solos da área piloto. O Processamento digital das imagens do sensor ETM+ foi realizado em duas etapas: a) pré-processamento e b) processamento das imagens.

Durante o pré-processamento das imagens as seguintes etapas serão seguidas: a) registro das imagens aos mapas de referência; b) conversão do nível de cinza (NC) de cada píxel em reflectância (correção radiométrica/atmosférica).

Para as imagens CBERS foi realizada a correção geométrica tomando como base a imagem Landsat ETM+ e técnicas de realce (composição colorida, índice de vegetação, etc.), interpretação visual (fotointerpretação).

IV.2.2. Área de estudo

Este trabalho foi conduzido em uma área piloto (75.000 ha) localizada no núcleo de desertificação do Seridó (RN/PB) (Figura 2.1)

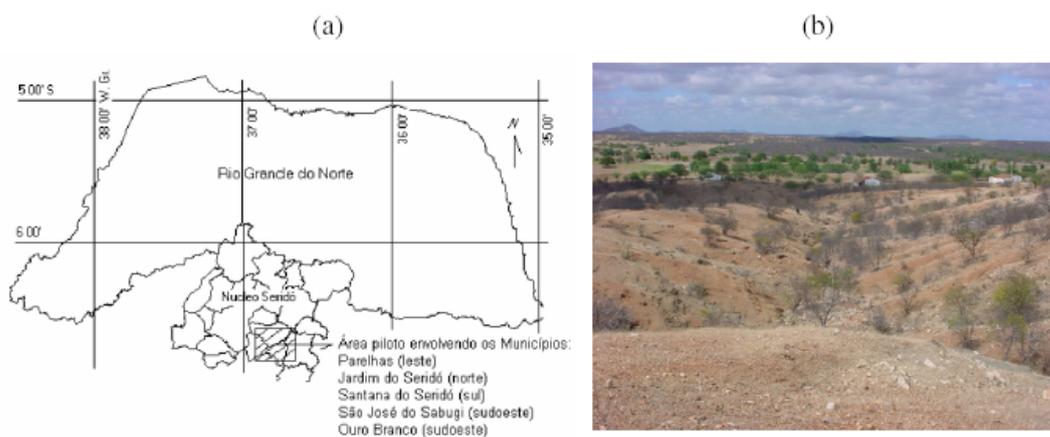


Figura IV.1: Localização da Área de Estudo.

Localizada entre as coordenadas 07°00' a 6°30' de latitude sul e 37°00' a 36°30' de longitude oeste, essa área vem sofrendo um processo intenso de desmatamento, devido principalmente a extração de lenha para alimentação dos fornos das olarias e cerâmicas instaladas na região.

Segundo Andrade-Lima (1981), a região apresenta um clima seco e quente, com chuvas que se concentram nas estações de verão e outono. Os índices pluviométricos da região são muito baixos e a temperatura situa-se entre 24°C e 29°C, variando pouco durante o ano, mas, são bastante pronunciadas durante o dia, mais afetadas pela altitude que por variações em insolação. Devido a proximidade da linha do equador, a região tem também elevado número de horas de sol por ano (cerca de 3000) e índices acentuados de evapotranspiração (cerca de 2000 mm/ano).

Nessa área predominam os Luvisolos Crômicos vérticos fase erodida, quase sempre, associados com Neossolos Litólicos, os Planossolos Nátricos, ocorrendo em áreas com relevo plano e suave ondulado e os Neossolos Regolíticos que são solos profundos de textura arenosa.

A vegetação é composta de caatinga hiperxerófila onde podem ser distinguidos pelo menos três padrões de densidade: caatinga densa, caatinga semi-densa e caatinga aberta (ACCIOLY, 2000).

IV.2.3. Amostragem dos solos e análise dos teores de carbono orgânico e de óxidos de ferro.

A área de estudo abrange 5 classes de solos, onde foram distribuídos 11 pontos para coleta de solos. Desse total de pontos, 5 foram distribuídos em áreas “preservadas” e 6 em áreas degradadas, conforme Figura IV.2. A seleção da área foi feita com base no cruzamento das informações da imagem classificada do ano de 2000 e do mapa de solos da EMBRAPA.

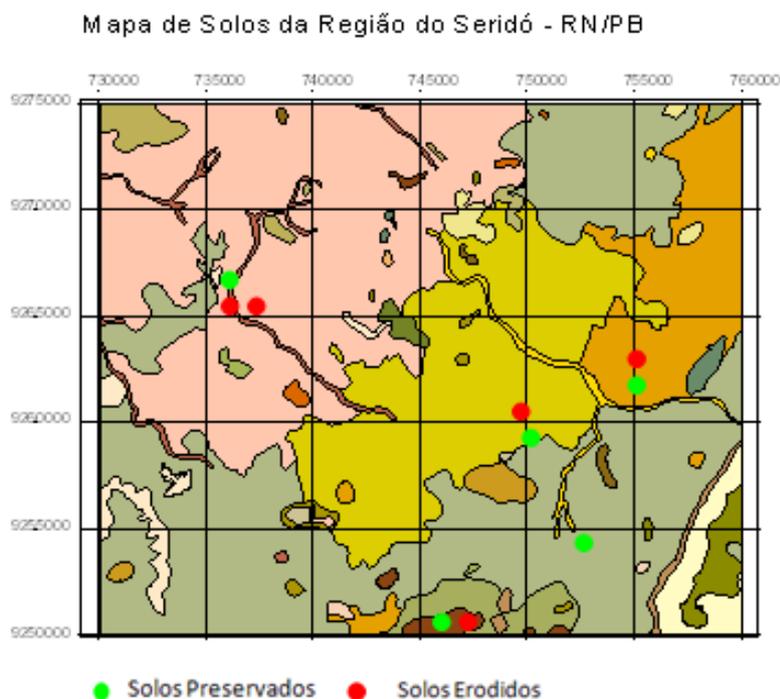


Figura IV.2: Distribuição dos pontos de coleta – Seridó – RN/PB

Em cada ponto foram coletadas amostras de 1 em 1 cm até 10 cm de profundidade e de 2 em 2cm de 10 a 20 cm de profundidade, numa área equivalente a 0,50 x 0,70 m², totalizando 168 amostras, como mostra a figura IV.3:

Para facilitar a identificação das áreas foi elaborado um formulário, descrevendo as características do local, como, declividade, uso do solo, , cobertura vegetal originária etc; As amostras coletadas foram acondicionadas em sacos plásticos, devidamente identificadas.

As amostras foram secas ao ar, passadas em peneira com 2 mm de malha e levadas a determinação dos teores de carbono orgânico, óxidos de ferro e da composição granulométrica conforme metodologia adotada pela Embrapa Solos.

Foram assumidos como solos “preservados” aqueles que estiveram cobertos por vegetação nativa (caatinga) nos últimos 10 anos e como “degradados” aqueles que apresentavam evidências de erosão e/ou aqueles usados para atividades agropecuárias nos últimos 10 anos. A suposição de degradação motivada pelo uso antrópico se deve a não utilização de práticas de conservação do solo e à exploração demasiada das terras pelos agricultores locais.

