

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA – UFPB
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE MESTRADO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**CARACTERIZAÇÃO ESPECTRAL E TERMOMÉTRICA DOS
SOLOS AFETADOS POR SAIS, DE PARTE DA BAIXADA DE
SOUSA, ESTADO DA PARAÍBA**

CÍCERO OLIVEIRA LIMA

**CAMPINA GRANDE
SETEMBRO - 2000**

CÍCERO OLIVEIRA LIMA

2000 0 0 1 1

**CARACTERIZAÇÃO ESPECTRAL E TERMOMÉTRICA DOS
SOLOS AFETADOS POR SAIS, DE PARTE DA BAIXADA DE
SOUSA, ESTADO DA PARAÍBA**

Dissertação apresentada ao curso de
Mestrado em Engenharia Agrícola da
Universidade Federal da Paraíba, em
cumprimento às exigências para a
obtenção do grau de Mestre.

Área de Concentração:

Irrigação e Drenagem

Orientador:

Prof^o Dr. Marx Prestes Barbosa

CAMPINA GRANDE
Universidade Federal da Paraíba
SETEMBRO – 2000



Ficha catalográfica

Biblioteca da Universidade Federal da Paraíba – Campus II – Campina Grande

528.8

L 732c

Lima, Cícero Oliveira.

Caracterização Espectral e Termométrica dos Solos Afetados por Sais, de Parte da Baixada de Sousa, Estado da Paraíba / Cícero Oliveira Lima. - Campina Grande: UFPB, 2000.

87p. : il.

Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Centro de Ciências e Tecnologia – Universidade Federal da Paraíba.

Palavras-chave:

- 1- Sensoriamento remoto
- 2- SIG
- 3- Termometria
- 4- Solos afetados por sais



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

COPEAG - PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO DO MESTRANDO

CÍCERO OLIVEIRA LIMA

Título: "Caracterização Espectral e Termométrica dos Solos Afetados por Sais, de Parte da Baixada de Souza, estado da Paraíba".

BANCA EXAMINADORA

PARECER

Marx Prestes Barbosa
Dr. Marx Prestes Barbosa-Orientador

APROVADO

Antonio Roberto Formaggio
Dr. Antônio Roberto Formaggio-Examinador Externo

Aprovado

Vera Lucia Antunes Lima
Dra. Vera Lúcia A. de Lima-Examinadora Interna

APROVADO

Setembro/2000

DEDICATÓRIA

*Á Deus que me tem acompanhado,
Guiado os passo, ajudado durante
Toda a minha vida e concedido
mais este momento de vitória.*

*À minha filha Ágatha Flora,
que muitas vezes deixei de
dar atenção. Sempre foi o
meu refugio de fé e esperança
nas horas de angústia.*

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

O autor manifesta seus agradecimentos, às seguintes pessoas e instituições:

À Natureza, Mãe Suprema de todos nós, que na sua luta constante contra as agressões do Homem, batalha incansavelmente por nossas vidas;

Aos meus pais, Claudiomar Bezerra Lima e Francisca Oliveira Lima, e a minha avó Ana Tavares, a quem me deram a vida, e a eles devo minha formação respeito, carinho, amor e dedicação, sem a qual não seria possível proceder a este ou qualquer outro trabalho;

Ao Prof. Dr. Marx Prestes Barbosa, pelo apoio, confiança amizade, compreensão e orientação dada na execução deste trabalho.

Ao Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba e aos seus professores, pela contribuição científica em sua formação profissional.

À Fapesq e a Capes pelo suporte financeiro.

À Eng^a Agrícola Maria de Fátima Fernandes, pela sua dedicação durante o trabalho de campo.

Ao Eng^o Cartógrafo Miguel José da Silva, pela preciosa ajuda na digitalização dos mapas e na fase de obtenção dos mapas finais.

Ao Desenhista Davi Oliveira dos Santos, pela contribuição útil na confecção dos mapas.

Ao Laboratório de Meteorologia, Recursos Hídricos e Sensoriamento Remoto, pela infra-estrutura de *hardware e software* oferecidos.

A toda equipe do Laboratório de Meteorologia, Recursos Hídricos e Sensoriamento Remoto, pelo apoio e atenção durante a execução deste trabalho.

Aos colegas de curso de Pós-Graduação, pelo convívio e sinceras amizades.

A todas as pessoas e amigos que, direta ou indiretamente, contribuíram no desenvolvimento deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	iii
LISTA DE TABELAS	iv
LISTA DE FOTOS	v
RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
CAPÍTULO - 1 - Considerações gerais	
1.1. Introdução.....	1
1.1.1 - Objetivo Geral.....	3
1.1.2 - Objetivos Específicos.....	3
CAPÍTULO - 2 -Características Gerais da Área	
2.1 - Relevo.....	4
2.2 - Geologia.....	6
2.3 - Clima.....	7
2.4 - Hidrografia, Drenagem e Irrigação.....	9
2.5 - Vegetação.....	10
2.6 - Solos.....	11
2.7 - Aspectos Econômicos.....	17
CAPÍTULO - 3 - Revisão de Literatura	
3.1 - Sensoriamento Remoto.....	18
3.1.1 - Definição.....	18
3.1.2 - Sistema Landsat.....	19
3.1.3 - Componentes do Sistema Landsat.....	21
3.1.4 -TM/Landsat-5.....	21
3.2 - Geoprocessamento.....	24
3.3 - Termometria.....	25
3.4 - Comportamento espectral dos diferentes alvos da superfície terrestre.....	26
3.4.1 - Solos.....	27
3.4.2 - Corpos d'água.....	29
3.4.3 - Vegetação.....	29
3.5 - Caracterização e classificação de solos afetados por sais.....	31
3.5.1 - Solos salinos.....	34
3.5.2 - Solos salinos-sódicos ou salinos-alcalinos.....	35

3.5.3 - Solos sódicos ou alcalinos.....	35
3.6 - Utilização de dados Orbitais no estudo de Solos Afetados por Sais.....	36
CAPÍTULO - 4 - Materiais e Métodos	
4.1 - Materiais	
4.1.1 - Área de estudo.....	40
4.1.2 - Material Bibliográfico e Cartográfico.....	41
4.1.3 - Mapas Temáticos.....	42
4.1.4 - Produtos de Sensoriamento Remoto.....	42
4.1.5 - Material de campo.....	43
4.1.6 - Suporte Computacional Físico e Lógico (Software).....	43
4.2 - Métodos.....	44
4.2.1 - Obtenção e seleção dos dados disponíveis.....	44
4.2.2 - Reconhecimento da área de estudo.....	45
4.2.3 - Leituras de Temperatura.....	48
4.2.4 - Análise das imagens.....	48
4.2.5 - Registro das imagens.....	48
4.2.6 - Transformação RGB e Aumento de Contraste.....	49
4.2.7 - Interpretação Visual Preliminar das Imagens TM/Landsat-5.....	49
4.2.8 - Trabalho de Campo.....	50
4.2.9 - Confecção do Mapa Final dos Solos Afetados por Sais.....	50
4.2.10 - Leituras de "Pixels".....	51
CAPÍTULO - 5 – Resultados e Discussão	
5.1 - Análise das imagens TM/Landsat-5.....	52
5.1.1 - Banda TM3.....	52
5.1.2 - Banda TM4.....	53
5.1.3 - Banda TM5.....	53
5.1.4 - Banda TM6.....	56
5.2 – Correlação da análise de pixels das imagens TM/Landsat-5 e Leituras de Temperatura em solos afetados por sais.....	59
CAPÍTULO - 6 - Considerações Finais e Perspectivas	
6.1 - Conclusões e Considerações Finais.....	74
6.2 - Sugestões Para Trabalhos Futuros.....	76
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Esboço Geomorfológico.....	5
Figura 2.2 - Esboço Geológico.....	7
Figura 2.3 - Tipos de Clima.....	8
Figura 2.4 - Regiões Bioclimáticas.....	9
Figura 2.5 - Esboço da Vegetação.....	11
Figura 3.1 - Espectro Eletromagnético.....	19
Figura 3.2 - Configuração do Sistema Landsat-5.....	22
Figura 3.3 - Curvas características da reflectância espectral.....	30
Figura 4.1 - Localização da área de estudo.....	41
Figura 5.1 - Imagem original, banda TM3 com data de passagem em 03/11/97.....	52
Figura 5.2 - Imagem original, banda TM4 com data de passagem em 03/11/97.....	53
Figura 5.3 - Imagem original, banda TM5 com data de passagem em 03/11/97.....	54
Figura 5.4 - Composição RGB (realçada) das bandas originais com data de passagem em 03/11/97. Manchas verificadas em campo (1, 2, 3, 4, ...) e pontos aleatórios analisados em laboratório (I, II, III, IV.....)	55
Figura 5.5 - Imagem original, banda TM6 com data de passagem em 02/08/98.....	56
Figura 5.6 - Imagem realçada da banda TM6 (termal) com data de passagem em 02/08/98.....	57
Figura 5.7 - Composição RGB (realçada) da imagem TM/Landsat-5, a partir da banda termal original com data de passagem em 02/08/98.....	58
Figura 5.8 - Mapa dos solos afetados por sais, georreferenciado no SPRING.....	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Satélites da série Landsat.....	20
Tabela 3.2 - Principais aplicações de cada uma das Faixas Espectrais do TM/Landsat-5.....	23
Tabela 3.3 - Classificação dos solos salinos e alcalinos segundo U.S. Salinity Laboratory.....	34
Tabela 5.1 - Leituras de Pixels das Imagens TM/Landsat-5 com data de passagem em 03/11/97 e de Temperaturas dos Solos com Termômetro Infravermelho.....	60
Tabela 5.2 - Temperaturas dos Solos não afetados por sais com Termômetro Infravermelho.....	61
Tabela 5.3 - Leituras de Pixels da Imagem TM/Landsat-5 com data de passagem em 02/08/98 e de Temperaturas dos Solos com Termômetro Infravermelho.....	67
Tabela 4.4 - Leituras de Pixels das Imagens TM/Landsat-5 com data de passagem em 03/11/97.....	72

LISTA DE FOTOS

Foto 01 - Solo Aluvião afetado por sais com presença de matéria orgânica na superfície (mancha 5).....	62
Foto 02 - Solo Aluvião afetado por sais, nesta área percebe-se a invasão de juremas (mancha 6).....	62
Foto 03 – Solo Solonetz-Solodizado exposto (mancha 13).....	63
Foto 04 - Solo Aluvião afetado por sais (mancha 1).....	63
Foto 05 – Ocorrência de microrelevos, aspecto característico dos Vertissolos (mancha 4).....	64
Foto 06 - Solonetz-Solodizado após cultivo do arroz (mancha 7).....	64
Foto 07 - Fruticultura (coco) em Solo Aluvião afetado por sais (mancha 8).....	65
Foto 08 – Área preparada para o cultivo em solos Solonetz-Solodizados (mancha 12).....	65
Foto 09 - Aspecto típico da vegetação de um Solonetz-Solodizado (mancha 16).....	66
Foto 10 - Cultivo de arroz em Solos Solonetz-Solodizados (mancha 17 – Setor 4, Perímetro Irrigado de São Gonçalo).....	66
Foto 11 – Vista parcial de Solo Aluvião afetado por sais. Ao fundo, a Serra de Acauã (mancha 2).....	68
Foto 12 - Solo Aluvião afetado por sais preparado para o cultivo (mancha 10).....	68
Foto 13 – A foto mostra um solo Solonetz-Solodizado com algumas manchas de Vertissolos (mancha 14).....	69
Foto 14 - Solonetz-Solodizado com presença de sal cristalizado na superfície (mancha 11).....	69
Foto 15 - Solo Aluvião afetado por sais em processo acelerado de degradação (mancha 3).....	70
Foto 16 - Aspecto típico da paisagem de ocorrência de solos Solonetz-Solodizados (mancha 9).....	70
Foto 17 – Vista parcial da mancha 15 (área bastante degradada).....	71

RESUMO

O presente estudo foi desenvolvido no Noroeste do Estado da Paraíba - Brasil, entre as paralelos 06° 41' 34" e 06° 52' 32" de Latitude Sul e os meridianos 38° 02' 46" e 38° 22' 41" de Longitude Oeste, englobando parcialmente os municípios de Aparecida, Marizópolis, São Francisco e Sousa, abrangendo aproximadamente 738,62 km². Como objetivo principal, destaca-se o uso de imagens do sensor TM do satélite Landsat-5 e de determinações de temperaturas superficiais na detecção de solos afetados por sais. Para tanto, procedeu-se à interpretação visual da transformação RGB (realçada) das bandas originais TM3, TM4, TM5 e TM6 (termal), auxiliada por um Sistema de Informações Geográficas (SIG) e trabalho de campo. Como resultado final, obteve-se um mapa onde aproximadamente 34,15 % da área mapeada apresenta-se com solos afetados por sais.

ABSTRACT

The present study was conducted in the Northwest of the State of Paraíba, Brazil, among the parallels $06^{\circ} 41' 34''$ and $06^{\circ} 52' 32''$ S and the meridians $38^{\circ} 02' 46''$ and $38^{\circ} 22' 41''$ W, including partially the municipal districts of Aparecida, Marizópolis, São Francisco and Sousa, embracing $738,62 \text{ km}^2$ approximately. The main objective was to use the TM/Landsat-5 images and determination of superficial temperatures to detect salt affected soils. In the visual interpretation a RGB composition of the bands TM3, TM4, TM5 and TM6 (thermal) was used, aided by a Geographical Information System (GIS) and field data. As final result, it a map was obtained where approximately 34,15 % of the mapped area were soils affected salt.

CAPÍTULO 1

CONSIDERAÇÕES GERAIS

1.1 – Introdução

O desenvolvimento da agricultura paraibana tem sido significativo nos últimos anos, principalmente na Bacia do Rio Piranhas, região oeste do Estado onde se encontra o Perímetro Irrigado de São Gonçalo e a Baixada de Sousa. Essa agricultura, ao lado de fatores positivos, apresenta também vários problemas, dentre os quais um manejo inadequado do solo e uma irrigação mal aplicada associada à falta de controle de drenagem que não é feita ou quando feita é de forma ineficiente, provocando em muitos casos a redução do rendimento das culturas e a degradação dos solos, pelo aumento da concentração de sais solúveis.

Pesquisas realizadas pela Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação - FAO (1984) mostram que na Terra existem aproximadamente 1.500 milhões de hectares apropriados para a agricultura. Tal área, poderia, ser duplicada, mediante obras de drenagem e irrigação, o que passaria a representar 3.000 milhões de hectares (22% da superfície do planeta) de áreas potencialmente agricultáveis no mundo. Nos países desenvolvidos 77% dessas terras estão sendo exploradas, enquanto que, nos países em desenvolvimento apenas 36%.

A pesquisa da FAO mostra ainda que, "no final do século, a escassez de terra será um fator limitante para 75% da população nos países em desenvolvimento". Isto porque a superfície das terras agrícolas disponíveis desses países decrescerá de 0,37 para 0,25 hectares/habitante. Essa diminuição das terras cultiváveis tem como causa principal a degradação através da erosão do solo, contaminação química, salinização e perdas de áreas devido à extração de minérios.

Segundo a FAO (1997), existem cerca de 237 milhões de hectares de áreas irrigadas na Terra. Onde aproximadamente 30 milhões de hectares estão severamente afetados por sais, cifra esta que aumenta a cada ano, especialmente nas áreas onde a irrigação é praticada sem manejo adequado da água e do solo. Estima-se que a taxa de perdas de áreas agrícolas com irrigação, em consequência da elevação do lençol freático, e consequente salinização, seja de cerca de 1.500.000 ha/ano.