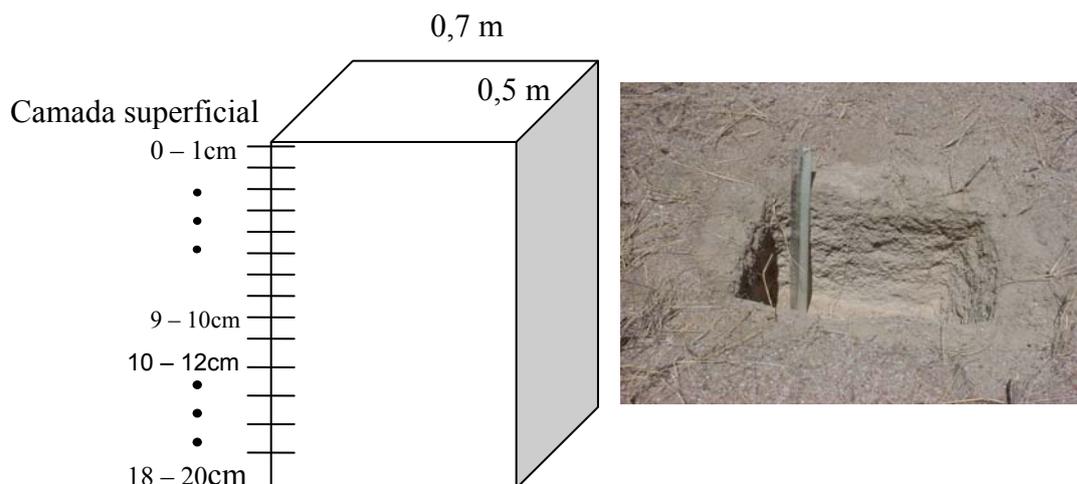


Figura IV.3: Método de coleta das amostras de solo– Seridó – RN/PB

Para a estimativa da camada de solo removida por erosão, foram realizadas comparações diretas entre curvas espectrais de solos “preservados” e alterados.

IV.2.4. Obtenção das curvas espectrais

A fim de atingir os objetivos deste capítulo, foram realizadas as análises radiométricas (Figura IV.4) no Laboratório de Radiometria (LARAD) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), na Divisão de Sensoriamento Remoto da referida instituição, localizada em São José dos Campos-SP.



Figura IV.4: Preparação das amostras para análises radiométricas– Seridó – RN/PB

O LARAD apresenta características internas próprias para trabalhos de radiometria, que minimizam os efeitos de luminosidade externa e da atmosfera. Utilizou-se o

espectrorradiômetro FieldSpec Pro FR (ASD, 2002) com um FOV de 25 graus, fonte de iluminação halógena (NORIS), placa de referência Spectralon e pano preto.

Com a cabeça sensora do FieldSpec posicionada a cerca de 10 cm acima da superfície, foram realizadas três medidas de reflectância de cada amostra dos solos acima referidos, para permitir a geração de gráficos dos comportamentos espectrais.

O FieldSpec Pro FR (Figura IV.5) é um espectrorradiômetro portátil, com aproximadamente 8Kg, campo de visada (FOV) de 1 a 25°, resolução espectral de 10 nm, faixa espectral de 350 a 2500 nm que serve tanto para o laboratório quanto para o campo. Este instrumento tem capacidade de coletar até 10 espectros por segundo. A unidade detectora está ligada ao instrumento por um cabo de fibra óptica de 3,0 metros de comprimento e possui três detectores: uma malha de fotodiodos de 512 elementos e dois resfriados termoelétricamente (fotodiodos InGaAs) (ASD, 2002). Além desses, compõe também o instrumento um computador notebook LCD, baterias, interface Espectrorradiômetro-Computador (porta paralela bidirecional), o software RS3 de interface com o usuário, software para aquisição e armazenamento de dados de reflectância, radiância e irradiância.

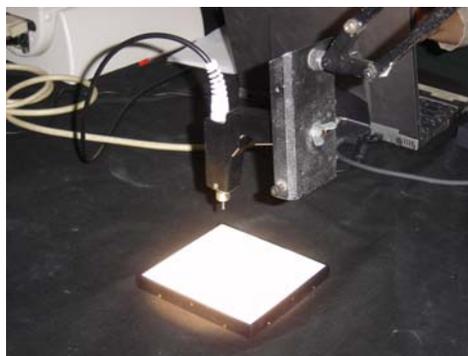


Figura IV.5: FieldSpec Pro FR e placa de spectralon

Neste experimento, o ângulo de incidência da luz foi de 40° estando a fonte a 75 cm de distância do alvo. A unidade detectora foi posicionada manualmente a 0° em relação à normal e a uma altura de 10 cm do alvo; desta forma, com um campo de visada (FOV) de 25° de abertura, o sensor cobria uma área correspondente a 15,44 cm² sobre a superfície de cada amostra de solo.

O aparelho estava configurado para registrar a média de dez espectros em cada registro e para cada amostra de solo foram tomadas três medidas espectrais em diferentes

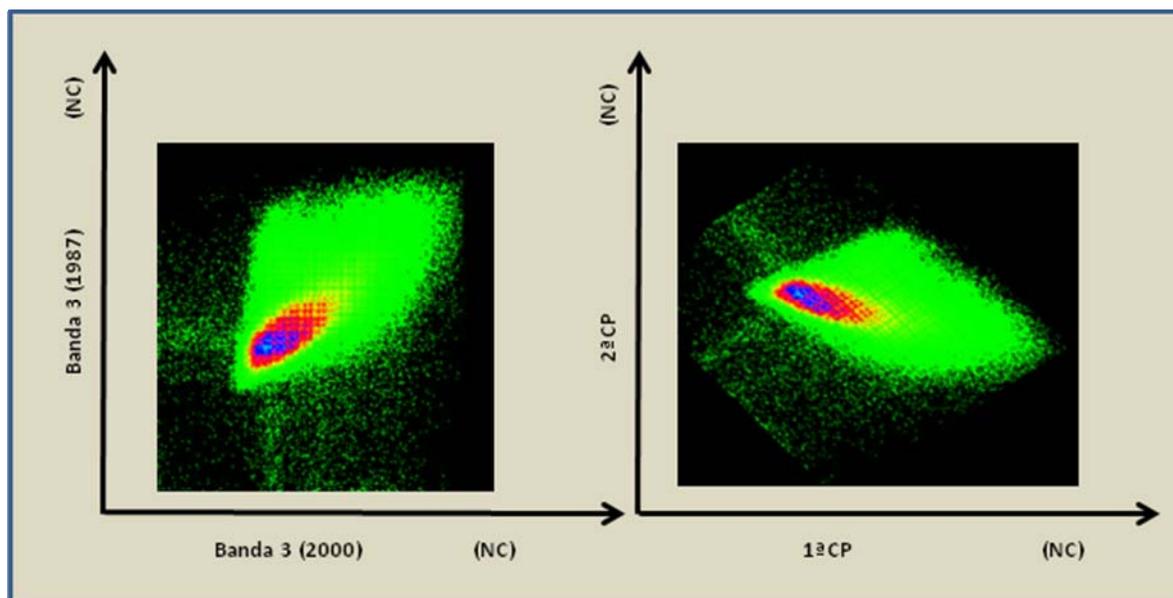
locais da amostra. O cálculo do fator de reflectância bidirecional foi realizado pelo software RS3 (ASD, 2002), daí a necessidade da calibração na placa de referência Spectralon, a qual possui reflectância conhecida. Após esta operação, as medidas de radiância das amostras de solos eram convertidas pelo software em valores de fatores de reflectância.

IV.2.5. Análise por Componentes Principais

Numa imagem multiespectral, há sempre informações que se repetem nas diferentes bandas. Com o objetivo concentrar o maior número de dados possível foi realizada uma análise das correlações entre as bandas com base na Transformação por Componentes Principais, que analisa e produz novos conjuntos de bandas, sem correlações, que são denominadas de Componentes Principais - CP.