Em meados dos anos 70, a área afetada por sais foi estimada em 952 milhões de hectares (FAO, 1984). Do total da área salinizada no mundo, cerca de 4,5 milhões de hectares encontram-se no Brasil principalmente no Nordeste, onde o clima predominante é o semi-árido (Kovda & Szabolcs, 1979).

A questão da salinidade na região semi-árida, especificamente nas áreas irrigadas, merece atenção especial. Bernardo (1995) mostra que 30% das áreas irrigadas dos projetos públicos no Nordeste apresentam problemas de salinização e algumas das áreas já se tornaram improdutivas. Por extensão, este problema também afeta as áreas irrigadas do Estado da Paraíba, como é o caso do Perímetro Irrigado de São Gonçalo. Estudos realizados por Santos (1986) e Cordeiro e Barreto (1988) revelam a grande dimensão do problema em termos de área afetada. Considerando que os problemas de salinidade ocorrem também em áreas não-irrigadas, é evidente a importância de estudos de salinidade nestas áreas de regiões áridas e semi-áridas (Santos, 1986).

O excesso de sais acumulados na superfície do solo pode produzir diferenças de tonalidades significativas, freqüentemente observáveis pelo sistema visual humano. Essas diferenças tonais do terreno podem também ser facilmente detectadas por sensores óticos orbitais (Lobo, 1992). Por outro lado, o desenvolvimento de técnicas apoiadas no uso de computadores, disponibilidade de imagens da superfície terrestre obtidas por sensores orbitais em várias faixas do espectro eletromagnético, além dos Sistemas de Posicionamento Global, demais produtos, técnicas e acessórios, tem representado o grande suporte do geoprocessamento, que num sentido mais amplo, constitui-se da integração dessas tecnologias.

1.1.1 – Objetivo Geral

O objetivo do presente trabalho consistiu em estudar uma metodologia de interpretação de produtos orbitais e o uso de sistema de informações geográficas na caracterização de solos afetados por sais em parte da região semi-árida paraibana.

1.1.2 – Objetivos Específicos

1. Análise visual e tratamento digital das imagens TM/Landsat-5, para a definição das melhores bandas espectrais para o estudo de solos afetados por sais;
2. Confecção de um mapa das ocorrências dos solos afetados por sais, com base na interpretação dos dados de Sensoriamento Remoto;
3. Coleta das temperaturas superficiais dos solos afetados por sais e descrição das características ambientais;

CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA

2.1 Relevo

O esboço geomorfológico do Estado da Paraíba (figura 2.1), mostra que o relevo predominante na área de estudo é composto de duas unidades morfológicas:

- a) **Depressão Sertaneja**, que apresenta superfícies de pediplanação com pequenos inselbergues (domínio de relevo suavemente ondulado) e bacia sedimentar cretácica (domínio de relevo plano).

A Superfície de Pediplanação com Pequenos Inselbergues constitui uma extensa área suavemente ondulada a ondulado, circundada por elevações periféricas do Planalto da Borborema e propensa a processos erosivos, ativados pelos fatores climáticos da região semi-árida. Situada à periferia do Planalto esta superfície tem seus limites determinados a leste pela Frente Ocidental do Planalto; ao sul pelo Maciço de Teixeira, que se prolonga até o extremo oeste do Estado. A Bacia Sedimentar Cretácica constitui-se de uma bacia fóssil e plana, apresentando pequenas elevações. Seus limites são determinados principalmente pelas elevações do Pré-Cambriano que a cerca totalmente (Brasil, 1972).

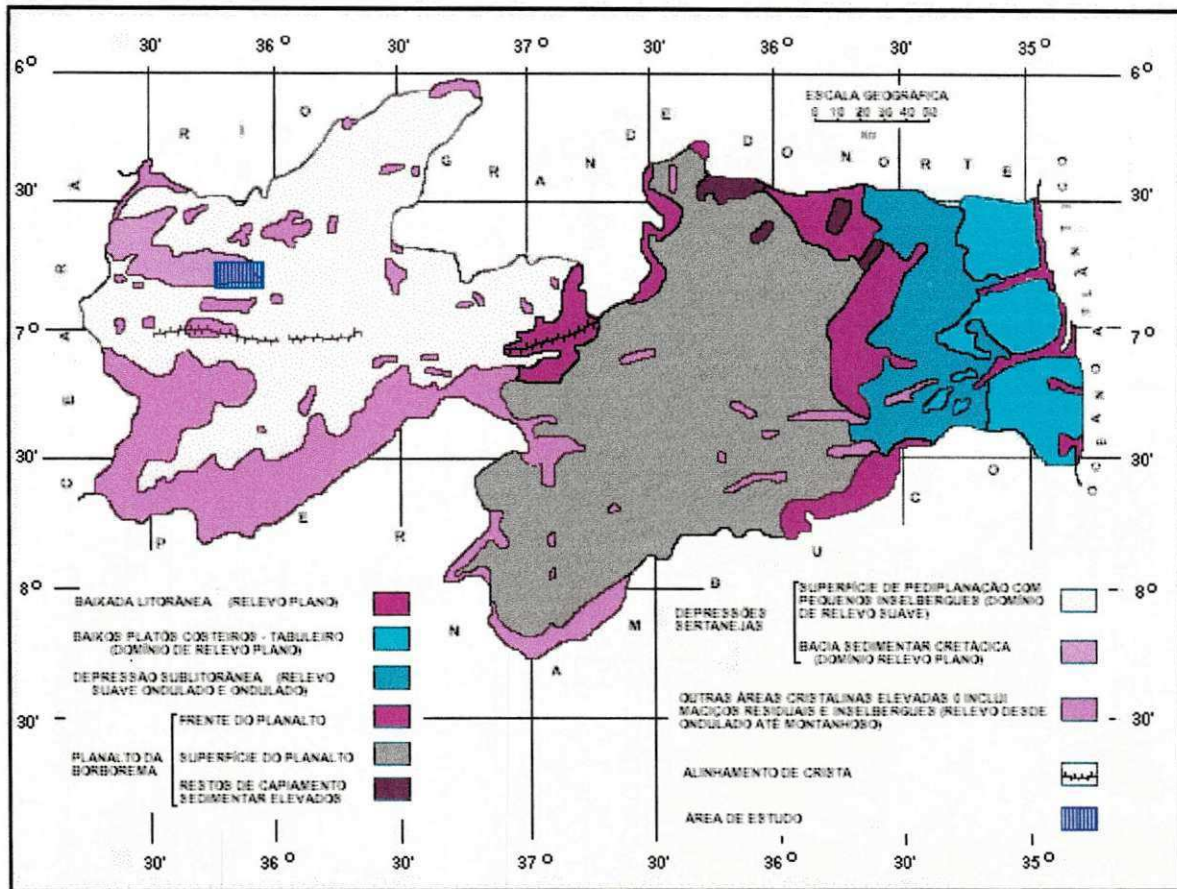


Figura 2.1 - Esboço Geomorfológico, modificado de Brasil (1972).

b) Áreas Cristalinas Elevadas, Contrastando com o suave perfil das superfícies pediplanadas sertanejas ocorrem de quando em quando elevações de constituição graníticas e/ou gnáissica, de porte variado, destacando-se isoladas ou não. As primeiras correspondem os inselbergues, cujas silhuetas rochosas pontilham a superfície, especialmente nas adjacências de Patos. Tais elevações, consideradas "resíduos da pediplanação", exibem a rocha nua ou com escasso revestimento constituído por espécies rupestres, localizado nas pequenas plataformas ou reentrâncias, onde se acumula delgada camada de detritos. As segundas corresponde aos maciços, que abrangem áreas relativamente amplas, onde se verifica relevo desde ondulado até montanhoso. Estes maciços atingem altitudes superiores a 700 metros o que determina alterações de condições climáticas, posto que se opõem ao

deslocamento das correntes aéreas. Desta forma exibem maciços uma face úmida e outra seca, a primeira situada a barlavento (Brasil, 1972).

2.2 Geologia

A área de estudo é constituída pelos sedimentos do cretácio inferior, que constituem a bacia do Rio do Peixe (figura 2.2), uma longa baixada situada no pediplano regional que, segundo Braun (1969), foi originada pela reativação de falhas do Pré-Cambriano

O grupo do Rio do Peixe ocorre em várias bacias interioranas isoladas, nas regiões de Iguatu, Lima Campos, Icó, Lavras da Mangabeira e Quintaús no estado do Ceará; e Sousa, Pombal e Brejo das Freiras no estado da Paraíba (Brasil 1981).

A Bacia do Rio do Peixe é compartimentada estruturalmente nas sub-bacias do Brejo das Freiras e Antenor Navarro, separadas pela falha de Brejo das Freiras e pelas altas estruturas de Santa Helena. A sub-bacia do brejo das Freiras, menos deformada tectonicamente, constitui também um plano sinclinal e se mostra com uma estrutura mais complexa, onde se distinguem dois baixios estruturais: o sub-bloco de Antenor Navarro e o sub-bloco de Sousa, limitados por falhas pré-sedimentares de rejeitos diferenciais (Dantas et al, 1982)..

A bacia do Rio do Peixe trata-se de uma superfície aplainada, representada por sedimentos detríticos grosseiros a finos, cercada por grandes elevações do cristalino (Costa, 1963). Esta bacia sedimentar limita-se ao Sul pelo "lineamento de Patos", tendo uma extensão máxima de 75 km de comprimento no sentido leste-oeste, e uma largura máxima de 20 Km. A sudoeste de Brejo das Freiras, há um forte estrangulamento, apresentando uma largura de 2,5 Km (Brasil, 1972).

sendo que as menores precipitações pluviométricas verificam-se nos meses de setembro e outubro. As temperaturas médias se mantêm constantes durante quase todo ano, sendo a amplitude térmica sempre inferior a 5° C (Brasil, 1972).

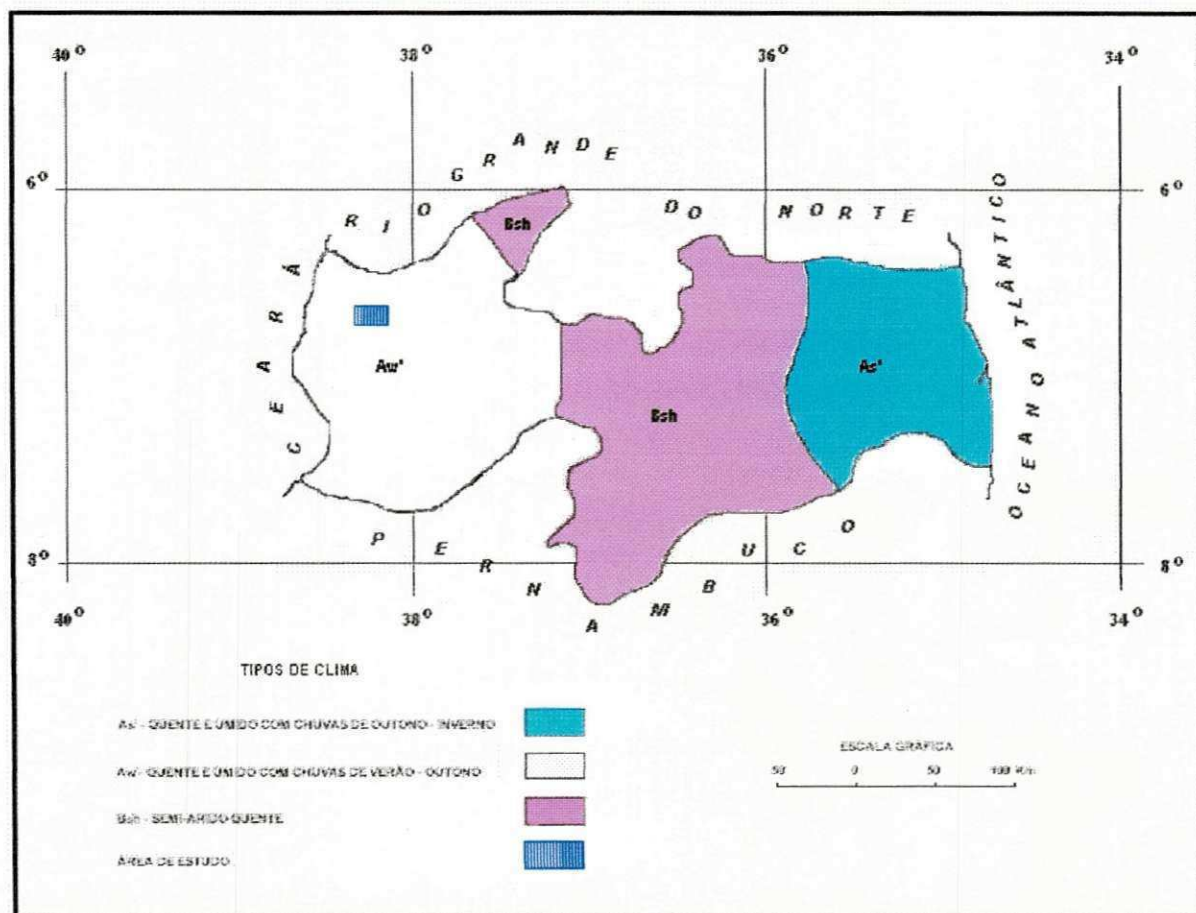


Figura 2.3 - Tipos de Clima, modificado de Brasil (1972).

Pela Classificação Bioclimática de Gaussen o clima da área é do tipo termoxeroquimênico acentuado (tropical quente de seca acentuada) - **4aTh** (figura 2.4), com estação seca longa, de 7 a 8 meses e o índice xerotérmico que indica o número de dias biologicamente secos, está compreendido entre 150 e 200 (Brasil, 1972).

A Classificação de Thornthwaite define o clima da Microrregião Homogênea 95 como semi-árido, com precipitações pluviométricas que variam entre 400 e 1.036 mm anuais, ocorrendo principalmente nos meses de janeiro e julho, apresentando uma evapotranspiração média anual de 1.500 mm, uma

deficiência hídrica média anual de 800 mm e uma temperatura média anual em torno de 27,9 °C (Paraíba, 1980).