A principal tarefa executada pela APC pode ser resumida da seguinte forma: dadas as duas imagens TM3 (1987) e TM3 (2000), serão analisadas as correlações entre elas e produzido um novo conjunto de imagens TM3 (1987) TM3 (2000) com nenhuma correlação entre si. Em geral, a primeira Componente Principal – (CP1), possui maior quantidade de dados, pois compacta informações presentes em todas as bandas, a segunda Componente Principal – (CP2), terá a informação mais significativa do conjunto, a (CP3) conterá informações menos significantes e assim sucessivamente até a última CP que conterá a informação residual (CROSTA, 1999).

Utilizou-se a Transformação por Componentes Principais, para o conjunto de todas as seis bandas da imagem e obteve-se novas imagens sem correlações e com o máximo de informações concentradas nas três primeiras componentes principais. A figura IV.6 mostra a distribuição das nuvens de pixels da banda 3 e componentes principais.



(a)

(b)

Figura IV.6: Distribuição das nuvens de pixels da banda 3 (a) e componentes principais (b)

Produziu-se ainda a fusão da imagem resultante do índice de vegetação NDVI com as três primeiras componentes principais – (CP), por meio da fusão IHS (Hue, Saturation, Intensity) e assim obteve-se em uma única imagem a combinação dos produtos gerados.

IV.2.6.Obtenção das imagens de albedo

Obtidos a partir da calibração absoluta de pós lançamento dos sensores Landsat 5 TM e Landsat 7 ETM+. A seguinte equação converte os valores de NC em radiância:

$$Li = Limin + [(Limax - Limin) / 255] * NCi \quad (1)$$

Onde :

NCi = Nível de Cinza na banda i.

Para os casos em que $Limin = 0$ a equação (1) se reduz a:

$$Li = Limax / 255 * NCi \quad (2)$$

Valores de $Limin$ e de $Limax$ para a imagem do Landsat 7 ETM+ (1999) foram extraídos do Handbook do Landsat 7.

Uma vez convertidos os valores de NC em radiância a próxima etapa foi a da remoção do efeito de primeira ordem da atmosfera. Para tanto foram utilizados os valores

mínimos de radiância dados por alvos escuros. Os valores de L para esses alvos podem ser atribuídos ao somatório do sinal de ruído do instrumento com a fração da energia que é refletida pela atmosfera que atinge diretamente o sensor para a banda considerada ("path radiance").

A conversão de radiância para reflectância é dada pela seguinte equação:

$$\rho_i = \pi * Lic * d^2 / E_{0i} * \cos\theta_s \quad (3)$$

Onde:

Lic = radiância corrigida (subtraído o valor encontrado para o alvo escuro)

na banda i ($Wm^{-2}sr^{-1}m^{-1}$)

d = distancia da terra ao sol (unidade astronômica)

E_{0i} = irradiância solar no topo da atmosfera terrestre ($Wm^{-2}m^{-1}$) para a banda i

θ_s = ângulo solar zenital

Os valores de E_{0i} foram obtidos assumindo-se a média de resposta do sistema detector/filtro do sensor TM para o intervalo de comprimento de onda abrangido para cada banda. Essa suposição não teve maiores impactos sobre a imagem da diferença de albedo uma vez que foi usada para as imagens de ambas as datas. O ângulo solar zenital para a imagem de 1994 foi calculado considerando-se o dia do ano no calendário juliano e a latitude e longitude da área piloto e o horário local aparente da passagem do Landsat 5 TM conforme descrito por Iqbal (1983). A tabela 1 apresenta um resumo dos dados utilizados na obtenção da imagem reflectância para as duas datas.

As imagens de albedo da área piloto foram obtidas utilizando programas desenvolvidos no "Spatial Modeler Language" do software ERDAS 8.3.1 a partir dos dados gerados pelas equações 1, 2 e 3. Cada píxel da imagem albedo representa o somatório das reflectâncias das bandas 1 a 4 e 7. Este procedimento tem sido utilizado por outros autores para extração dos valores de albedo em cenas do Landsat (Robinove et al., 1981) A imagem das mudanças espaciais nos valores de albedo foi obtida pela subtração da imagem albedo do ano de 1994 da imagem albedo referente ao ano de 1999.

A diferença nas classes de uso do solo entre os anos de 1987 e 2000 podem ser visualizadas na tabela abaixo.

Tabela IV.1: diferença entre as classes de uso do solo para os anos de 1987 e 2000

Classe de Uso	Área 87	Área 00	Dif. (%)
Caatinga Densa	8014	7708	-3,06
Caatinga Semi Densa	22884	17541	-53,43
Caatinga Aberta	11368	17007	56,39
Pastagens	11256	9442	-18,14
Vegetação Ribeirinha	6735	7424	6,89
Solo Exposto	2254	1902	-3,52
Acudes	631	701	0,70
Zona Urbana	2941	1745	-11,96

IV.3.RESULTADOS E DISCUSSÃO

IV.3.1.Biblioteca espectral

As curvas espectrais obtidas apresentaram diferenças entre classes de solo, entre condições de conservação de uma dada classe de solo (“preservados” e “degradados”) e, para uma dada amostra, entre as profundidades amostradas.

Os dados foram armazenados em tabelas, obedecendo a seguinte padronização: XXY, onde a letra X indica o número do ponto, que varia de 1 a 11 e a letra Y indica as profundidades, que vão de A a Q.

Em princípio foi confeccionado um gráfico reflectância versus comprimento de onda para cada profundidade de todas amostras e cada gráfico que representa a curva espectral para uma dada amostra de solo preservado foi comparado com as curvas dos solos degradados. Por exemplo, a amostra 1A, que corresponde a camada de 0 a 1cm de profundidade do solo 1(preservado) foi comparada com todas as camadas do solo tipo 2(degradado). O mesmo aconteceu com as demais camadas, conforme figura IV.7.

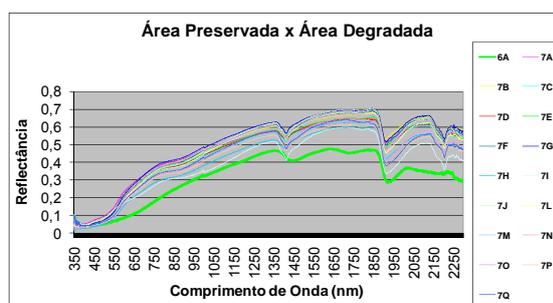
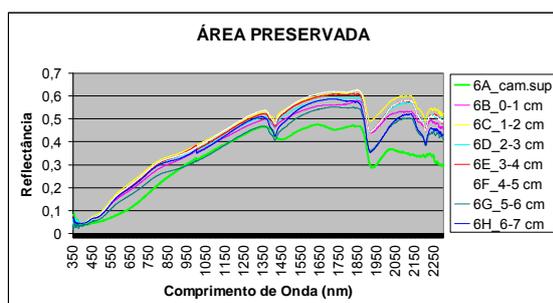


Figura IV.7: Exemplos de gráficos das curvas espectrais da amostra de solo 6 e gráfico comparativo entre a camada A da amostra de solo 6 e a amostra de solo 7.

Para cada repetição foi confeccionado um gráfico reflectância versus comprimento de onda. Os gráficos que apresentaram valores altos de ruído ou valores discrepantes foram descartados e efetuada uma média aritmética dos demais, de modo que cada amostra foi representada por apenas um gráfico. Esses gráficos correspondem a uma biblioteca espectral dos solos da região (Figura IV.8).

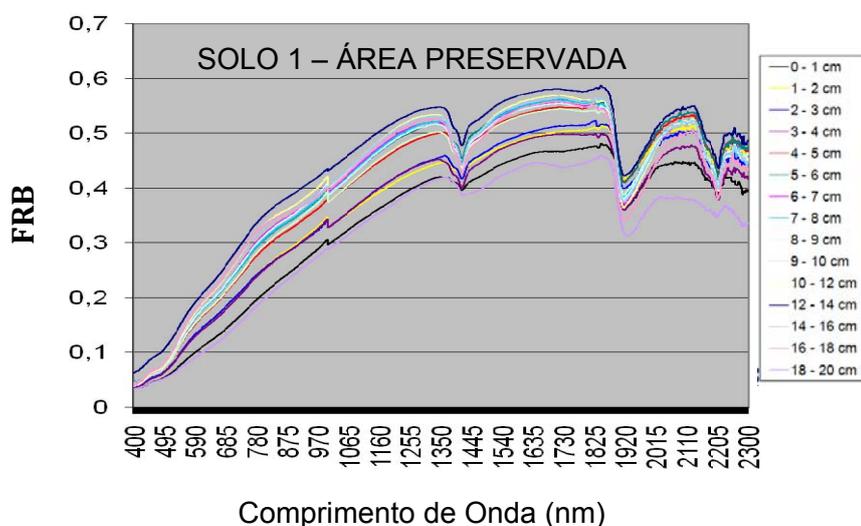


Figura IV.8: gráfico da amostra de solo 1 para todas as camadas

IV.3.2. Alterações no comportamento espectral com a profundidade

Não houve uma diferença significativa na forma da curva espectral ao longo do espectro eletromagnético, porém, observa-se, para todos os gráficos, que os valores da reflectância são inversamente proporcionais aos valores da profundidade, ou seja, à medida que a profundidade aumenta, os valores da FRB diminuem, exceto para o caso dos Luvisolos Crômicos.

Um dos fatores pode estar relacionado ao fato de que os solos tornam-se mais preservados quando a profundidade aumenta e mais úmidos, o que segundo STONER et al. (1991) provocaria uma redução da reflectância dos solos.

IV.3.3. Relações entre o comportamento espectral e os teores de matéria orgânica, óxido de ferro e a granulometria

Solos pouco alterados ou solos erodidos apresentam uma mais alta reflectância através do espectro (alto albedo) do que os solos preservados. A remoção da matéria orgânica é provavelmente a razão para a alta resposta espectral desses solos. Para solos afetados por ferro(2 e 4) o índice de óxido de ferro aumenta com a profundidade e supera todo o papel da matéria orgânica do solo de reduzir a resposta espectral em todo o espectro diminuindo o albedo dos solos erodidos (curvas 2E e 4E, 0-1 cm, na figura 2.8 (a) e (b), respectivamente).

As curvas espectrais para os Planossolos, Neossolos Regolíticos e Neossolos Litólicos (Figura 2.8a) apresentam formas semelhantes àquelas dos solos com baixos teores de carbono orgânico e de óxidos de ferro ou minimamente alteradas segundo Stoner e Baumgardner (1981). Nesses solos a erosão tende a aumentar os valores de FRB em toda a faixa do espectro (maior albedo). No entanto, o formato das curvas espectrais permanece, praticamente, inalterado. A remoção da matéria orgânica nos solos erodidos (1E, 2E, 3E) é a causa provável para os maiores valores de FRB (Figura 2.8 a).

No caso do Luvissole Crômico as diferenças entre curvas espectrais de solos “preservados” e erodidos ocorrem tanto em relação à magnitude de resposta do FRB quanto em relação ao formato das mesmas (Figura 2.8b). O solo preservado apresenta curva semelhante à dos demais solos, ou seja, minimamente alterada devido, provavelmente, aos baixos teores de carbono orgânico e de óxidos de ferro. Por outro lado, o Luvissole Crômico erodido tem curva espectral (Figura 2.8b) semelhante àquela dos solos afetados por teores médios de óxidos de ferro e baixos teores de carbono orgânico (Stoner e Baumgardner, 1981).

Ao contrário dos demais solos, a curva espectral do Luvissole Crômico erodido apresentou menores valores de FRB do que aquela obtida para a amostra desse solo preservado. Além disso, o formato da curva espectral do solo erodido apresentou feição de absorção nas proximidades de 900 nm, característica de amostras com teores médios de óxidos de ferro.

No Luvissole Crômico “preservado” o teor de óxido de ferro aumenta com a profundidade havendo, portanto, redução do efeito da matéria orgânica sobre o decréscimo dos valores do FRB.

Os óxidos de ferro secundários são os principais pigmentos dos solos com baixos teores de matéria orgânica (Torrent et al., 1983). Como resultado, os solos erodidos com essas características apresentam uma redução nos valores de FRB em todo espectro. Estes resultados são confirmados pela análise dos constituintes deste dois solos para um Luvissole Crômico (Alfissol) dado na tabela 1.

Tabela 1 – Análise granulométrica, teor de carbono orgânico e teor de óxido de ferro para amostras de um Luvissole Crômico.

Condição do solo	Profundidade (cm)	Curva na Figura 2b	Análise granulométrica (%)			Carbono Orgânico C (%)	Óxido de Ferro (Fe ₂ O ₃) (%)
			Areia	Silte	Argila		
“Preservado”	16-18	4P (16-18 cm)	47,8	24,2	28,0	0,7	5,5
Erodido	0-1	4E (0-1 cm)	57,8	26,2	16,0	0,8	6,0

Os óxidos secundários do Fe são os agentes os mais importantes do pigmento nos solos que têm um índice baixo do carbono orgânico (torrent et al., 1983) como aquele mostrado em figura 2. A curva espectral para uma profundidade de 0 a 1 cm do solo erodido combina, em parte da forma da curva e magnitude da resposta, para a curva espectral de 16 a 18 cm de Luvissole Crômico (Alfissol) "preservado" no intervalo espectral de 350 a nm 1000 (figura 2 (b)). A forma da curva permanece quase a mesma além dos 1000 nm com pouca diferença no valor da resposta espectral para estas amostras de dois solos. Com estes resultados espera-se que, provavelmente, uma camada de 16 cm de um Luvissole preservado Crômico (Alfissol) foi removida por processos da erosão.

No intervalo de 500 a 900 nm, a curva espectral do Luvissole Crômico erodido para a profundidade de 0 a 1 cm é, praticamente, igual àquela do mesmo solo preservado para a profundidade de 16 a 18 cm (Figura 2b). Os formatos dessas curvas permanecem, praticamente, semelhantes para os comprimentos de onda superiores a 900 nm, havendo, no entanto, pequenas diferenças na magnitude de resposta. Esses resultados evidenciam a possibilidade de se estimar a camada de solo removida por erosão com base na espectroscopia de laboratório. No presente trabalho estima-se que uma camada de 16 cm foi removida com a erosão do Luvissole Crômico.