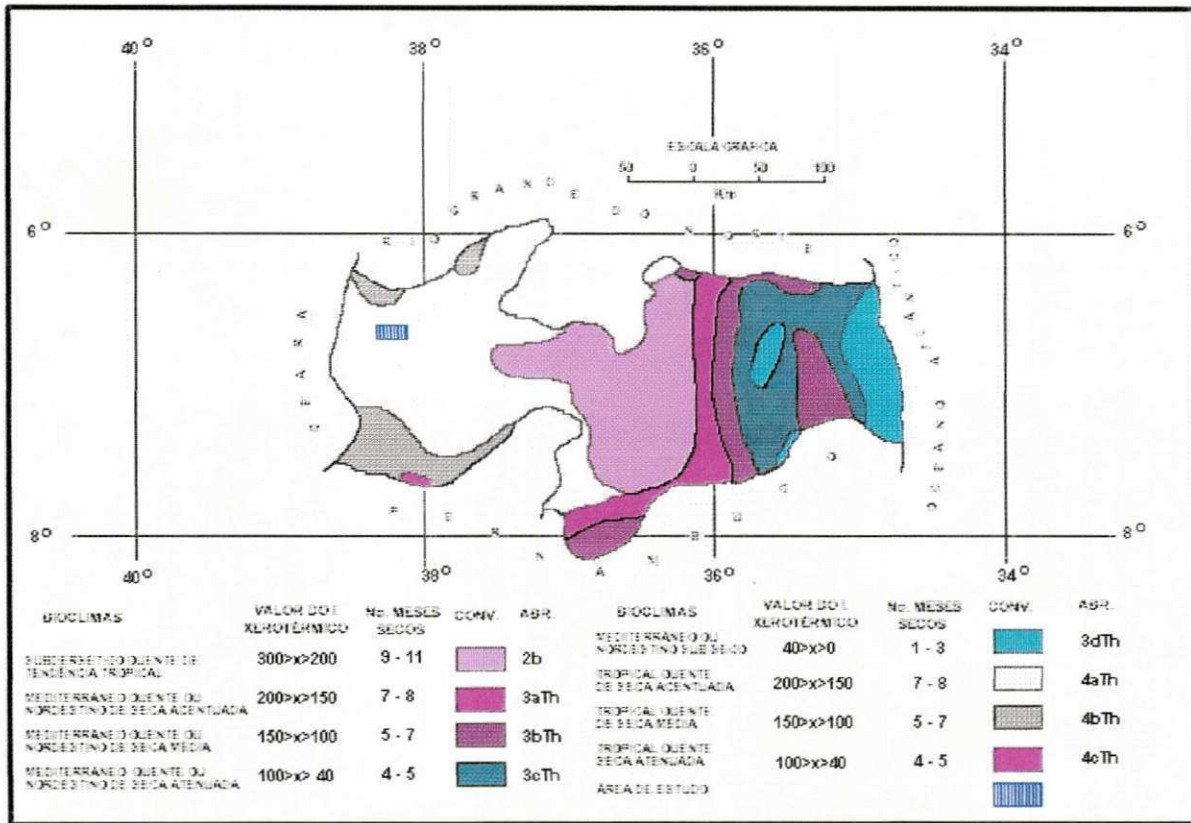


Figura 2.4 - Regiões Bioclimáticas, modificado de Brasil (1972).

2.4 Hidrografia, Drenagem e Irrigação

A bacia do Rio Piranhas é a de maior potencial, muito embora não sendo paraibana na sua totalidade, ela drena totalmente toda a área de estudo e toda a região sertaneja do Estado. O Rio Piranhas constitui o principal curso d'água desta bacia, que nasce no alto sertão, município de Bonito de Santa Fé, desaguando no litoral do Estado do Rio Grande do Norte (Pontes Lins & Medeiros, 1994).

Os principais componentes desta bacia são os Rios Piancó, Piranhas, Espinharas e Peixe, estando nela situados os seguintes açudes: Estevão Marinho, município de Coremas, com 720 milhões de m³. Mãe D'água, no mesmo município, com capacidade de 640 milhões de m³, e o Açude

Engenheiro Ávidos, no município de Cajazeiras com 225 milhões de m³ (Pontes Lins & Medeiros, 1994). Estes rios que a constitui, são todos de regime temporário, permitindo na estação seca do ano a utilização agrícola de seus leitos (Brasil, 1972).

Nos municípios que fazem parte da Microrregião Homogênea Depressão do Alto Piranhas (MRH 95), as condições de terras para a irrigação são boas, com prioridade para as terras adjacentes ao açude São Gonçalo, estendendo-se pelas margens direita e esquerda do Rio Piranhas, a 10 Km da cidade de Sousa, abrangendo uma área de 4.600 ha, dos quais apenas 2.680 ha são considerados irrigáveis (Millar & Cordeiro, 1977).

2.5 Vegetação

A vegetação predominante na região de estudo é do tipo caatinga hiperxerófila, figura 2.5 (Paraíba, 1994). Esta formação vegetal tem porte variável, caducifolia de caráter xerófilo (que se caracteriza por apresentar indivíduos adaptados às condições semi-áridas do clima, vegetando sobre solos relativamente rasos e pedregosos), com grande quantidade de plantas espinhosas, ricas em cactáceas e bromeliáceas. Apresenta como características, as formas comuns de resistência à carência d'água como sejam: redução da superfície foliar, transformação das folhas em espinhos, cutículas cerosas nas folhas, órgãos subterrâneos de reserva, sendo porém a mais importante e comum a quase todas as espécies a caducidade foliar (Brasil, 1972). As espécies xerófilas mais destacadas na área de estudo são a Jurema, Pereiro, Ipê, Angico, Carnaúba¹, Catingueira, Macambira, Umbuzeiro, Baraúna e Xique-Xique.

A vegetação nativa nesta área do estado encontra-se praticamente devastada pela intervenção do homem, cuja ação extrativa predatória ou desmatamentos para uso agrícola, intensifica-se a cada ano, culminando com a destruição total do sistema ecológico. Também verifica-se, em pequena extensão,

¹ indicador de salinidade

a presença de floresta perenifolia de várzea e culturas de subsistência (Brasil, 1972).

Algumas áreas na região apresentam-se exploradas com culturas tolerantes e resistentes aos problemas que assolam o semi-árido, tais como a salinidade e a seca. A exploração agrícola é observada de forma mais acentuada no Perímetro Irrigado de São Gonçalo.

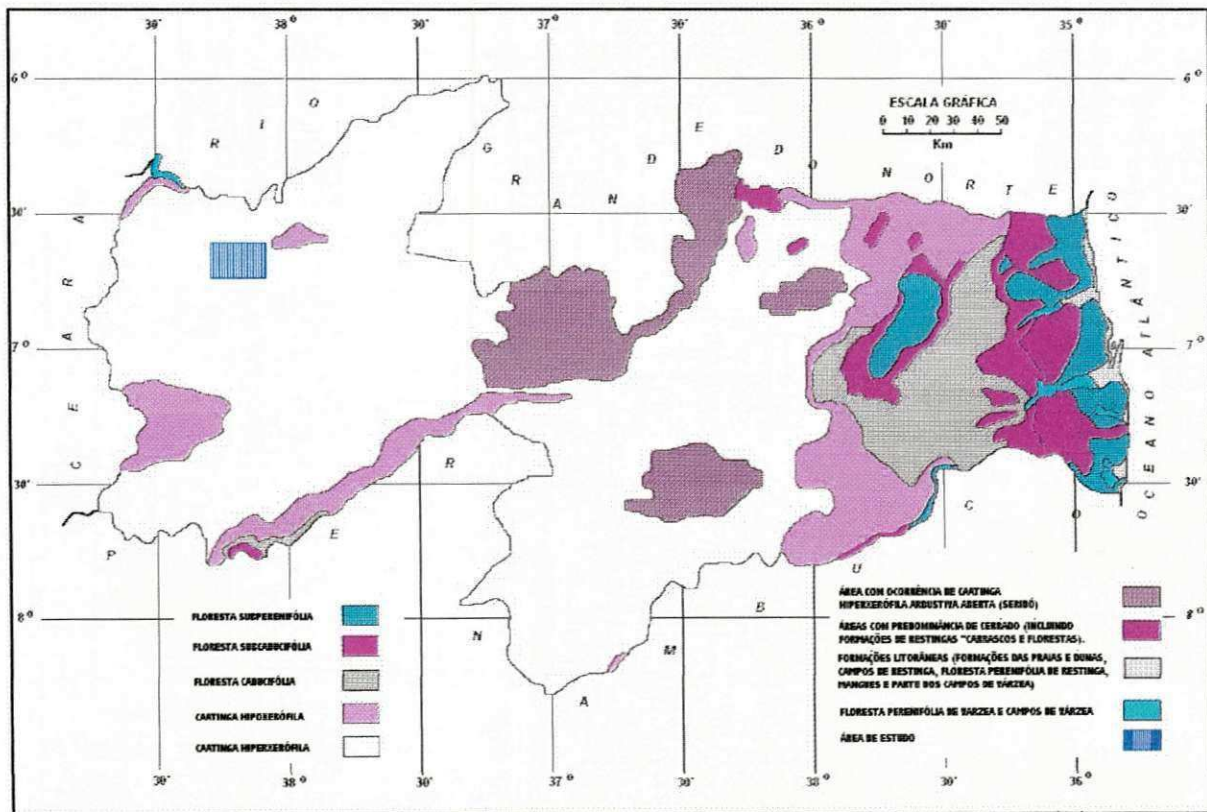


Figura 2.5 - Esboço da Vegetação, modificado de Brasil (1972).

2.6 Solos

Os principais grupos de solos existentes no trecho da área correspondente à superfície de pediplanação e a Bacia Sedimentar Cretácica, segundo Brasil (1972) e Paraíba (1978), estão relacionados com as seguintes unidades pedológicas:

2.6.1 Grupo de solos com horizonte B textural argila de atividade baixa a alta e alta saturação de bases.

Este grupo compreende os solos Podzólicos Vermelho Amarelo Eutróficos e Bruno Não-Cálcico.

Os solos Podzólicos Vermelho Amarelo Eutróficos são solos minerais não hidromórficos com baixa atividade de argila e horizonte B textural com alta saturação de bases. São de baixa CTC e baixa saturação com alumínio. São profundos a muito profundos, moderadamente erodidos, às vezes severamente erodidos e de topografia ondulada. São bem drenados, ácidos e ligeira a moderadamente alcalinos. Verificam-se nesses solos como vegetação típica, a caatinga hiperxerófila. Apresentam seqüências dos horizontes A, Bt e C.

O horizonte A é moderadamente desenvolvido, com presença de afloramentos rochosos e fragmentos na sua superfície. Apresentam textura franco-arenosa. São solos cujo horizonte A é de coloração bruno escuro a bruno escuro brilhante. A transição entre o horizonte A e o B é abrupta e lisa. O horizonte B é dividido em várias camadas de horizontes Bt e nele verifica-se abundante quantidade de cerosidade nas camadas mais baixas. São vermelho amarelado escuro e o limite entre o horizonte B e C é gradual e plano.

O horizonte C geralmente tem mais de 25 cm de profundidades, apresentando estrutura em blocos subangulares.

Os solos Bruno Não-Cálcicos apresentam horizontes B textural não-hidromórfico, com argila de atividade alta (valor T maior que 24meq/100g de argila após correção de carbono). Possuem altas somas de bases (valor S) e saturação de bases (valor V%). São solos caracterizados pela presença de pavimentos desérticos e de seqüência de horizontes, Bt ou IIBt, C e R.

Nestes solos destaca-se um horizonte A duro ou muito duro quando seco, de estrutura normalmente maciça ou em blocos fracamente desenvolvidos e

de coloração clara contrastando com o horizonte Bt avermelhado, que apresenta estrutura em blocos subangulares ou angulares, sendo muitas vezes em prismas.

Ocorrem em relevo suave ondulado, ondulado e raramente montanhosos. São originados de vários tipos de rochas. Apresentam freqüentemente erosão de classes laminar moderada a severa, podendo ocorrer erosão laminar ligeira em sulcos repetidos, com freqüência de voçorocas. São bem drenados sendo que a sua reação (pH) varia de moderadamente ácida a praticamente neutra, sendo que o valor do pH em alguns perfis diminui ligeiramente no horizonte B para aumentar no horizonte C.

A vegetação associada é do tipo caatinga hiperxerófila, porte arbóreo arbustivos densa e às vezes pouco densa.

2.6.2 Grupo de solos pouco desenvolvidos

Este grupo compreende os solos Litólicos Eutróficos e os solos Aluviais Eutróficos.

Os solos Litólicos Eutróficos são solos pouco desenvolvidos, com horizonte A fraco, textura arenosa a média, predominantemente rasos a moderadamente profundos e que apresentam um horizonte A diretamente sobre a rocha, ou até mesmo sobre um horizonte C de pequena espessura. Admite-se até a presença de um horizonte B em início de formação.

Estes solos apresentam seqüência de horizontes A, R ou A, C, R com transições normalmente abruptas.

O horizonte A apresenta comumente com cores bruno escuro, bruno avermelhado escuro, matizes 5 YR e 10 YR, valores de 3 a 4 e cromas entre 2 e 4. A textura é das classes franco-arenosa, normalmente cascalhentas. A estrutura é das classes franco-argilo-arenosa, normalmente cascalhentas. A estrutura é muito fraca, pequena a média, em blocos subangulares.

Este horizonte transita de maneira abrupta, plana ou ondulada para a rocha (R) ou para um horizonte C pouco espesso, constituído por fragmentos de rocha bastante intemperizada, que apresenta cor bruno avermelhado escuro, matizes 2,5 YR, com aspecto lustroso típico da rocha subjacente.

Na maior parte da área, como inclusão e em certos trechos, associados a alguns dos solos acima referidos, ocorre Solonetz Solodizado textura média fase caatinga hiperxerófila relevo plano e suave ondulado.

Os solos Aluviais Eutróficos são solos pouco desenvolvidos provenientes de deposições fluviais que apresentam apenas um horizonte superficial diferenciado (A ou Ap), ao qual seguem as camadas estratificadas (IIC, IIIC, etc.), sem relação genéticas entre si. Possuem argila de atividade alta, saturação com alumínio praticamente inexistente, alta saturação de base. São solos de fertilidade natural alta, pouco profundos a profundos, moderadamente ácidos a moderadamente alcalinos nas camadas inferiores, sem problemas de erosão, apresentando drenagem moderada a imperfeita.

Estes solos ocorrem em grande parte da área de estudo, como componente secundário ou como inclusões de outras unidades, em estreitas faixas ao longo dos cursos d'água. O material originário é constituído por sedimentos aluviais ou colúvio-aluviais não consolidados, de natureza variada, formando camadas estratificadas, sobrepostas, sem disposição preferencial de estratos. Ocupam geralmente as partes de cotas mais baixas, em relevo plano a suave ondulado. A vegetação típica é a floresta perenifólia de várzea e a caatinga hiperxerófila, com muitas espécies de porte arbóreo.

2.6.3 Grupo de solos com horizonte B textural nátrico ou sálico com argila de atividade alta.

Compreende solos com horizonte B textural nátrico (natric horizon), com uma saturação com sódio trocável acima de 15% ou sálico (salic horizon), com uma percentagem de sais solúveis maior que 2%.

Os solos que estão incluídos neste grupo apresentam horizonte A fraco, textura média no horizonte Bt, são bem diferenciados e apresentam transição abrupta do horizonte A para o Bt, argila de atividade alta e saturação de bases alta.

Apresentam seqüência de horizontes A, Bt, IIBt e C ou IIC. São solos rasos a muito profundos, com drenagem imperfeita ou má, moderadamente ácidos na superfície a moderadamente alcalinos nos horizontes subjacentes, aumentando com a profundidade. Apresentam normalmente estrutura colunar ou prismática, sendo raramente em blocos.

Ocorrem em relevos geralmente planos ou suavemente ondulados, com maiores afinidades para o relevo plano e em depressões do terreno, em altitudes entre 200 a 250 metros.

Estes solos apresentam no horizonte A cores claras, normalmente Bruno acinzentado, bruno acinzentado escuro ou bruno amarelado escuro, matiz 10 YR, valores de 3 a 5 e cromas de 2 a 4, quando úmidos. Para solo seco, as cores são mais claras, variando entre claro acinzentado, cinzento claro e cinzento brunado claro, matizes 5 YR e 10 YR, valor 6 e cromas de 1 a 3. A textura é das classes areia-franca ou franco-arenosa. Frequentemente ocorre um horizonte A2 pouco espesso (2 cm) de cor mais clara e textura mais leve que o horizonte A1 sobrejacente. Muitas vezes este horizonte A2 é descontínuo.