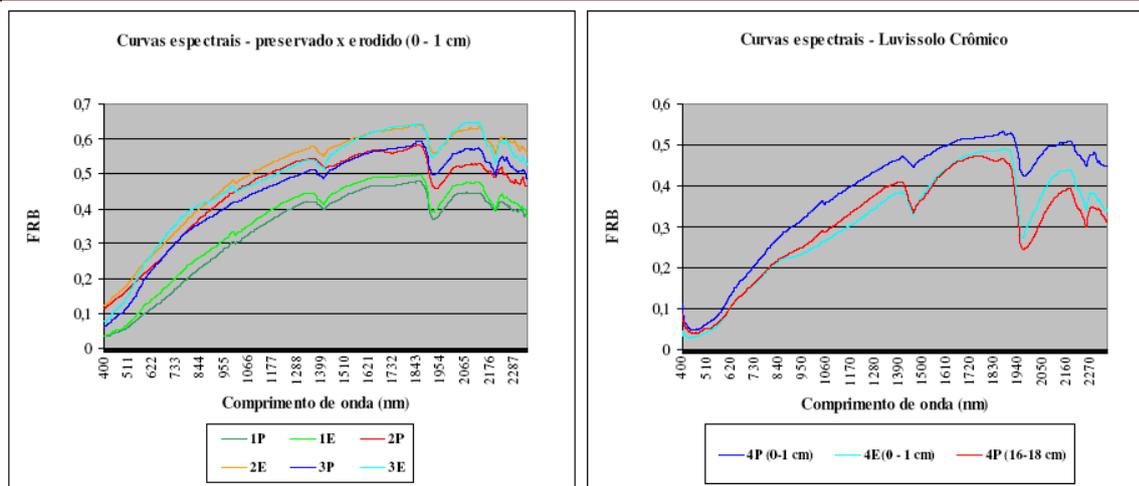


Figura 3.2 – (a) Exemplos de curvas espectrais (P = solo preservado, E = solo erodido) para a profundidade de 0 a 1 cm. 1 = Planossolo, 2 = Neossolo Regolítico, 3 = Neossolo Litólico. (b) Curvas espectrais de amostras de um Luvisso Crômico (solo 4) preservado (4P, 0 a 1 cm e 4P, 16 a 18 cm de profundidade) e erodido (4E, 0 a 1 cm de profundidade).

3.4. Avaliação da espessura da camada de solo removida

Para o caso dos planossolos, no intervalo de 300 a 500 nm e de 1800 a 2000, a curva espectral para a profundidade de 0 a 1 cm assemelha-se àquela do mesmo solo preservado para a profundidade de 4 a 5 cm (Figura 2.9). Apesar dos formatos dessas curvas permanecerem semelhantes para os comprimentos de onda em toda a faixa do espectro, existem grandes diferenças na magnitude de resposta. Com apenas esse resultado não torna-se confiável estimar a camada de solo removida por erosão com base na espectroscopia de laboratório.

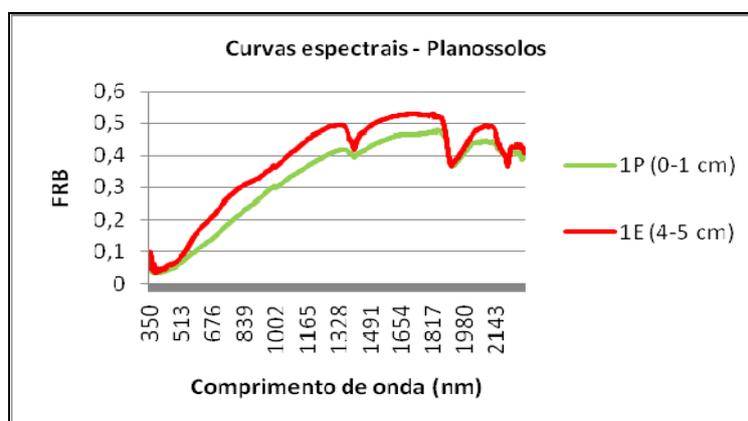


Figura 3.3 – Curvas espectrais de amostras de um Planossolo (solo 1) preservado (1P, 0 a 1 cm) e erodido (1E, 4 a 4 cm de profundidade).

No intervalo de 500 a 900 nm, a curva espectral do Luvissole Crômico erodido para a profundidade de 0 a 1 cm é, praticamente, igual àquela do mesmo solo preservado para a profundidade de 16 a 18 cm (Figura 2.8b). Os formatos dessas curvas permanecem, praticamente, semelhantes para os comprimentos de onda superiores a 900 nm, havendo, no entanto, pequenas diferenças na magnitude de resposta. Esses resultados evidenciam a possibilidade de se estimar a camada de solo removida por erosão com base na espectroscopia de laboratório. No presente trabalho estima-se que uma camada de 16 cm foi removida com a erosão do Luvissole Crômico.

3.5. Relação entre o albedo, Componentes Principais e as áreas degradadas

A Figura 3.4 apresenta a imagem da diferença de albedo entre os anos de 1987 e 2000. As partes escuras representam as áreas onde houve redução, enquanto que as partes claras representam as áreas onde houve aumento do albedo (Figura 3a). Os coeficientes de calibração, em média mais altos para a imagem de 1987, aumentaram consideravelmente os valores de Limax tendendo a superestimar o albedo da área piloto para esse ano. Essa superestimação embora tenha mascarado os resultados nas áreas com menor variação de albedo, não invalida a discussão desses resultados para as áreas onde houve aumento do albedo no ano de 2000.

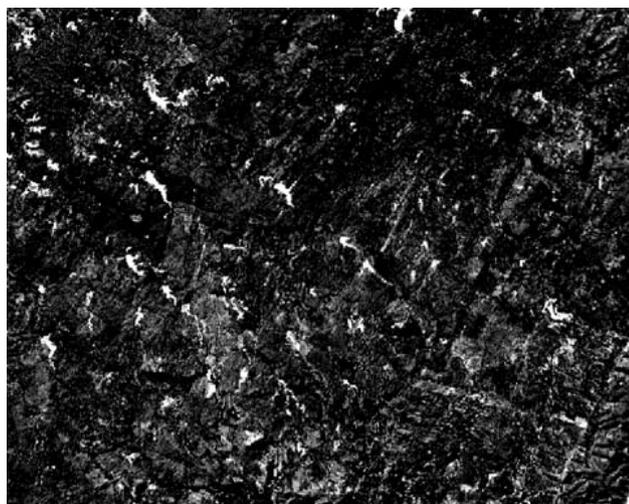


Figura 3.4: Imagem de albedo

O albedo aumentou em áreas ocupadas principalmente por Planossolos (Área 1 da Figura 3.5), Neossolos Litólicos (Área 2 que corresponde à Serra das Queimadas na Figura

3.5) e em áreas onde há predominância de afloramentos de rocha (Área 3 da Figura 3.5). No caso dos solos Litólicos a hipótese mais provável é a de que esse aumento esteja associado à exploração da lenha em áreas que no passado eram matidas preservadas ou seja, áreas onde grande parte do relevo pertence às classes forte ondulado (20 a 45% de declividade) e montanhoso (45 a 75% de declividade) localizadas no trecho da Serra das Queimadas contido na área piloto.

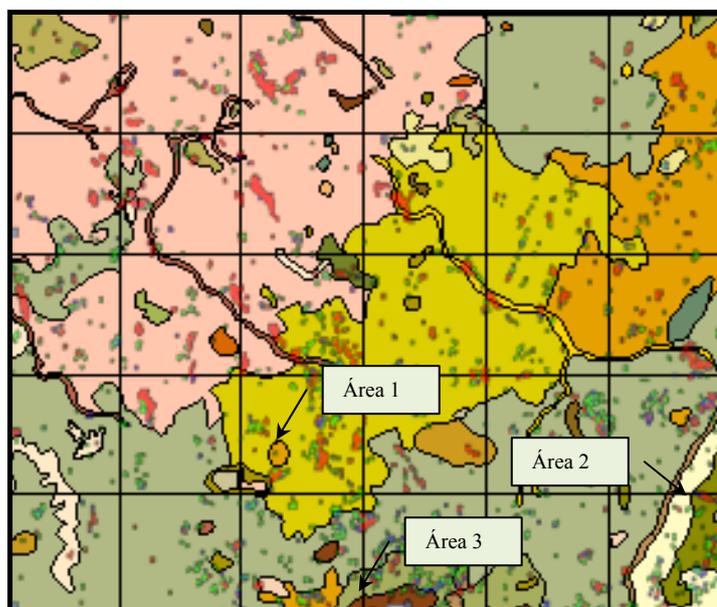


Figura 3.5 – Mapa das mudanças no albedo tendo como plano de fundo o mapa das classes de solos

A análise das componentes principais fatiadas em duas classes (preservadas e degradadas), corroboram com as imagens do albedo, apresentando um maior índice de degradação para as áreas acima mencionadas.

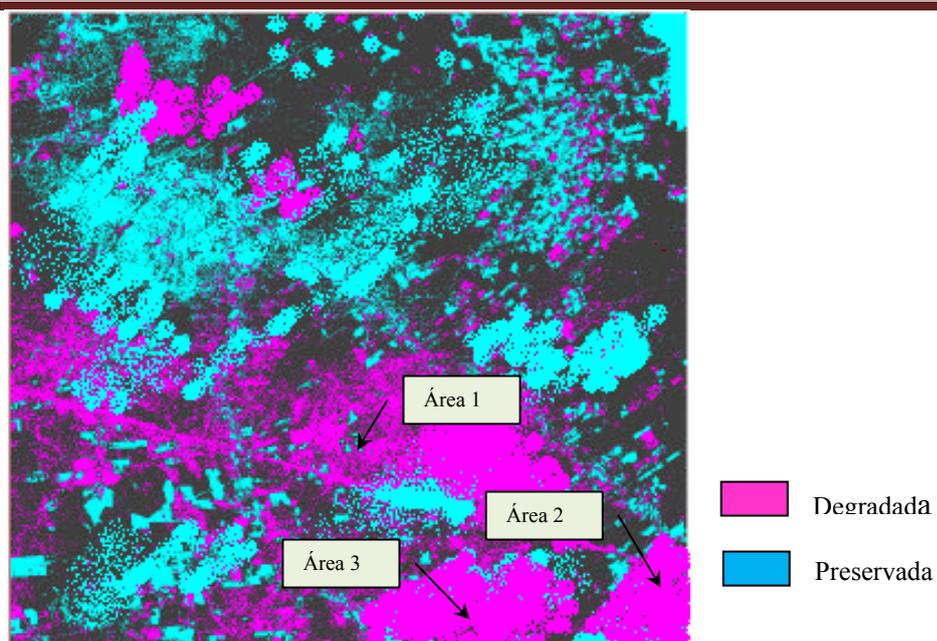


Figura 3.6: Imagem detecção para áreas preservadas e degradadas

4.CONCLUSÕES

- Com a integração das Componentes Principais selecionadas (CP 1,2,3) com o Índice NDVI, obteve-se além da imagem com o máximo de informações referentes ao solo.
- A erosão aumentou a reflectância do Planossolo, do Neossolo Regolítico e do Neossolo Litólico e reduziu a reflectância do Luvisolo Crômico.
- As curvas espectrais estudadas apresentaram forma semelhante àquela dos solos minimamente alterados pelos teores de matéria orgânica e de óxidos de ferro e àquela dos solos afetados pelos teores médios de óxidos de ferro.
- Com base em comparações entre curvas espectrais de um mesmo solo “preservado” e erodido é possível estimar a espessura da camada de solo removida pela erosão.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASD. 2006. Spectroradiometers – FieldSpec Pro Line, the benchmark. <http://www.asdi.com/products-FSP.asp> (consulted in February 02, 2006).

ACCIOLY, Luciano José de Oliveira. Avaliação de Mudanças no Albedo do Núcleo de Desertificação do Seridó Através de Imagens LANDSAT TM. In X SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO, Foz do Iguaçu, 2001, p.549 – 556. Anais.

ACCIOLY, Luciano José de Oliveira; OLIVEIRA, Maria Aparecida J. In: ROMEIRO, Ademar Ribeiro. Avaliação e contabilização de impactos ambientais. Campinas, SP. Editora da UNICAMP, São Paulo, SO: Imprensa Oficial do Estado de São Paulo, 2004.399p.

ANDRADE, Manuel Correia de. A Problemática da Seca. Líber Gráfica e Editora, 1999. 57p.

ANDRADE LIMA. Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável

ANJOS, Lúcia Helena dos; RAIJ, Bernardo Van. Indicadores de Processos de Degradação dos Solos. In: ROMEIRO, Ademar Ribeiro. Avaliação e contabilização de impactos ambientais. Campinas, SP. Editora da UNICAMP, São Paulo, SO: Imprensa Oficial do Estado de São Paulo, 2004.399p.

BERK, A.; BERNSTEIN, L.S.; ROBERSON, D.C. MODTRAN: A moderate resolution model for LOWTRAN 7. U.S. Air force Geophysical Laboratory (AFGL), Hanscom Air Force Base, Massachusetts, 1989.

BOWERS, S.A., Hanks, R.J. 1965. Reflection of radiant energy from soils. Soil. Sci. 100:130-138.

BRASIL. Ministério do meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos. Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca: PAN-BRASIL. Brasília 2004a

BRASIL. Ministério do meio Ambiente. Secretaria de Políticas para o desenvolvimento Sustentável. A Agenda 21, o semi-árido e a luta contra a Desertificação: caderno de Debate. Agenda 21 e Sustentabilidade. Brasília. 200b

CARVALHO, A. E.; QUEIROZ, A. C.; GARIGLIO, M. A.; BARCELLOS, N. D. E. Caracterização das áreas de ocorrência de desertificação no Rio Grande do Norte. Natal. 2000.

CONSÓRCIO Tecnosolo & CEP (1999). Plano de desenvolvimento do Seridó. Relatório diagnóstico e prognóstico. Natal-RN: Federação das Indústrias do Estado do Rio Grande do Norte–Fiern, Governo do Estado do Rio Grande do Norte & Prefeituras Municipais da Região do Seridó, 1999 (4 v.).

CONTI, J.B. A Desertificação como forma de Degradação Ambiental no Brasil. In: Ribeiro, W. C. (org). Patrimônio Ambiental Brasileiro. São Paulo: Ed. Da Universidade de São Paulo: Imprensa Oficial do Estado de São Paulo, 2003 – (Uspiana: Brasil 500 anos).

CONTI, J. B. 1989. A desertificação como problema ambiental. In: III Simpósio de Geografia Física Aplicada. p. 189-194. Nova Friburgo.

CONTI, J. B. 1997. As conseqüências de uma relação conflituosa Homem x meio: desmatamento e desertificação. In: A Geografia Física e as relações sociedade/natureza no mundo tropical. USP. p. 19-22. São Paulo.

COSTA, T.C.C.; ACCIOLY, L.J. de O.; OLIVEIRA, M.A.J.; BURGOS, N.; SILVA, F.H.B.B. Phytomass mapping of the “Seridó caatinga” vegetation by the plant area and the normalized difference vegetation indices. *Scientia Agrícola*, 59:707-715. 2002.