O horizonte Bt apresenta cores bruno, bruno acinzentado escuro ou cinzento claro, matizes 5 YR e 10 YR, valores de 4 a 7 e cromas geralmente 2, para solo úmido. Em alguns perfis situados nas partes mais baixas do terreno, ocorre mosqueados comuns, pequeno a médio, distinto, amarelado brunado ou variegado.

O horizonte C apresenta cores bruno amarelado claro com mosqueados de coloração variegada composta de cinzento brunado claro, bruno

amarelado claro e cinzento avermelhado. A textura é da classe franco-argilo-arenosa, com estrutura maciça ou prismática.

2.6.4 Grupo dos Vertissolos

Este grupo compreende solos minerais com alto conteúdo de argila 2:1, com **"slickensides"** abaixo do horizonte superficial, com presença de fendas até 50 cm de profundidade (ou mais) durante o período seco, podendo ou não ter microrelevo constituído por **"gilgai"**.

Ocorre dilatação e concentração da massa do solo em decorrência da elevada atividade da argila. Durante o período seco, a massa se contrai, formando fendas que vão desde a superfície até a sub-superfície. No período de chuvas, o solo se reumedece, dilata-se, ficando muito pegajoso e muito plástico, tornando difícil ou mesmo impraticável o uso de máquinas agrícolas nos mesmos. Este processo de expansão e contração ascendente, provoca o aparecimento de **"gilgai"**, microrelevo constituído por sucessão de microbacias e pequenas partes salientes. As pressões decorrentes da expansão produzem também **"slickensides"**, ou seja, superfícies de fricção. Nas fendas que se abrem, no período seco, caem materiais da porção superficial, os quais atingem as partes mais profundas do perfil. Durante o período de expansão, os materiais das partes mais baixas do perfil são pressionados e podem ser expelidos, verificando-se um verdadeiro auto-revolvimento. Daí dizer-se que são solos **"auto-retráteis"**.

São solos argilosos (mais que 30% de argila), com elevada CTC e possuem alto valor de saturação de bases, onde se destacam o cálcio e o magnésio. Tem reação praticamente neutra a moderadamente alcalina, com pH variando entre 6,6 e 8,4. São imperfeitamente drenados, com lenta permeabilidade, erosão variando de laminar ligeira a severa ou em sulcos repetidos ocasionalmente nas partes onde o relevo é suave ondulado e ondulado. Apresentam seqüência de horizontes A, C com horizonte A normalmente fraco e estrutura prismática ou paralelepipedica no horizonte C.

O horizonte A apresenta cores bruno acinzentado escuro, bruno acinzentado muito escuro e bruno avermelhado escuro, matizes 2,5 YR a 5 YR, valores de 3 a 4 e cromas baixos, de 2 a 3, para o solo úmido. A estrutura é em blocos angulares ou subangulares ou raramente granular.

O horizonte C apresenta cores bruno acinzentado escuro ou muito escuro, bruno oliváceo, bruno avermelhado escuro, bruno amarelado ou bruno amarelado escuro, matizes 2,5 YR a 10 YR, valores de 3 a 5 e cromas de 2 a 6. A textura é das classes argila e muito argilosa.

2.7 Aspectos Econômicos

Em termos econômicos, as cidades de Sousa e Aparecida juntamente com, Cajazeiras, Pombal e Patos, são os centros econômicos mais desenvolvidos do alto sertão paraibano, as demais localidades são pequenos lugarejos sem muita representatividade econômica.

Dentro da área de estudo, está o Perímetro Irrigado de São Gonçalo, considerado um dos mais importantes projetos de irrigação administrado pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS) da Paraíba (SUDENE, 1968). Ele, está localizado no distrito de São Gonçalo, 10 km a sudeste da cidade de Sousa (Cordeiro et al, 1986) e possui uma área total de 5.290 ha (DNOCS 1985, 1988). Além de ser a região que mais produz arroz, do Estado (Moreira, 1989), a área do Perímetro é explorada através de um sistema de colonização, tendo como principais culturas: coco, banana, feijão e milho (Cordeiro, 1977).

Os principais mercados para a comercialização da produção são as cidades de Sousa, Cajazeiras, Pombal, Patos, Campina Grande, João Pessoa e parte dos estados do Rio Grande do Norte, Ceará e Pernambuco. Toda a área de estudo é servida por estradas Federais (BR-230), Estaduais e Municipais, com trânsito permanente durante todo o ano.

CAPÍTULO 3

REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Sensoriamento Remoto

3.1.1 Definição

O Sensoriamento Remoto pode ser definido como: **"A ciência e a arte de obter informações sobre um objeto, área ou fenômeno, através da análise de dados coletados por um instrumento que não entra em contato direto com o objeto, área ou fenômeno que está sendo estudado (Lillesand & Kiefer, 1994)".** Desse modo, podemos encarar a visão como sendo a forma mais simples de Sensoriamento Remoto, e nossos olhos como o mais antigo aparelho de coleta de dados.

Quando lemos qualquer texto estamos fazendo Sensoriamento Remoto. Nossos olhos agem como sensores que captam a luz refletida pelo papel. Os dados que nossos olhos coletam correspondem à quantidade de luz refletida pelas áreas claras e escuras do papel. Estes dados são analisados no nosso cérebro, capacitando-nos a entender as parte escuras do papel como letras, que, interpretadas, fornecerão as informações contidas no texto. Do exposto acima e de uma maneira geral podemos definir o sensoriamento remoto como um processo de leitura.

As técnicas de sensoriamento remoto englobam a união de modernos sensores, equipamentos de processamento de dados, informações teóricas e práticas e veículos aéreos e espaciais para propósitos de levantamentos da superfície terrestre. A função do sensoriamento remoto é coletar informações relevantes sobre todos os fenômenos da superfície da terra, estudando suas propriedades eletromagnéticas registradas a partir de veículos aéreos e espaciais (Daels & Antrop, 1977). As regiões do espectro eletromagnético (Figura 3.1) utilizadas pelos sensores remotos, variam da região ultravioleta à região de microondas.

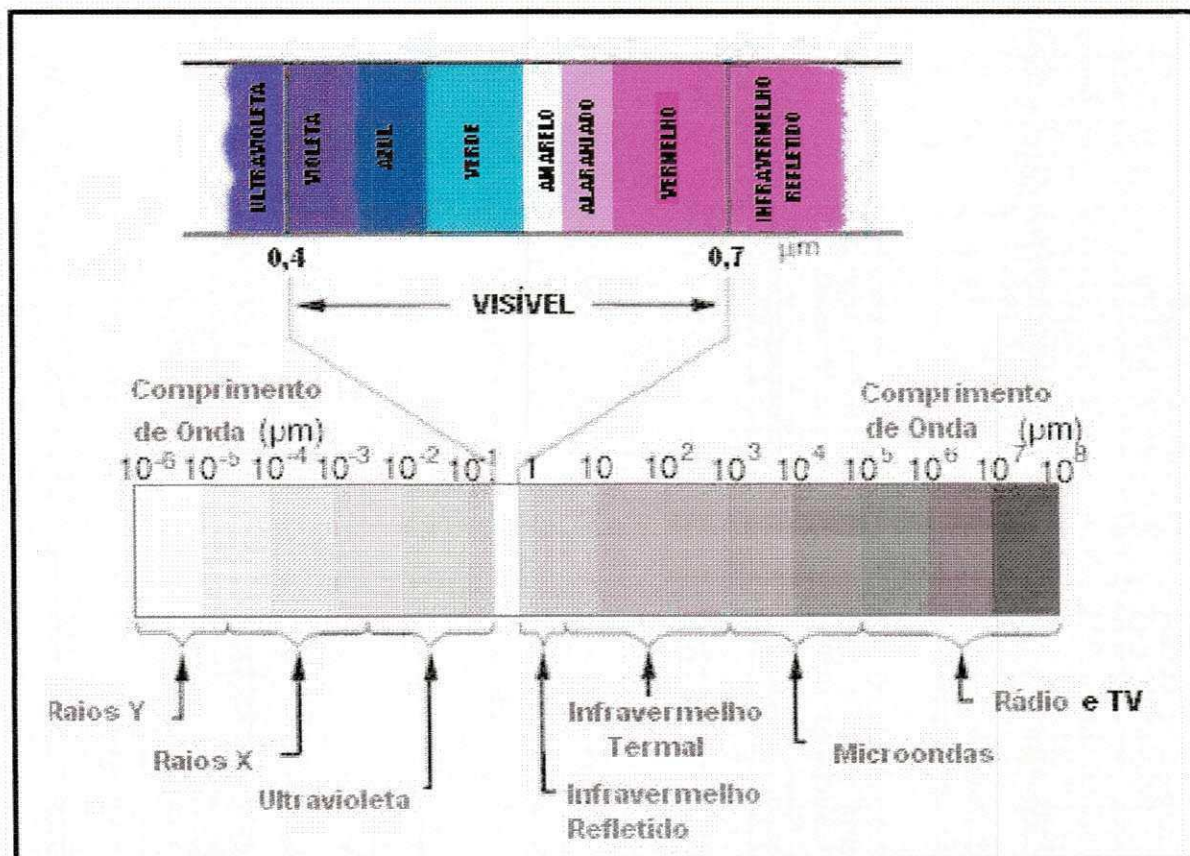


Figura 3.1 - Espectro Eletromagnético, modificado de Lillesand e Kiefer (1994).

3.1.2 Sistema Landsat

O sistema **ERTS** (Earth Resources Technology Satellite), atualmente denominado **Landsat**, foi o primeiro programa de satélite de sensoriamento

remoto desenvolvido pela **NASA** (National Aeronautics and Space Administration) para observação dos recursos terrestres. Este programa foi desenvolvido com o objetivo de possibilitar a aquisição de dados espaciais, espectrais e temporais da superfície terrestre, de forma global, sinóptica e repetitiva.

O satélite **ERTS-1** foi colocado em órbita em 23 de julho de 1972, e permaneceu em operação até 6 de janeiro de 1978. Por ocasião do lançamento do **ERTS -2** em 22 de janeiro de 1975, a **NASA** rebatizou o programa para **Landsat** e o **ERTS-1** passou a ser chamado de **Landsat-1** e o **ERTS-2** de **Landsat-2**, para distingui-los do programa de satélites oceanográficos **Seasat**. A continuação do programa teve prosseguimento com o lançamento do **Landsat-3** em 5 de maio de 1978, do **Landsat -4** em 16 de julho de 1982, do **Landsat-5** em 01 de março de 1984, do **Landsat-6** em 03 de outubro de 1993 e do **Landsat-7** lançado recentemente em 15 de abril de 1999.

A Tabela 3.1 apresenta um resumo dos Satélites da série **Landsat**.

Tabela 3.1 - Satélites da série Landsat.

SATÉLITE	LANÇAMENTO	FIM DE OPERAÇÃO	SENSORES
1ª Geração Landsat-1	23 / julho / 1972	05 / janeiro / 1978	MSS e RBV
Landsat-2	22 / janeiro / 1975	27 / julho / 1983	MSS e RBV
Landsat-3	05 / março / 1978	07 / setembro / 1983	MSS e RBV
2ª Geração Landsat-4	16 / julho / 1982	Final de 1983	MSS e TM
Landsat-5	01 / março / 1984	Em operação	MSS e TM
3ª Geração Landsat-6	03 / outubro / 1993	03 / outubro / 1993	ETM
Landsat-7	15 / abril / 1999	Em operação	ETM e HRMSI

Fonte: INPE (1997) e NASA (1999).

3.1.3 Componentes do Sistema Landsat

O sistema **Landsat** (Figura 3.2), como qualquer outro sistema de Sensoriamento Remoto orbital, compõe-se de duas partes principais: o subsistema satélite e o subsistema estação terrestre, também conhecido como "segmento solo". O subsistema satélite tem a função básica de adquirir os dados, enquanto o subsistema estação terrestre tem a função de processar os dados e torná-los utilizáveis por especialistas em extração de informações de interesse para a agricultura, geologia, uso da terra, etc (Novo, 1992).

3.1.4 TM/Landsat-5

Lançado ao espaço em 01 de março de 1984 (figura 3.2), este satélite apresenta o tradicional sensor **MSS (Multispectral Scanner System)**, com quatro bandas espectrais, mais o sensor **TM (Thematic Mapper)**, com sete bandas espectrais. O satélite **Landsat-5** desloca-se a uma altitude nominal de 705 km em uma órbita circular quase polar, imageando a mesma área a cada 16 dias, com hora de passagem 9:50 solar (Rosa, 1992).

Os dados são adquiridos através de sensores que operam individualmente. O sensor **TM** opera simultaneamente em sete bandas espectrais com uma resolução espacial equivalente a um quadrado no terreno de 30 x 30 metros nas seis bandas do visível e do infravermelho refletido; sendo de 120 x 120 metros na banda termal. O sensor **MSS** é um imageador que usa um espelho oscilante para varrer continuamente a superfície da terra numa direção perpendicular à direção de deslocamento da plataforma. Seis linhas são varridas simultaneamente em cada uma das quatro faixas espectrais (bandas 4, 5, 6 e 7) para cada volta do espelho. O **MSS** apresenta uma resolução espacial de 79 x 79 metros, porém os dados são formatados como se as medidas fossem feitas de uma área de 56 metros na direção da linha de varredura por 79 metros na direção da órbita (Rosa, 1992).

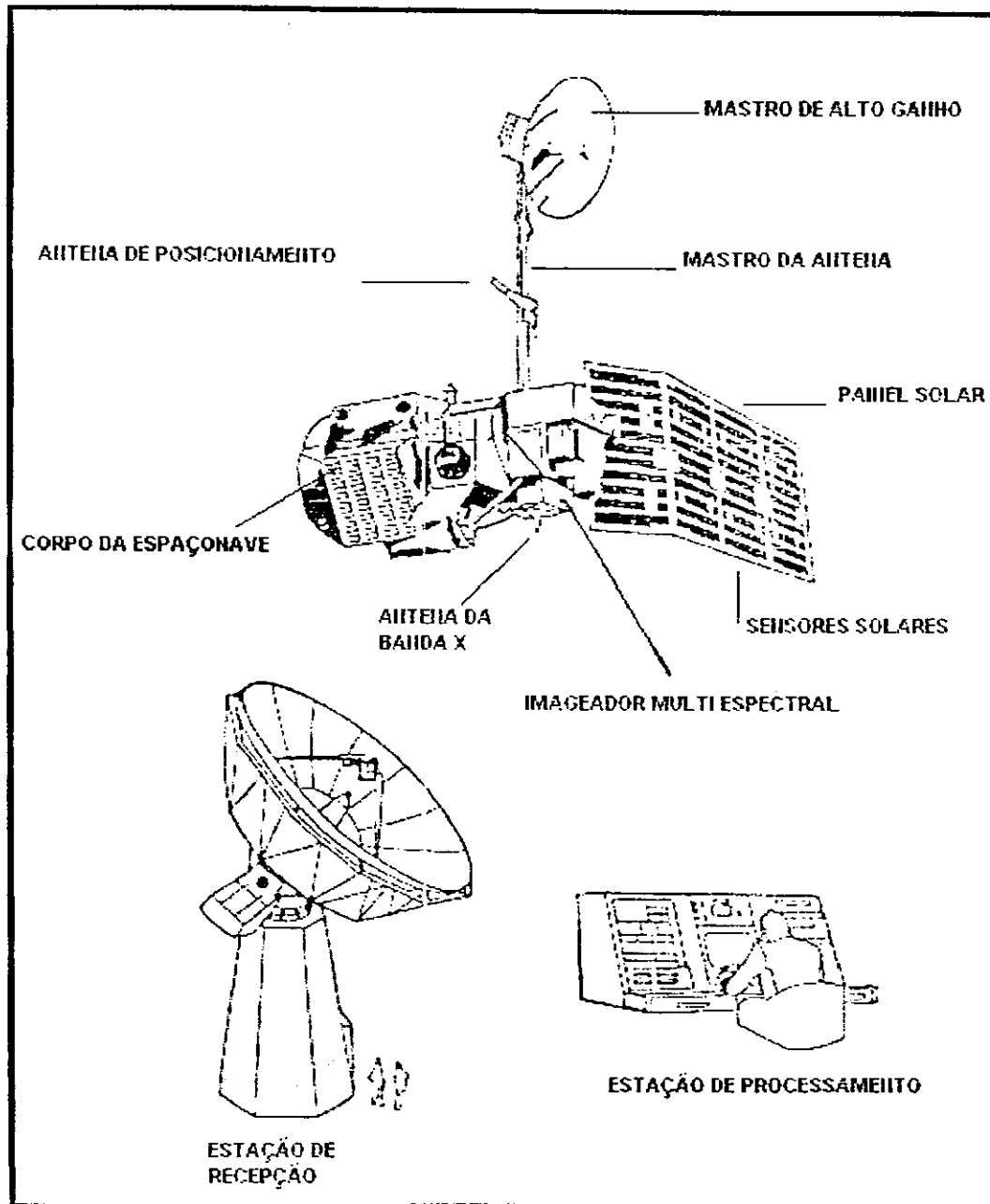


Figura 3.2 - Configuração do Sistema TM/Landsat-5, modificado de Novo (1992).

A Tabela 3.2 apresenta um breve sumário das principais aplicações das 7 bandas espectrais do TM/LANDSAT-5.

Tabela 3.2 PRINCIPAIS APLICAÇÕES DE CADA UMA DAS FAIXAS ESPECTRAIS DO TM/LANDSAT-5

BANDAS	COMPRIMENTO DE ONDA (μm)	LOCALIZAÇÃO ESPECTRAL NOMINAL	PRINCIPAIS APLICAÇÕES
1	0,45 - 0,52	AZUL	Esta banda apresenta grande penetração em corpos d'água; sendo particularmente interessante para estudos de mapeamento de águas costeiras; também utilizada para a discriminação de solo/vegetação, o mapeamento de tipos florestais e a identificação de características de culturas. Apresenta sensibilidade a plumas de fumaça oriundas de queimadas ou atividade industrial.
2	0,52 - 0,60	VERDE	Banda projetada para medição dos picos de reflectância verde da vegetação, para a discriminação de vegetação e a avaliação do vigor, também útil para a identificação de características de culturas e mapeamento de áreas onde ocorrem atividades antrópicas.
3	0,63 - 0,69	VERMELHO	Esta banda apresenta bom contraste entre áreas cobertas com vegetação e solo exposto. Projetada para o imageamento na região de absorção da clorofila, auxiliando na diferenciação de espécies. Também útil na identificação de características de culturas, mapeamentos de uso do solo, agricultura e estudos de qualidade d'água.
4	0,76 - 0,90	INFRAVERMELHO PRÓXIMO	Esta banda apresenta bom contraste entre solo e corpos d'água, permitindo o mapeamento de rios de grande porte, lagos, lagoas, reservatórios e áreas úmida. É também útil na determinação de tipos de vegetação, vigor e volume de biomassa e para a discriminação de umidade do solo
5	1,55 - 1,75	INFRAVERMELHO MÉDIO	Esta banda permite observar o teor de umidade na vegetação e detectar possíveis estresses na vegetação causados por falta de água. Utilizada também para obter informações sobre a umidade do solo, no entanto pode sofrer perturbações se ocorrerem chuvas um pouco antes de a cena ser imageada pelo satélite. Também útil para a diferenciação entre nuvens e neve.
6*	10,4 - 12,5	INFRAVERMELHO TERMAL	Esta banda pode ser utilizada para mapeamento de estresse térmico em plantas, estudos de propriedade termal dos solos, mapeamento da temperatura de superfície de águas oceânicas superficiais, informações importantes para pesca e clima pode ser utilizada para estudos de ilhas urbanas.
7*	2,08 - 2,35	INFRAVERMELHO MÉDIO	Esta banda apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, servindo para estudos nas áreas de geologia, solos e geomorfologia. Utilizada também para identificação de minerais, tipos de rochas e detecção de umidade no solo e na vegetação.

* As bandas TM6 e TM7 estão fora da seqüência de comprimento de onda, porque a banda 7 foi adicionada ao TM posteriormente ao processo original.

Fonte: Lillesand e Kiefer (1994) e INPE (1997).

3.2 Geoprocessamento

De acordo com Barros (1998), geoprocessamento é o conjunto de atividades multidisciplinares que consistem em manipular informações vinculadas a um determinado lugar no espaço, seja por meio de um simples endereço ou por coordenadas. Vários sistemas fazem parte do geoprocessamento, dentre os quais o Sistema de Informações Geográficas (**SIG**), o qual é o sistema que reúne maior capacidade de processamento e análise de dados espaciais (Fator GIS, 1999).

Os SIGs são ferramentas que têm como missão facilitar a manipulação e a difusão de uma grande quantidade de dados geo-referenciados dos tipos textual, temático, multiespectral e multitemporal, que caracterizam aspectos ambientais e sócio-econômicos de uma região (Barros, 1998).

A característica fundamental do geoprocessamento é sua facilidade de armazenar, recuperar e analisar mapas num ambiente computacional. Neste ambiente, a noção de mapa deve ser estendida para incluir diferentes tipos de dados geográficos, tais como imagens de satélite e modelos numéricos de terreno (Assad e Sano, 1993).

Um SIG é constituído por um conjunto de ferramentas para aquisição, armazenamento, recuperação, transformação e saída de dados espacialmente distribuídos (Formaggio et al., 1992).

De acordo com Pinto (1991), os SIGs possibilitam combinação de informações provenientes de fontes distintas geradas a partir de diferentes procedimentos tecnológicos, para a produção de novas informações aplicáveis em tomadas de decisões de contextos os mais diversificados.

Um SIG consiste de uma série de **overlays** de uma região geográfica específica, representando um conjunto de dados (p. ex. elevação topográfica) ou de informações temáticas (vegetação, solo, geologia, etc.) que

compartilham atributos geográficos comuns, inclusive o sistema de coordenadas geográficas (Queiroz, 1996).

Os SIGs apresentam concepções que vão desde o nível mais elementar, com as técnicas convencionais simples de confecção manual de overlays, até os sistemas computadorizados altamente sofisticados, que podem analisar dados científicos, tais como produtos aerofotogramétricos e orbitais e gerar mediante o uso de traçadores gráficos de última geração, resultados cartográficos de excelente qualidade (Star & Estes, 1990) e (IDRISI, 1992).

Os SIGs disponíveis comercialmente apresentam três tendências em termos de funcionalidades: sistemas com ênfase em processamento de imagens, sistemas com ênfase em gestão de informações (bancos de dados) e sistemas integrados (sistemas mistos). Entre os sistemas do primeiro grupo destacamos o **SITIM/SGI**, o **ERMMapper** e **Easi/Pace**. Entre os sistemas fortes em bancos de dados temos **ARCINFO/ARCVIEW**, **REGIS** e **SAGA**. Os sistemas **IDRISI**, **ERDAS** e **SPRING** são considerados sistemas mistos ou integrados (Barros, 1998).

3.3 Termometria

A temperatura do solo varia segundo a sua natureza, as perdas de umidade e evaporação, a taxa de intemperismo e dissoluções químicas, atividades microbiológicas e decomposição de matéria orgânica, germinação de sementes e taxas de crescimento das plantas (Myers, 1983).

A superfície do solo desempenha um papel importante na interação entre a energia solar, que não podemos ver, e a temperatura do ar que podemos medir e controlar. A interação umidade do solo/umidade do ar constitui um fator de influência preponderante nas características térmicas do solo. O aumento da umidade do solo produz um aumento gradativo da sua condutividade térmica.

Entretanto, quando o teor de umidade excede determinados limites, o aumento de temperatura decresce gradualmente (Myers, 1983).

O termômetro com sensor infravermelho apresenta como principais vantagens sobre os termômetros comuns: a determinação da temperatura de alvos sem o contato físico com os mesmos e a possibilidade de obtenção de um grande número de medições em pequeno intervalo de tempo. Isto porque esse instrumento é, na realidade, um radiômetro dotado de filtro óptico especial que permite a detecção da energia emitida pelos alvos, na faixa do espectro eletromagnético situada entre $8,0\mu$ e $12,0\mu$ (Silva, 1994).

3.4 Comportamento espectral dos diferentes alvos da superfície terrestre

A partir da década de 70, com o lançamento dos satélites da série **Landsat**, muitas pesquisas têm demonstrado que as informações sobre objetos ou fenômenos da superfície e subsuperfície terrestre, coletadas ao nível orbital, tem sido de grande importância no estudo dos recursos naturais (Moreira & Assunção, 1984).

A experiência alcançada nos últimos anos através do sensoriamento remoto tem demonstrado que muitas feições naturais podem ser identificadas e mapeadas a partir do comportamento espectral do alvo, por ocasião de sua interação com a energia eletromagnética (Vitorello, 1982).

A radiação eletromagnética que incide sobre a superfície terrestre interage com os objetos ou alvos desta superfície sendo absorvida, espalhada, refletida e / ou transmitida de forma diferenciada por cada um deles. Com a utilização de equipamentos capazes de detectar a radiação eletromagnética refletida ou emitida pelos objetos na superfície terrestre torna-se possível sua

caracterização e identificação devido às propriedades espectrais inerentes a cada um (Medeiros, 1987).

A agricultura pode se beneficiar com o uso do sensoriamento remoto orbital para estudar e solucionar problemas que necessitam de serem tratados harmônica e rapidamente, dentro de uma visão global (Moreira & Assunção, 1984), ou seja, o mecanismo de interação entre feições naturais, tais como: solo, vegetação, água e a energia eletromagnética de modo que dados de sensoriamento remoto possam ser melhor interpretados.

3.4.1 Solos

O comportamento espectral dos solos é função principal de inúmeras propriedades que influem na sua energia eletromagnética emitida e/ou refletida. De acordo com Baumgardner et al (1970), a reflectância espectral dos solos e a emissão da radiação podem sofrer modificações, dependendo principalmente do seu teor de água, composição química e mineral, textura, estrutura, teor de matéria orgânica, óxido de ferro e cor do solo. Conforme Solomon & Klohn (1978), o teor de água dos solos ocasiona geralmente um decréscimo de sua reflectância nas faixas visível e infravermelho do espectro eletromagnético.

O aumento do conteúdo de matéria orgânica provoca uma diminuição da resposta espectral. No que se refere à granulometria, com o aumento da concentração de minerais félsicos, a diminuição do tamanho das partículas provoca um aumento nos valores de reflectância e a atenuação das bandas de absorção. Ocorre ao contrário à medida que se aumenta a concentração de minerais máficos. Com relação à umidade e a capacidade de troca catiônica, os solos úmidos possuem reflectância mais baixa que os solos secos, na faixa do espectro refletivo, o mesmo ocorrendo com o aumento da capacidade de troca catiônica (Rosa, 1992).

A matéria orgânica e os compostos de ferro influem profundamente na cor dos solos, desempenhando importante papel nas suas propriedades espectrais, quando o seu conteúdo excede 2%, reduzindo a sua reflectância (Baumgardner et al, 1970) e (Myers et al, 1975). Obukhov & Orlov (1964) mostram que horizontes com elevados teores de ferro são facilmente identificados pela reflectância característica do ferro (Fe_2O_3), quando se usa a espectrofotometria.

O aumento do teor de matéria orgânica nos solos causa uma diminuição expressiva na capacidade de refletir destes solos (Girard, 1980). O aumento da umidade no solo pela absorção de água na matéria orgânica induz à redução na reflectância. Quando o solo se oxida, se reduz o conteúdo de matéria orgânica, acarretando no aumento da reflectância em todos os comprimentos de onda.

Segundo Girard (1980), medições de reflectância foram realizadas em três solos com diferentes conteúdos de Ferro e CaCO_3 , com o mesmo conteúdo de umidade. Na faixa visível do espectro, o solo com maior conteúdo de CaCO_3 é mais reflectivo que os demais. No infravermelho próximo, a curva de reflectância obedece à mesma distribuição. O alto conteúdo de ferro e baixo conteúdo de CaCO_3 diminui consideravelmente a reflectância nas faixas visível e infravermelha do espectro eletromagnético.

A reflectância dos materiais depende principalmente da vibração intermolecular das moléculas da superfície dos materiais. A faixa espectral ótima para a detecção dos minerais é entre 8,0 e 14,0 μm (Coblentz, 1962). Belonogova & Tolchel'Nikov (1959) demonstraram que a reflexão dos minerais depende de sua dispersão no solo.

De acordo com Teotia (1981), as rochas ácidas apresentam maior percentagem de reflectância do que as rochas básicas. Em consequência, os solos originados por rochas ácidas são mais facilmente detectados do que os solos originados por rochas básicas.

Na Figura 3.3, pode ser observado o comportamento espectral para o alvo solo exposto de textura arenosa.

3.4.2 Corpos d'água

A reflectância da água registra informações da sua superfície, profundidade, presença de clorofila, qualidade e quantidade das partículas em suspensão. A turbidez da água faz com que haja uma maior reflectância em água turva do que em água límpida (Solomon & Klohn, 1978). De modo geral, a reflectância da água limpa diminui com o aumento dos comprimentos de onda, ou seja, na faixa mais utilizada em Sensoriamento Remoto, verificam-se as maiores reflectâncias na região do visível, mais especificamente nos comprimentos de onda do azul e verde, decrescendo gradualmente na região do infravermelho (Figura 3.3). À medida que acrescentamos sedimentos na água, o pico de reflectância se desloca na direção dos maiores comprimentos de onda, além do mais, a reflectância torna-se maior do que água limpa (Rosa, 1992).

A interação entre a energia e os corpos d'água na faixa do visível é mais complexa, porque o comportamento espectral é controlado pelo processo de espalhamento, absorção e transmissão, processos estes relacionados tanto com a água propriamente dita, como também com os tipos e tamanhos dos materiais orgânicos e inorgânicos em suspensão.

3.4.3 Vegetação

O comportamento espectral típico de uma vegetação verde, no intervalo de 0,40 a 2,50 μm é mostrado na figura 3.3. A resposta espectral da vegetação, na região do visível do espectro eletromagnético (até 0,75 μm), é função principalmente da interação da radiação eletromagnética com a pigmentação das folhas das plantas, estando as regiões de absorção de clorofila em 0,47 μm (azul) e 0,67 μm (vermelho), tendo entre elas um pico de reflectância

em $0,55 \mu\text{m}$ (verde). Segundo o autor, a absorção da radiação eletromagnética no azul e no vermelho provoca um nível mais baixo de reflectância no visível (10%), sendo que os carotenos e xantofilas (pigmentos amarelos) são responsáveis pela absorção no azul, enquanto que as diferentes clorofilas absorvem tanto no azul como no vermelho. Na faixa compreendida entre $0,75$ e $1,35 \mu\text{m}$, temos a região dominada pela alta reflectância da vegetação. Este aumento está relacionado à estrutura celular interna da folha. Esta alta reflectância é importante para que a folha mantenha o equilíbrio no balanço de energia e não se superaqueça evitando assim a destruição da clorofila. O decréscimo gradual dos valores de reflectância para comprimentos de onda superiores a $1,35 \mu\text{m}$ é devido à presença da água nas folhas, com pico de absorção próximo a $1,40$ e $1,90 \mu\text{m}$ (Rosa, 1992).