CURCIO J.A. and PETTY C.C. 1951. The near infrared absorption spectrum of liquid water. *Journal of Optical Society of America*, 41, 302-304.

COSTA, T.C.C.; ACCIOLY, L.J. de O.; OLIVEIRA, M.A.J.; BURGOS, N.; SILVA, F.H.B.B. Phytomass mapping of the “Seridó caatinga” vegetation by the plant area and the normalized difference vegetation indices. *Scientia Agrícola*, 59:707-715. 2002

CURRAN, P.J.; WILLIAMSON, H.D. The accuracy of ground data used in remote-sensing investigations. *Int. J. Remote Sensing*, 6:1637-1651, 1985

DEERING, D.W., E.M. MIDDELTON, J.R. IRONS, B.L. BLAD, E.A. WALTER-SHEA, C.J. HAYS, C.L. WALTHALLI, T.F. ECK, S.P. AHMAD, & B.P. BANERJEE. Prairie grassland bidirectional reflectances measured by different instruments at the FIFE site. *Journal of Geophysical Research*, 97, 18887-18903, 1992.

DREGNE, H. E. desertification of Arid lands *Economic Geography*. Worcester. (USA), Clark University, n. 53, v. 4, p. 322-331, 1997.

DUQUE, J. Guimarães (1964). *O Nordeste e as lavouras xerófilas*. Fortaleza, BNB, 1a ed., 1964.

EMBRAPA. *Zoneamento Agroecológico do Nordeste – Diagnóstico do quadro natural e agrossocioeconômico*. Embrapa, Brasília, Série Documentos, 80, v1., 1993. 89p.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) – Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Brasília: Embrapa. Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002.

EPIPHANIO, J.C.N., Formaggio, A.R., Valeriano, M.M., Oliveira, J.B., 1992. Comportamento espectral dos solos do Estado de São Paulo. Technical Report 5424-PRP/172. INPE, São José dos Campos, 132 pp.

FREIRE, Neison Cabral Ferreira; MELO, PACHECO, Admilson da Penha; Ivan Falcone Dornelas. *Desertificação na Região de Xingo: Análise e Mapeamento Espectro-Temporal*. In: Congresso Brasileiro de Cartografia. Belo Horizonte – Minas Gerais, 2003.

FAO (Food and Agricultural Organization). 2001. *Global Forest Resources Assessment: 2000 main report*. Rome, Italy.

Goetz, A.F.H., Herring, M. 1989. The high-resolution imaging spectrometer (HIRIS) for EOS. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing* 27:136-144.

GUERRA, A. T. & GUERRA, A. J. T. Novo dicionário geológico geomorfológico, Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1997.

HUETE, A.R., H.Y. LIU, & H.Q. LIU. Directional vegetation index interactions in ASAS imagery, IGARSS'94 Digest, 3, 1813-1814, 1994.

IBGE/SUDENE/IBAMA.1990. Atualização dos antropismos e inventário florestal da Região Nordeste. Salvador. IBGE/SUDENE/IBAMA.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Imagens Landsat 5 Órbita/Ponto 215-065, 25/05/1987 e 20/05/2000, Bandas 1, 2, 3, 4, 5 6 e 7.

IPLANCE. 1997. Atlas do Ceará. Edições IPLANCE, Fortaleza

IQBAL, M. An Introduction to Solar Radiation. Academic Press, New York, 1983.

ISAIA, E.M.B., ISAIA, T., VERSLYPE, C. & GARIGLIO, M.A.1992. Avaliação do estoque lenheiro do estado do Rio Grande do Norte – 1a etapa: estratificação e mapeamento da vegetação nativa lenhosa através de composições coloridas do TM Landsat. Projeto de Desenvolvimento Florestal Integrado no Nordeste do Brasil. Documento de campo no 4. Natal – RN.

JACKSON, R.D., HUETE, A. R. Interpreting vegetation indices. Journal of Preventive Veterinary Medicine, 11:185- 200 p. 1991.

JENSEN, J.R. Remote Sensing Of The Environment: On Earth Resource Perspective. 1. ed. London: Printice-Hall, 2000.

KAUTH, R.J.; THOMAS, G.S. The tasseled-cap: a graphic description of the spectral-temporal development of agricultural crops as seen by Landsat. In: MACHINE PROCESSING OF REMOTELY SENSED DATA SYMPOSIUM, 2., 1976, West Lafayette, IN. Proceedings..., West Lafayette, IN: Purdue University, 1976. p.4B41-4B51.

KAZMIERCZAK, MARCOS LEANDRO. 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.

LILLESAND, T. M & KIEFER, R. W, 1994. REMOTE SENSING AND IMAGE INTERPRETATION. 3rd. John Wiley & Sons, Inc. 750p..

LINS, J.R.P. & MEDEIROS, A.N. 1994. Mapeamento da cobertura florestal nativa lenhosa do estado da Paraíba. Projeto PNUD/FAO/IBAMA/BRA/87/007/Governo da Paraíba. Documento de campo no 22. João Pessoa – PB.

Machado, I.C.S., Barros, L.M., Sampaio, E.V.S.B. 1997. Phenology of caatinga species at Serra Talhada, PE, Northeastern Brazil. *Biotropica* 29:57-68.

MADEIRA NETTO, J.S., 2001. Chapter 4. Comportamento espectral dos solos. In (Meneses, P.R., Madeira Netto, J.S., Eds.). *Sensoriamento Remoto: Reflecância dos Alvos Naturais*. Editora UNB, Brasília. 262 pp.

MALDONADO, F. D. et al. 2000. Caracterización de câmbios e influencia climática sobre la cobertura vegetal em el semiárido brasileño mediante Análisis de Componentes Principales. *Revista de teledetección*.

MATALLO JÚNIOR, H. Indicadores de Desertificação: histórico e perspectivas. Brasília: UNESCO, 126p. 2001.

MEDEIROS, C.V.; MELO, M.S. de. Processos Erosivos no espaço urbano de Ponta Grossa. In: DITZEL, C. De H M.; SAHR, C. L. L. (org.). *Espaço e Cultura: Ponta Grossa e os Campos Gerais*. Ponta Grossa: Editora UEPG, 2001.

MENESES, P. R., Netto. Comportamento Espectral dos Solos. . In: MENESES, P. R.; MADEIRA NETTO, J. S. *Sensoriamento Remoto – Reflecância dos Alvos Naturais*. Brasília, DF: UnB; Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001. 262p.

MMA – Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. Avaliação e ações prioritárias para a conservação da biodiversidade da Caatinga. Universidade Federal de Pernambuco. Conservation International do Brasil e Fundação Biodiversitas, Brasília, 2002.

NASA, 2006. Remote Sensing Tutorial. <http://rst.gsfc.nasa.gov> (consulted in March 05, 2006)

NOVO, E.M.L.M.;GASTIL,M.;MELACK,J.M. Estimativa da concentração de clorofila no lago Mono (Mono Lake-CA) a partir de dados do espectrorradiômetro imageador AVIRIS. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 7. 1992, Curitiba, PR. Anais. São José dos Campos:INPE, 1993.v.4.,p.199-210.

NEBEL, B. J.; WRIGHT, R. T. Environmental science. 6. ed. New Jersey: Prentice Hall, 1998

Obukhov, A.I., Orlov, D.S. 1964. Spectral reflectivity of the major soil groups and possibility of using diffuse reflection in soil investigations. Soviet Soil Science, 1:174-184.