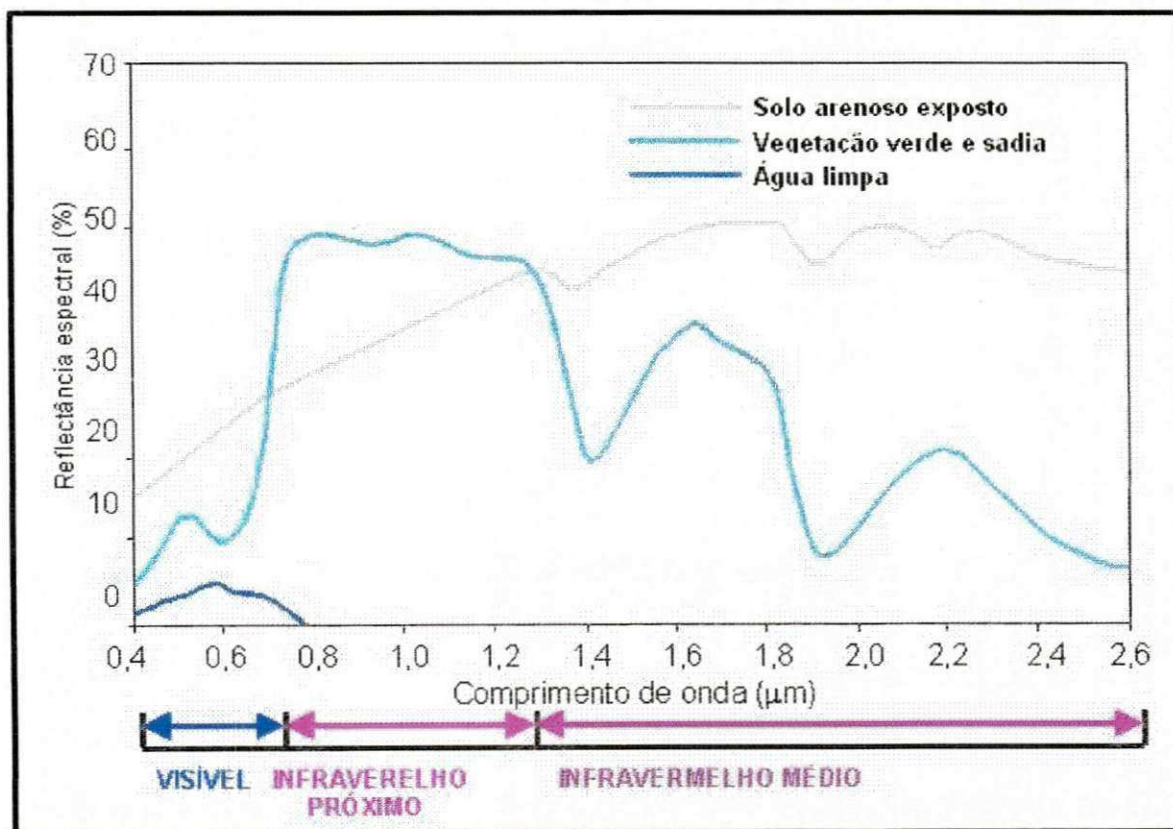


Figura 3.3 - Curvas características da reflectância espectral para a vegetação, solo e água, modificado de Lillesand & Kiefer (1995)¹.

Os pigmentos, clorofilas *a* e *b*, carotenóides e xantofilas são responsáveis pela absorção da energia solar nas faixas ultravioleta e visível do

¹ Esta figura traz um comportamento espectral hipotético

espectro eletromagnético (Kleshnin & Shul'Gin, 1959). A clorofila das folhas verdes absorvem 70 a 90% da luz na faixa azul (0,450 μm) ou na faixa vermelha (0,675 μm) do espectro visível. Por outro lado, as folhas brancas ou doentes exibem pouca absorção entre as regiões verde e vermelha do espectro e aumentam na região azul, devido à absorção da protoclorofila (Teotia, 1978).

A estrutura interna das folhas é o principal fator atuante na reflexão da vegetação na faixa infravermelha próxima do espectro (0,75 a 1,35 μm). Pouca absorção ocorre nesta região do espectro. A luz azul e vermelha são absorvidas pelos cloroplastos e usadas na fotossíntese; a luz verde é intensamente refletida pelos cloroplastos e a luz infravermelha é refletida pelo mesófilo esponjoso (Colwell, 1969).

De acordo com Myers et al (1975), as folhas vegetais jovens são mais compactas e apresentam menos espaços porosos do que as folhas maduras. As folhas maduras, mais esponjosas, apresentam cerca de 5% menos de reflectância na faixa visível e 15% mais na faixa infravermelha próxima do que as folhas jovens mais compactas. O efeito esponjoso das folhas maduras diminui a reflectância na faixa visível do espectro devido ao acúmulo de ar nos espaços porosos intercelulares.

3.5 Caracterização e classificação de solos afetados por sais

Solos afetados por sais existem em todos os continentes, sendo característicos no entanto, em zonas áridas e semi-áridas onde a evapotranspiração é maior que a pluviosidade. De acordo com Szabolcs (1986), aproximadamente 10% das terras do globo apresentam problemas de salinidade e/ou alcalinidade e que cerca de 10 milhões de hectares de terras irrigadas são abandonadas a cada ano devido a estes problemas.

Os sais se originam principalmente das rochas pela ação de fatores do intemperismo entre os quais a água que também serve de transporte. Sob

condições favoráveis de topografia (depressões), clima (evapotranspiração potencial maior que pluviosidade) e solos de baixa permeabilidade, os problemas de sais surgem naturalmente. Também podem ser induzidos por um deficiente manejo da água de irrigação. Os sais podem ainda ser originados de depósitos fósseis, sendo trazidos à superfície pela elevação do lençol freático; como também, em zonas próximas ao mar poder ser levados pelo vento/chuva e a longo prazo causar problemas (Holanda, 1996).

Durante o processo de intemperização química, que implica em hidrólise, hidratação, redução, oxidação e carbonatação os constituintes são liberados gradualmente e se tornam mais solúveis. Os íons bicarbonatos se formam como consequência da solução de CO_2 em água. O CO_2 é um ativo agente intemperizante que libera quantidades apreciáveis de cátions em forma de bicarbonatos. Os íons estão relacionados entre si e a quantidade que há de cada um é uma função do pH da solução. Maiores quantidades de íons carbonato só podem se apresentar para valores de pH 9,5 ou mais alto (Israelsen e Hansen, 1975).

Segundo Richards (1954), todos os solos de maneira geral contêm sais, uns mais outros menos. O solo salino é aquele que contém sais solúveis em tal quantidade que altera desfavoravelmente a produtividade das culturas. De igual maneira, os solos sódicos podem ser definidos em termos do efeito do sódio intercambiável.

Quimicamente, os solos salinos caracterizam-se pela quantidade e tipo de sais solúveis neles encontrados, predominando geralmente os cátions de cálcio, magnésio, sódio e os ânions cloreto e sulfatos e em menor frequência, podem também ser encontrados íons de potássio, carbonato e nitratos (Richards, 1954) e (Daker, 1984),

Embora a intemperização dos minerais primários seja a fonte principal de quase todos os sais solúveis no solo, a fonte direta desses sais em solos irrigados é a própria água usada na irrigação e/ou o lençol freático

(Richards, 1954). Em muitas situações o problema tem origem no manejo da irrigação haja visto que uma água considerada boa (C.E. = $0,75 \text{ dS.m}^{-1}$), intermediária entre as classes C_1 e C_2 de salinidade, quando aplicada num volume anual de apenas $10.000 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$, que corresponde a cerca de 55% do requerido por culturas como a bananeira, deposita no solo cerca de 5 toneladas de sais/ano. Se o manejo é deficiente, se não existe fração de lavagem e se não há drenagem, naturalmente haverá um acúmulo de sais que a médio prazo poderá comprometer a exploração agrícola (Holanda, 1996).

Quando uma área tem deficiência de drenagem, os sais se acumulam na zona radicular e/ou no lençol freático. Pizarro (1985) afirma, que quanto maior é a concentração salina da água do solo, maior é a pressão osmótica que as plantas têm de superar para absorvê-la e poder chegar a um limite crítico em que a absorção de água pára. Por esta razão, os sintomas de salinidade coincidem com a deficiência hídrica. No entanto, com respeito ao solo, quanto maior a salinidade da água, menor será a espessura da camada difusa e menor a força de repulsão entre partículas, reprimindo dessa forma a dispersão.

Grande parte dos solos com problemas de salinidade tem a mesma aparência de quando não salinizado. Sua aparência só muda quando a concentração de sais for muito elevada. Sendo assim, não se deve esperar que o solo mude sua aparência ou que as plantas demonstrem problemas relacionados com salinização. Pois os sintomas, tanto nas plantas como no solo, somente aparecerão quando o problema estiver muito sério, quando o custo de recuperação será muito elevado (Bernardo, 1995).

Segundo Richards (1954), o laboratório de salinidade dos Estados Unidos (U.S. Salinity Laboratory), estabeleceu, quanto à salinidade, quatro grupos de solos: solos normais, solos salinos, solos salinos-alcalinos ou salinos-sódicos e solos alcalinos ou sódicos. Na tabela 3.3, vêem-se os parâmetros básicos para a classificação de um solo, segundo as sugestões desse laboratório. Esta classificação é baseada na concentração de sais solúveis (expressa por meio da CE) extraídos da solução do solo e da percentagem de sódio trocável do solo

(PST). A CE indica os efeitos do sódio sobre as propriedades do solo (Queiroz et al., 1997).

Tabela 3.3 - Classificação dos solos salinos e alcalinos segundo U.S. Salinity Laboratory

SOLOS	CE* (milimhos/cm)	PST**	PH	Recuperação
Normais	< 4	< 15	4 a 8,5	-
Salinos	> 4	< 15	≤ 8,5	Lixiviação dos sais
Salinos-sódicos	> 4	> 15	Próximo de 8,5	Aplicação de corretivos e lixiviação dos sais
Sódicos	< 4	> 15	8,5 < pH < 10	Aplicação de corretivos e lixiviação dos sais

* Condutividade elétrica da solução do solo, em milimhos/cm, a 25 °C

** Percentagem de sódio trocável.

Fonte: Bernardo (1995)

3.5.1 Solos salinos

São os solos cuja a condutividade elétrica (CE) da solução do solo saturada é maior que 4 milimhos/cm, a 25 °C, e cuja percentagem de sódio trocável (PST) é menor que 15%. Normalmente, o pH é menor que 8,5. Os solos salinos são freqüentemente reconhecidos pela presença de uma crosta branca de sal em sua superfície. Por causa do excesso de sais e da ausência de quantidade significativa de sódio trocável, os solos salinos são geralmente floculados e, conseqüentemente, sua permeabilidade é igual ou superior à dos solos similares não-salinos. Os solos salinos podem ser recuperados por lavagens e adequada drenagem, de modo que se possam remover os sais solúveis por lixiviação, tornando-os novamente normais.

3.5.2 Solos salinos-sódicos ou salinos-alcálinos

São solos cuja condutividade elétrica da solução de solo saturada é maior que 4 milimhos/cm, a 25 °C, cuja percentagem de sódio trocável é maior que 15%. Estes solos formam-se em razão do processo de acumulação de sais solúveis e de sódio. Sempre que houver excesso de sais, a aparência e a propriedade desses solos serão similares às do solo salino. Nessas condições, o pH raramente ultrapassa 8,5, e as partículas do solo permanecem floculadas. Caso o excesso de sais solúveis seja lixiviado, as propriedades desses solos mudam significativamente, tornando-se solos sódicos, com pH acima de 8,5, e as partículas do solo se dispersam, tornando-se solos com baixa permeabilidade, pesados e difíceis de serem trabalhados. O manejo para recuperação desses solos é a aplicação de corretivos associada à lavagem.

3.5.3 Solos sódicos ou alcálinos

São solos cuja condutividade elétrica da solução do solo saturada é menor que 4 milimhos/cm, a 25 °C, e cuja percentagem de sódio trocável é maior que 15%. O pH, comumente, varia de 8,5 a 10. Esses solos, de modo geral, são encontrados em regiões áridas e semi-áridas. Em razão da saturação parcial de sódio nesse tipo de solo, a argila é bastante dispersa; ela pode ser transportada, através do perfil do solo, e acumulada em camadas abaixo da superfície do solo, desenvolvendo-se aí uma camada densa e de baixa permeabilidade, com estrutura prismática ou colunar, enquanto a camada superficial do solo pode apresentar textura grossa, dando a impressão de um perfil de boa drenagem. Sempre que o material originário do solo ou a água para irrigação não contém gesso, a lavagem dos solos salinos-sódicos por meio da lixiviação dos sais solúveis conduz à formação de solos sódicos. Para recuperar esses solos, aplicam-se os corretivos.

Conforme Barrios (1976), os processos de salinização e/ou sodificação dos solos podem ocorrer por uma ou mais das seguintes condições:

a) irrigação com excesso de água, elevando o lençol freático, possibilitando a concentração superficial de sais por evaporação; b) filtragem nos canais de distribuição que provoca a elevação do lençol freático em solos adjacentes; c) o uso de água com alta concentração de sais na irrigação; d) o acúmulo de água de irrigação em partes baixas do terreno de pequena permeabilidade, formando depósitos de sais nessas áreas; e) variação do lençol freático devido à drenagem interna deficiente; e f) o acúmulo de sais nos solos irrigados quando a deposição de sais é maior que a eliminação através das águas de irrigação.

Pizarro (1985) explica que, como todas as águas de irrigação têm um conteúdo maior ou menor de sais solúveis, existem numerosos exemplos, antigos e atuais, de regiões ricas que se tornaram totalmente improdutivas em consequência de uma irrigação inadequada. A água da irrigação sempre contém sais que podem ser depositados no solo quando a água evapora ou é utilizada pelas plantas.

De acordo com Millar (1989), a falta de drenagem e a irrigação mal aplicada provocam o fenômeno de salinidade em zonas áridas e semi-áridas, com baixa precipitação e alta evaporação, deixando bem clara a estreita relação existente entre os processos de irrigação, drenagem e salinidade. O problema se torna mais grave se, à situação anterior, se adiciona a presença de lençóis freáticos altos, devido ao transporte de sais através do fluxo capilar.

3.6 Utilização de dados Orbitais no estudo de Solos Afetados por Sais

Colwell (1974) é considerado o pioneiro a conduzir trabalhos de detecção de solos afetados por sais com base em dados orbitais do **Landsat-1**.

De acordo com a American Society of Photogrammetry (1975), sensores em nível orbital permitem a aquisição de imagens da superfície terrestre de forma sinótica e repetitiva. Considerando-se que as propriedades dos alvos

naturais manifestam-se de forma característica no fluxo de radiação eletromagnética refletindo ou emitindo energia, tais imagens, quando obtidas em faixas espectrais adequadas, permitem que um máximo de discriminação entre os alvos de sua vizinhança sejam conseguidos e constituam um meio rápido, econômico e eficiente para a detecção do alvo de interesse.

Para o planejamento do desenvolvimento de projetos agrícolas, a identificação, delimitação e quantificação dos solos afetados por sais são de considerável interesse. A detecção prévia destes solos, entre outras vantagens, permite propor medidas preventivas ou ações corretivas, antes que o problema da salinidade e / ou alcalinidade se alastre por uma determinada região, provocando danos na exploração agrícola (Balkema, 1980).

Segundo Balkema et al (1980), a detecção de áreas com excesso de salinidade através de imagens do **MSS** do **Landsat** é possível quando diferentes canais são utilizados, o que proporciona maior contraste entre solos salinos e solos normais.

Huntington et al (1973), estudando solos afetados por sais a partir de imagens **MSS-Landsat**, concluíram que estes solos mostraram-se bastante diferenciados dos solos normais, em função do alto contraste existente, quando analisados no canal 5 e na composição colorida, canais 4, 5, e 7.

Baumgardner et al (1977) fizeram o delineamento de solos afetados por sais, na Índia utilizando imagens do **MSS-Landsat** e concluíram que estes solos são facilmente identificados na faixa visível do espectro eletromagnético (canais 4 e 5), apresentando baixo contraste na faixa infravermelho.

Diez & Ramirez (1977) utilizaram imagens do **Landsat-MSS** na detecção de solos afetados por sais no Distrito de Riego no México, e concluíram que as informações proporcionadas pelas imagens **Landsat-MSS** na composição colorida de "falsa cor" na escala de 1:100.000 são de grande importância para o estudo de solos com problemas de sais, em virtude da extensa área abrangida

pela imagem, periodicidade na obtenção de dados e eficiência da metodologia utilizada.

Adrien et al (1982), estudando a variação da reflectância de solos salinos e sódicos no Altiplano Boliviano correlacionando o percentual de matéria orgânica e sódio intercambiável com o percentual de reflectância nos canais 4, 5 e 7 do **MSS-Landsat**, concluíram que as respostas espectrais dos solos afetados por sais podem ser influenciadas pelo teor de matéria orgânica existente no solo, quando este excede 2 %.

Verma et al (1994) utilizaram técnicas de sensoriamento remoto para mapear os solos afetados por sais nos distritos de Aligarh, Mathura, Etah e Mainpuri localizados nas planícies aluviais do Estado de Uttar Pradesh na Índia e concluíram que os solos afetados por sais e os solos arenosos são descritos em tonalidades de cinza claro nas bandas TM3 e TM4 e por um cor branca inerte na composição de "**falsa cor**"; esta semelhança de tons gerou problemas na separação dos dois solos, porém o problema foi solucionado pela integração de dados da banda do **termal** do satélite **Landsat-5**.

Singh (1994) fez um monitoramento dos solos afetados por sais no distrito de Kanpur estado de Uttar Pradesh na Índia durante os anos de 1956 e 1986, através de dados de fotografias aéreas, imagens do satélite **Landsat-5** e de antigos mapas de solos com problemas de sais e concluiu que é possível monitorar a extensão de solos afetados por sais baseado em interpretações visuais de fotografias aéreas e imagens de satélite **Landsat-TM**.

Rao et al (1995) estudaram o comportamento espectral de solos aluviais afetados por sais nos distritos de Karnal e Sonapat, estado de Haryana na Índia, onde usaram imagens do satélite Landsat-5 associadas com um Radiômetro **Exotech** (model 100 Bx) e concluíram que os solos salinos e os solos salinos-sódicos refletem mais energia na região do visível e infravermelho próximo do espectro eletromagnético do que os solos normais (solos não afetados por sais) e que os solos fortemente salinos-sódicos apresentam resposta

espectral mais alta do que os solos fortemente salinos, enquanto que os solos moderadamente salinos-sódicos registram resposta espectral relativamente mais baixa que os solos fortemente salinos.

Dwivedi (1995) fez um monitoramento dos solos afetados por sais em parte dos distritos de Etah, Mainpuri, Agra e Aligarh pertencentes ao estado de Uttar Pradesh na Índia durante os anos de 1975 e 1992, usando a análise dos componentes principais e dados espaciais multi-espectrais.

CAPITULO 4

MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Materiais

No desenvolvimento desta pesquisa foram utilizados os seguintes materiais: dados bibliográficos, produtos de sensores orbitais e mapas temáticos, folhas topográficas, além do suporte computacional físico e lógico (software).

4.1.1 Área de estudo

A área de estudo está localizada a Oeste do Estado da Paraíba (fig. 4.1), entre as coordenadas $6^{\circ} 41' 34''$ e $6^{\circ} 52' 32''$ de Latitude Sul e os meridianos $38^{\circ} 02' 46''$ e $38^{\circ} 22' 41''$ de Longitude Oeste Greenwich na Microrregião Homogênea Depressão do Alto Piranhas (MRH 95), compreendendo parcialmente os municípios de Aparecida, Marizópolis, São Francisco e Sousa, com uma área de aproximadamente $738,62 \text{ km}^2$ inserida na baixada de Sousa.

A área do presente estudo foi selecionada devido aos seguintes fatores:

1. A existência do Perímetro Irrigado de São Gonçalo onde já tinha notícias da salinização dos solos pela irrigação;

2. Dados pedológicos que mostraram a ocorrência de solos afetados por sais além das fronteiras do referido perímetro;
3. A implantação pelo Governo do Estado da Paraíba de uma nova área de irrigação na chamada Baixada de Sousa, cujo objetivo é o desenvolvimento da fruticultura para exportação.

A área selecionada foi a região denominada Baixada de Sousa, onde se encontra o Perímetro de Irrigação São Gonçalo e as Várzeas de Sousa, tendo assim uma grande importância no Estado da Paraíba.

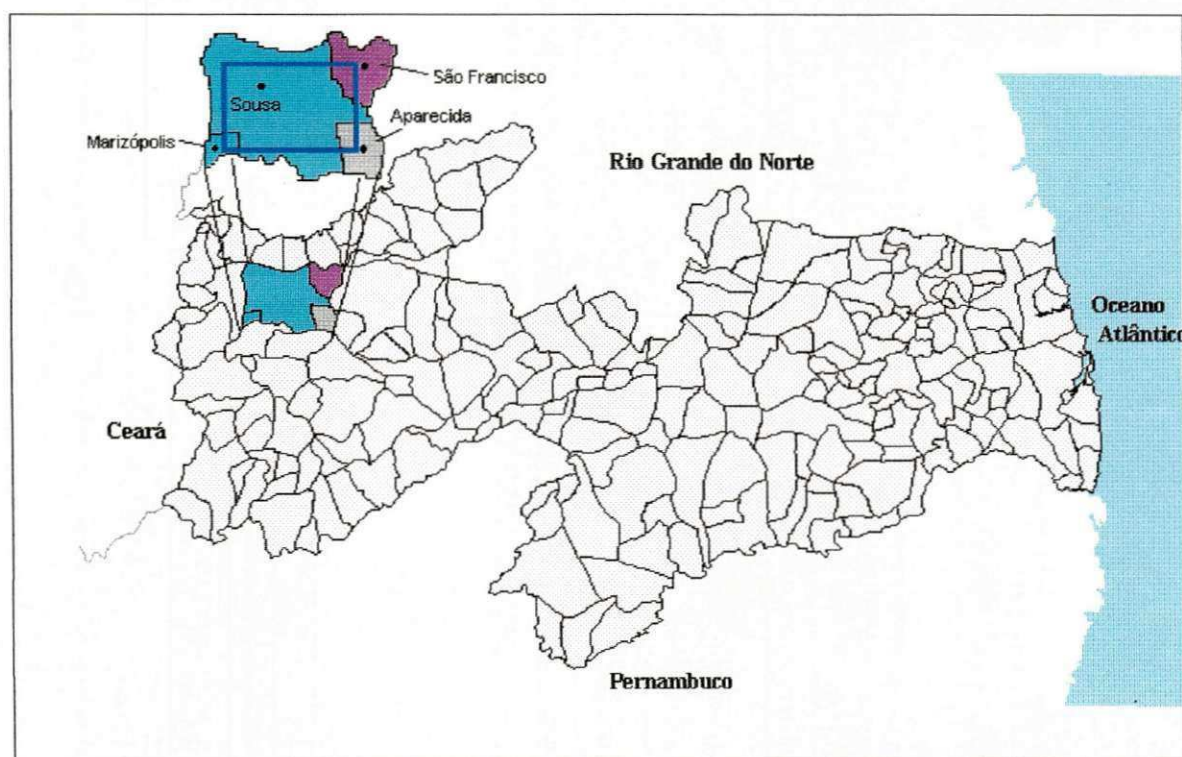


Figura 4.1 - Localização da área de estudo.
(Mapa de Divisão Municipal do Estado da Paraíba, segundo FIBGE, 1989).

4.1.2 Material Bibliográfico e Cartográfico

Tanto o material bibliográfico quanto o cartográfico se encontram disponíveis no Laboratório de Meteorologia, Recursos Hídricos e Sensoriamento Remoto de Campina Grande, sendo que este último corresponde à folha (SB. 24-

Z-A-V SOUZA), cuja articulação corresponde às coordenadas 6° 30' a 7° 00' S e 38° 00' a 38° 30' W.

4.1.3 Mapas Temáticos

Foram utilizados os seguintes mapas:

- Levantamento Exploratório - Reconhecimento dos Solos do Estado da Paraíba (BRASIL, 1972). Escala 1:500.000;
- Zoneamento Agropecuário do Estado da Paraíba - Mapa de Solos (PARAÍBA, 1978). Escala 1:400.000;
- Mapa Exploratório de Solos - Projeto RADAMBRASIL (BRASIL, 1981). Escala: 1:1.000.000;
- Mapa de Solos e Uso da Terra - Ramos (1983). Escala: 1:100.000.

4.1.4 Produtos de Sensoriamento Remoto

Para o presente trabalho, foram utilizadas imagens multiespectrais, nos formatos de papel e digital, obtidas pelo Mapeador Temático-TM (Thematic Mapper) do satélite Landsat-5, nas bandas 3 (visível-vermelho), 4 (infravermelho próximo), 5 (infravermelho médio) e 6 (infravermelho termal), referentes à órbita 216, ponto 65, quadrante N, com datas de passagem de 03 de novembro de 1997 e 02 de agosto de 1998.

4.1.5 Material de campo

- Termômetro Infravermelho AG-42, da Telatemp;
- Câmara Fotográfica;
- Sistema de Posicionamento Global (GPS).

4.1.6 Suporte Computacional Físico e Lógico (Software)

A infraestrutura computacional necessária ao desenvolvimento da segunda parte do trabalho consistiu basicamente de dois tipos de suporte: a) físico - caracterizado por todos os equipamentos utilizados no processo de entrada, de processamento e de apresentação final dos dados de interesse; e b) lógico - que envolve todos os aplicativos que direcionaram a execução das atividades relacionadas com os objetivos propostos.

4.1.6.1 Suporte Físico

- Microcomputador Pentium 90 MHz, HD de 1.2 GB, drive de 3 1/2", monitor ultra RGB de 15", leitor de CD-ROM 8x;
- Microcomputador Pentium 233 MHz, HD de 2.99 GB, drive de 3 1/2", monitor SAMGUNG - SyncMaster 400b 14", leitor de CD-ROM 32x;
- Mesa digitalizadora Summagraphics, modelo summagrid IV, formato A0, configurada neste trabalho para o formato A1.
- Unidade de Visualização de Imagens - UVI-340, do INPE/GEOTEC, com três planos de imagem e um plano gráfico,

cada um com resolução de 1024 x 768 pontos, e monitor RGB de visualização de imagens Sony, modelo Multiscan HG, de 21";

- Scanner de página HP, modelo Scanjet II cx;
- Impressora de jato de tinta HP, modelo DeskJet 820Cxi;
- Traçador Gráfico (Design Jet650C);

4.1.6.2 Suporte Lógico (Software)

- Sistema de Tratamento de Imagens/Sistema de Informações Geográficas – (SITIM-SGI-340, Versão 2.5), desenvolvido pelo INPE/ENGESPAÇO IND. E COM. S/A (1997);
- Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas - SPRING 3.3, (INPE, 1999).

4.2 Métodos

A metodologia utilizada neste estudo foi baseada no trabalho desenvolvido por Lobo (1992).

4.2.1 Obtenção e seleção dos dados disponíveis

Visando alcançar o objetivo deste trabalho, realizou-se um levantamento prévio de todas as informações disponíveis, tanto cartográficas, bibliográficas e de todos os perfis de solos¹, que pudessem ser utilizadas no

¹ As informações disponíveis (descrição de perfis, caracterização de solos, etc.) encontram-se disponíveis em Ramos (1983) e EMEPA (1998).

estudo proposto. Em seguida, procedeu-se à seleção das imagens do TM/Landsat-5, observando todas as imagens disponíveis e, posteriormente, a aquisição das imagens do quadrante N, cena de órbita 216, ponto 65 com as datas de 03/11/97 e 02/08/98.

4.2.2 Reconhecimento da área de estudo

Com a finalidade de se obter uma boa aproximação entre a verdade terrestre e a interpretação das imagens TM/Landsat-5, realizou-se a escolha de várias manchas críticas de solos afetados por sais na área de estudo. Em seguida foi feito um exame detalhado de cada mancha, cujo objetivo era observar em campo a relação entre a fisiografia, tipos de solos e vegetação.

As citadas manchas apresentaram as seguintes características:

- **Mancha 1:** Área localizada a 1,5 km, lado direito da BR-230 que liga o município de Aparecida a Sousa. Apresenta relevo plano, solo Aluvião, pedregoso, com algumas manchas escuras de matéria orgânica na superfície; sendo vegetado por carnaúbas e algumas cactáceas.
- **Mancha 2:** Mancha localizada a 1,0 km, lado esquerdo do caminho que liga BR-230 à sede da Fazenda Acauã. Apresenta solo aluvião exposto; relevo plano; bastantes carnaúbas, juazeiros e oiticicas.
- **Mancha 3:** Localizada a 2,0 km, lado direito do caminho que liga BR-230 à sede da Fazenda Acauã. Apresenta relevo plano; solo aluvião exposto; com bastantes carnaúbas e algumas cactáceas.
- **Mancha 4:** Área localizada a 1,0 km, lado direito do caminho que liga BR-230 ao sitio Várzea da Cruz; apresentando solo exposto, úmido, pedregoso, com formação de microrelevos (Vertissolo); relevo plano;

vegetação rala (gramíneas), cultura do arroz e, algumas carnaúbas, juazeiros e algarobas.