PANBRASIL - PROGRAMA DE AÇÃO NACIONAL DE COMBATE À DESERTIFICAÇÃO E MITIGAÇÃO DOS EFEITOS DA SECA. In: www.mma.gov.br. 2004

PAZAR, S. E. 1983. Spectral Characterization of Iron Oxide and Organic Matter relationships in Eroded Soils. M. S. Thesis. Purdue Univ., West Lafayette, Ind.

PONZONI, Fávio Jorge. Comportamento Espectral da Vegetação. . In: MENESES, P. R.; MADEIRA NETTO, J. S. Sensoriamento Remoto – Reflectância dos Alvos Naturais. Brasília, DF: UnB; Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001. 262p.

RAUNKIAER, C. The life forms of plants and statistical plant geography. 1ª edição, Clarendon Press, Oxford, 1934.

RAUNKIAER, C. The life forms of plants and statistical plant geography. 1ª edição, Clarendon Press, Oxford, 1934.

RETALLACK, G.J. Soils of the Past – an introduction to Paleopedology. London: Unwin Hyman, 520 p., 1990.

RHODES, S. L. Rethinking desertification: what do we know and what we have learned? World Development. Great Britain. V. 19. n. 2. p. 1137-1143, 1991.

ROBINOVE, C.J.; CHAVEZ, P.S.; P.S.; GEHRING, D; HOLMGREN, R.. Arid land monitoring using Landsat albedo difference images. *Remote Sens. Environm.*, 11:133-156, 1981.

ROMEIRO, Ademar Ribeiro (2001). Capítulo sobre as perspectivas da agricultura familiar, in: Gilson Bittencourt, Antonio M. Buainain, Carlos Guanzioli, Ademar Romeiro & Alberto Sabbato (orgs.), *Agricultura Familiar e Reforma Agrária no Século XXI*. Petrópolis: Vozes (no prelo).

ROUSE, J.W.Jr., HAAS, R.H., DEERING, D.W., SCHELL, J.A., HARLAN, J.C. Monitoring the Vernal Advancement and retrogradation (Green Wave Effect) of Natural vegetation. NASA/GSFC. Type III Final Report, Greenbelt, MD, 1974, 371p.

REIS, Mauro Silva. Conservação dos Ecossistemas do Nordeste Brasileiro. In: I SIMPÓSIO SOBRE CAATINGA E SUA EXPLORAÇÃO RACIONAL: Feira de Santana, BA: 1989. Embrapa-DDT. 361p. Anais.

SAMPAIO, E.; SAMPAIO, Y. Desertificação. Recife, PE: Editora Universitária UFPE, 2002. 85 p.

SAMPAIO, E. V. S. B. Et al. Desertificação no Brasil: conceitos, núcleos e tecnologias de recuperação e convivência. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2003.

SANT'ANNA NETO, J. L. variabilidade e mudanças climáticas – Implicações Ambientais e Sócio-econômicas. Maringá: EDUEM. 2003a

SCHENKEL, C. S.; MATALLO JÚNIOR, H. (org.) Desertificação. 2 ed. Brasília: UNESCO, 2003.

SEUBERT, C. E., BAUMGARDNER, M. F., WEISMILLER, R. A., KIRSCHENER, F. R., 1979. Mapping and Estimating Area extent of Severely Eroded Soils of Selected sites in Northern Indiana. In Proc., Symp. On Machine Processing of Remotely sensed data. Purdue Univ., West Lafayette, Ind.

SILVA, C. S. G. da. Abordagens sobre o processo de desertificação nos municípios de Parelhas e Equador no Estado do Rio Grande do Norte: uma avaliação. 100p. Monografia. Universidade Federal do Rio Grande do Norte – Departamento de Geografia. Natal, 1999.

SILVA FILHO, A.A., TONIOLO, E.R., GABÍNIO, M.& OLIVEIRA, S.F.S. 1998. . Mapeamento da cobertura florestal nativa lenhosa do estado de Pernambuco. Projeto PNUD/FAO/IBAMA/BRA/87/007/Governo de Pernambuco. Documento de campo no 17. Recife - PE.

Silva, F.H.B.B., Burgos, N., Accioly, L.J.O., Costa, T.C.C., Oliveira, M.A.J. 2002. Caracterização dos recursos naturais de uma área piloto do núcleo de desertificação do Seridó, Estados do Rio Grande do Norte e da Paraíba. Embrapa Solos, Boletim de Pesquisa 04, Rio de Janeiro. 55p.

SINGH, A. Digital change detection techniques using remotely-sensed data. International Journal of Remote Sensing, 10(6):989-1003

SHEPHERD, G. J. 1995. FITOPAC 1. Manual do Usuário. Campinas, UNICAMP

SINGH, A. Digital change detection techniques using remotely-sensed data. International Journal of Remote Sensing, 10(6):989-1003.

SUASSUNA, João. SEMI-ÁRIDO: proposta de convivência com a seca. Disponível em : <http://www.fundaj.gov.br/docs/tropico/desat/js070202.html>.

STONER, E.R., BAUMGARDNER, M.F.1981. Characteristic variations in reflectance of surface soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 45:1161-1165.

SUASSUNA, João. SEMI-ÁRIDO: proposta de convivência com a seca. Disponível em: <http://www.fundaj.gov.br/docs/tropico/desat/js070202.html>.

SUDENE/SEBRAE (2000). Programa de ação para o desenvolvimento da Zona da Mata do Nordeste. Versão executiva. Recife.

SZILAGY, G. Abordagens sobre o processo de desertificação e uma revisão conceitual para o fenômeno investigado. 95p. Monografia. Universidade Federal do Rio Grande do Norte – Departamento de Geografia. Natal, 1999.

TNC/APNE. Resultados do Seminário de Planejamento Ecorregional da Caatinga. VELLOSO, A.L.; SAMPAIO, E.V.S.B.; PAREYN, F.G.C (Eds). Ecorregiões propostas para o Bioma Caatinga. APNE, Recife, 2002.

TONIOLO, E.R. & DANTAS, M.J.B. 1994. Mapeamento da cobertura florestal nativa lenhosa do estado do Ceará. Projeto PNUD/FAO/IBAMA/BRA/87-007/Governo do Ceará. Documento de campo no 27. Fortaleza - CE.

THOME, K.J.; MARKHAM, B.; BARKER, J.; SLATER, P.N.; BIGGAR, S.F. Radiometric calibration of Landsat. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 63:853-858, 1997.

TORRENT, J., Schwertmann, U., Fetcher, H., Alferez, F. 1983. Quantitative relationships between soil color and hematite content. Soil Science 136:354-358.

WEISMILLER, R.A., Van Scoyoc, G.E., Pazar, S.E., Latz, K., Baumgardner, M.F. 1985. Use of soil spectral properties for monitoring soil erosion. In (El-Swaify, S.A., Muldenhauer, W.C., Andrew, L.O., Eds.). Soil Erosion and Conservation. Soil and Water Conservation Society of America, p. 119-127

VASCONCELOS S., J Processos de desertificação ocorrentes no Nordeste do Brasil: sua gênese e sua contenção. Recife: SEMA/SUDENE, 1982. 101p

VASCONCELOS S., J. Metodologia para identificação dos processos de desertificação: manual de indicadores. Recife: SUDENE, 1978. 18p.

<http://www.panda.igeo.pt>

<http://www.unccd.int>

<http://www.cccok.org>