- **Mancha 5:** Mancha localizada ao lado direito da BR-230 a 2,5 km do sentido Aparecida a Sousa. Relevo plano; solo Solonetz-Solodizado com alguns pontos expostos; bastantes carnaúbas e algumas juremas.
- **Mancha 6:** Localizada a 2,5 km do caminho que liga BR-230 ao sítio Várzea, apresenta relevo plano; solo Aluvião exposto; com bastante jurema preta.
- **Mancha 7:** Área localizada a 4,0 km da estrada que liga BR-230 à Vila Várzea do Cantinho. Apresenta relevo plano, solo Solonetz-Solodizado com algumas manchas expostas; vegetação com: carnaúbas, juremas e algarobas; terreno utilizado no plantio de arroz.
- **Mancha 8:** Mancha localizada a 5,0 km da estrada que liga BR-230 à sede da Fazenda Curitiba. Apresenta relevo plano; solos Aluviões com manchas expostas e às vezes alagadas. Observa-se o desenvolvimento de vegetação rasteira, com a predominância de espécies arbustivas e gramíneas. Área utilizada com o plantio de coqueiros e pecuária extensiva.
- **Mancha 9:** Localizada a 4,5 km no caminho que liga antiga BR-230 ao sítio Lagoa do Forno, lado da estrada de ferro. Apresenta bastantes juremas, cactáceas, juazeiros, algarobas e alguns pereiros; solo Solonetz-Solodizado exposto; e relevo plano.
- **Mancha 10:** Área localizada a 1,0 km na estrada que liga ferrovia ao sítio Malhada Grande. Apresenta solo Aluvião descoberto; relevo plano; tendo como vegetação: juremas, carnaúbas, algarobas e juazeiros.
- **Mancha 11:** Área localizada a 2,0 km na estrada que liga antiga BR-230 ao sítio Lagoa do Forno ao lado esquerdo da ferrovia. Apresentando relevo

plano; solo Solonetz-Solodizado exposto; com bastantes juremas, cactáceas, carnaúbas e alguns pereiros.

- **Mancha 12:** Mancha localizada a 4,65 km do lado direito da estrada que liga Sousa ao sítio Xiquexique. Área com solo aluvião exposto; relevo plano; vegetação rala (com mata pasto, gramínea e salsa), alguns pereiros, juremas, piões, juazeiros e cactáceas.
- **Mancha 13:** Área localizada a 3,20 km, lado esquerdo da estrada que liga Sousa ao sítio Xiquexique. Apresentando relevo plano; solo Aluvião bastante exposto; com predominância de carnaúbas, pereiros, cactáceas, juremas e juazeiros.
- **Mancha 14:** Localizada no sítio Estreito a 1,4 km da estrada que liga Sousa ao sítio Xiquexique. Apresenta solo Solonetz-Solodizado exposto com pequenas áreas alagadas; relevo plano; com algumas carnaúbas, juremas e juazeiros. Terreno utilizado para o cultivo do arroz.
- **Mancha 15:** Mancha localizada no sítio Riachão de Cima a 2,0 km da BR-23 que liga Sousa à Uiraúna. Apresenta solo Solonetz-Solodizado exposto; relevo plano; com bastantes carnaúbas, juremas e juazeiros.
- **Mancha 16:** Área localizada a 8,25 km do lado esquerdo da estrada que liga Sousa à Uiraúna. Apresenta relevo plano; solo Solonetz-Solodizado exposto; com predominância de carnaúbas, juremas, juazeiros, marmeleiros e oiticicas.
- **Mancha 17:** Localizada no Setor 4 do Perímetro Irrigado de São Gonçalo. Apresenta relevo plano; solo Solonetz-Solodizado descoberto com presença de umidade. Área utilizada para o plantio de arroz, com bastantes carnaúbas, juremas, marmeleiros, coqueiros e bananas.

4.2.3 Leituras de Temperatura

Tendo feito o reconhecimento detalhado da área, foram feitas as leituras de temperatura (uma leitura para cada mancha) com o termômetro infravermelho. Este instrumento tem resolução de $0,1^{\circ}\text{C}$ e precisão de aproximadamente $0,5^{\circ}\text{C}$. O seu ângulo de visada é de 5° e detecta radiação eletromagnética na faixa de $10,0\mu$ a $12,5\mu$. As medições foram feitas com o termômetro sendo mantido a cerca de $1,0\text{m}$ da superfície do solo com inclinação de 45° em relação à horizontal e em horário recomendado pelo manual do instrumento (9:00h e 9:30h da manhã). Percorreram-se todos os pontos (manchas de solos afetadas por sais) estudados e com o termômetro apontado em direção ao solo, anotaram-se as variações de temperatura para cada ponto em estudo.

4.2.4 Análise das imagens

A análise das imagens TM/Landsat-5 nos formatos papel e digital, foi realizada no laboratório, utilizando o software SPRING, versão 3.3 e a interpretação visual. Cujo objetivo era avaliar e selecionar as bandas espectrais que melhor caracterizam a área de estudo.

4.2.5 Registro das imagens

O registro associou as coordenadas das imagens (linha, coluna) com as coordenadas geográficas (latitude e longitude). A documentação cartográfica de apoio à coleta de pontos de controle utilizados neste trabalho foi a carta topográfica na escala de 1:100.000, folha (SB.24-Z-A-V SOUZA). Esta foi utilizada como base cartográfica no processo de registro das imagens, ajustando-as à Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM). Em seguida esta imagem foi utilizada como referência para o registro imagem-imagem com a outra passagem. As operações de registro utilizaram as bandas TM3 e TM5 alternadamente, para a identificação de alvos diferentes. Essa transformação

corrige distorções existentes na imagem, causadas no processo de sua formação, pelo sistema sensor e por imprecisão dos dados de posicionamento da plataforma (INPE, 1999).

4.2.6 Transformação RGB e aumento de contraste

Feito o registro das imagens TM/Landsat-5, partiu-se para a transformação RGB onde foi atribuída uma banda (TM3, TM4, TM5) a cada canal (Red, Green, Blue – Vermelho, Verde, Azul), com intuito de obter-se uma composição colorida. A técnica de realce de contraste tem por objetivo melhorar a qualidade das imagens sob critérios subjetivos do olho humano (INPE, 1999). A concentração da maioria dos pixels da imagem numa faixa estreita, acarreta um baixo contraste na imagem, impossibilitando dessa maneira a identificação visual dos alvos contidos na cena, devido a pouca variação de reflectância destes alvos, o que é bastante comum nas imagens digitais de satélite (Pereira et al., 1998a).

4.2.7 Interpretação Visual Preliminar das Imagens TM do Landsat-5

Para se proceder à interpretação visual preliminar das imagens TM do Landsat-5, confeccionou-se um mapa base da área selecionada. Procedeu-se à interpretação visual preliminar das áreas investigadas, delimitando as unidades fisiográficas que apresentassem maior grau de homogeneidade espectral possível. Este procedimento foi extrapolado para as demais áreas contidas na área de estudo, comparando-se as áreas espectralmente homogêneas e delimitando-as, conforme se procedeu nas áreas previamente conhecidas.

Este processo fotointerpretativo permitiu a elaboração de dois mapas preliminares, ambos na escala 1:100.000 a nível Exploratório-Reconhecimento, a partir dos quais se elaborou um terceiro mapa-preliminar resultado da união do primeiro mapa-preliminar (gerado a partir da composição RGB realçada das bandas TM3, TM5 e TM4) e do segundo mapa-preliminar

(gerado a partir da banda TM6 realçada). Em seguida, foram selecionadas algumas áreas para posterior checagem de campo, considerando-se as áreas que representassem maior confusão espectral.

4.2.8 Trabalho de Campo

Esta fase compreendeu um estudo das áreas que apresentaram confusões com relação às manchas mapeadas de solos afetados por sais. Em seguida foram feitas leituras de temperatura em cada área com o termômetro infravermelho a cerca de 1,0m da superfície do solo com inclinação de 45° em relação ao horizonte, nos horários compreendidos entre 9:00h e 9:30h e a descrição geral da área analisada para posterior leitura de pixels.

4.2.9 Confeção do Mapa Final dos Solos Afetados por Sais

Com base nos resultados obtidos no campo e no laboratório, procedeu-se à reinterpretação visual das áreas afetadas por sais, objetivando-se à correção de alguns limites de solos. Uma vez reajustados estes limites, foram digitalizadas as manchas afetadas por sais através do Sistema de Informações Geográficas - SGI. Em seguida, confeccionou-se o mapa final dos solos afetados por sais, além do registro das principais cidades, rios e açudes abrangidos pela área de estudo.

4.2.10 Leituras de "Pixels"

O termo "Pixel" (picture element) é definido como sendo um elemento da imagem digital que no MSS Landsat representa cerca de 0,44 ha e no TM Landsat é de aproximadamente 0,09 ha (NOAA, 1984).

Para se proceder às leituras de “pixels”, utilizou-se o SPRING versão 3.3, no qual a imagem foi ampliada para a escala 1:100.000. Tomou-se a folha (SB.24-Z-A-V SOUZA), com escala 1:100.000, como mapa base, sobre o qual as manchas de solos com problemas de sais foram plotadas. Feito isso, partiu-se para localizar estas manchas na imagem, utilizando pontos de referência identificados na carta, ou seja, pontes, estradas, cidades, etc., tentando desse modo uma situação mais precisa das manchas determinadas no campo e com o mapa resultante de uma análise visual prévia, que permitiu a delimitação das áreas em questão, buscando com isto individualizar as manchas com presença de sais que apresentassem maior grau de homogeneidade espectral.

Feita a individualização das manchas, procedeu-se à leitura de “pixels” por toda a área selecionada, a fim de identificar os limites superiores e inferiores dos níveis de cinza, nas bandas TM3, TM4, TM5 e TM6 do sensor TM. De posse desses limites, foi possível a elaboração de tabelas representando as faixas de níveis de cinza das manchas de solo com problemas de sais nas bandas espectrais do TM/LANDSAT-5.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análise das imagens TM/Landsat-5

A análise das imagens TM/Landsat-5 foi realizada no SPRING versão 3.3. A análise individual banda a banda sem tratamento digital específico permitiu avaliar e selecionar as bandas espectrais que melhor caracterizam a área de estudo. Foram selecionadas as bandas TM3, TM4 e TM5 do espectro ótico eletrônico e a banda TM6 da região do termal.

5.1.1 Banda TM3

Na análise da banda TM3 (figura 5.1), verifica-se que o Perímetro Irrigado de São Gonçalo, em tonalidades de cinza escuro, apresenta um alto

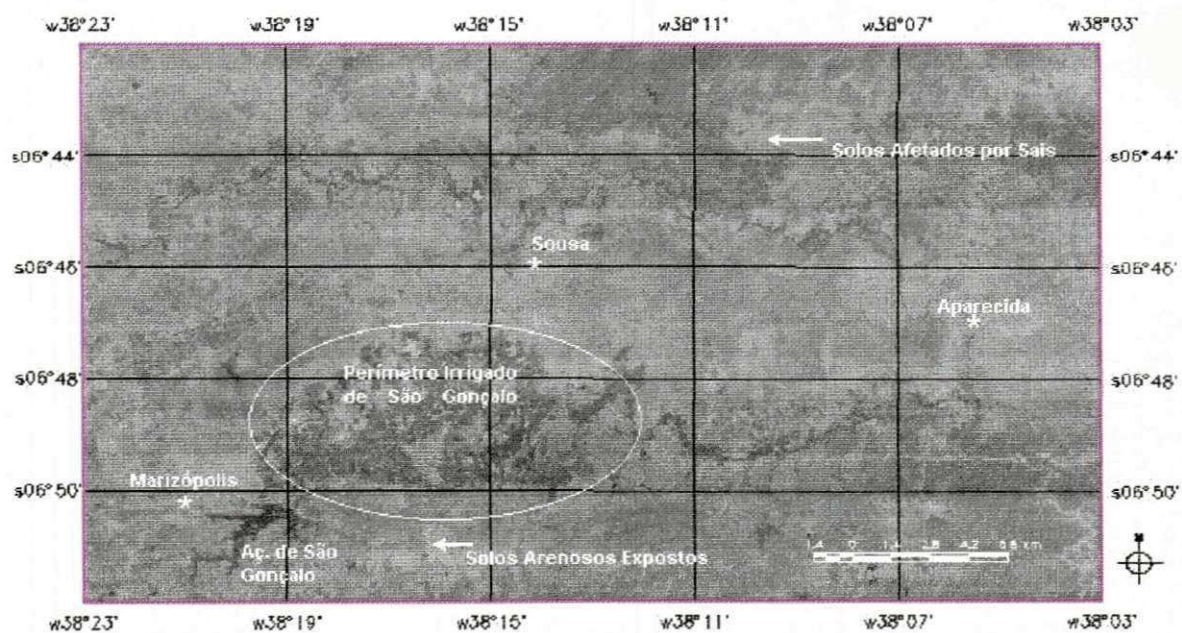


Figura 5.1 - Imagem original, banda TM3 com data de passagem em 03/11/97.

contraste em relação às outras áreas, devido à absorção da radiação eletromagnética pela vegetação irrigada. Os solos afetados por sais (destaque nas figuras 5.1, 5.2 e 5.3) apresentam-se com tonalidade de cinza claro o que os confunde facilmente com os solos arenosos secos expostos.

5.1.2 Banda TM4

Na banda TM4 (figura 5.2), observa-se que o Perímetro Irrigado de São Gonçalo apresenta tonalidades de cinza claro, pela alta reflexão da vegetação no infravermelho próximo. Nesta imagem, também se observam feições de forma geométrica não definida na porção superior da imagem, que representam uma parte significativa dos solos afetados por sais e que pela alta reflectância são facilmente confundidos com a vegetação irrigada.

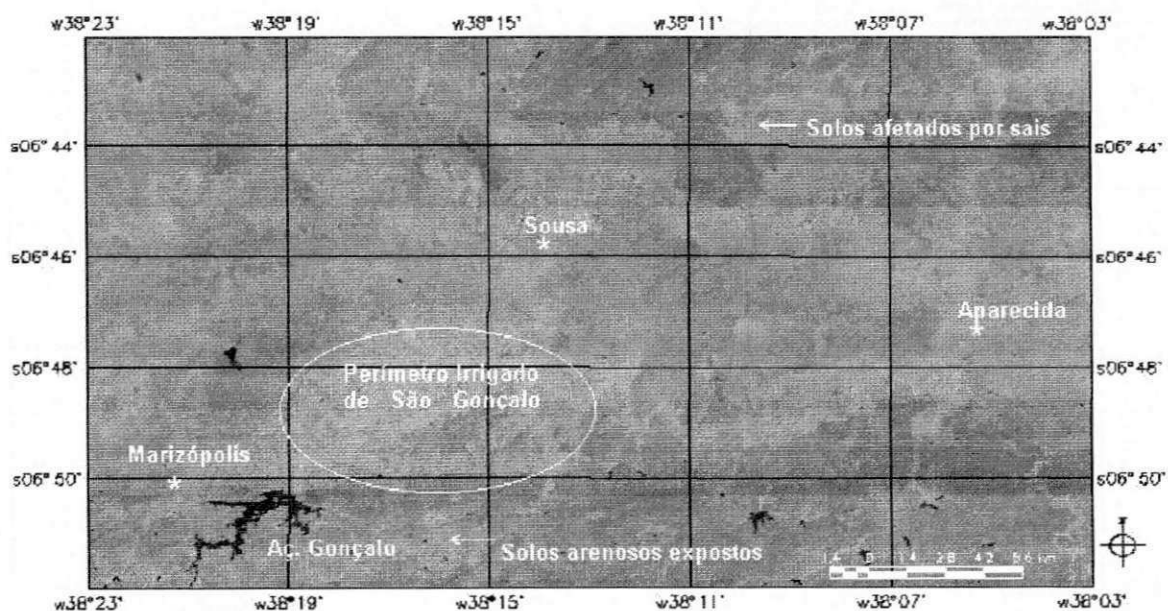


Figura 5.2 - Imagem original, banda TM4 com data de passagem em 03/11/97.

5.1.3 Banda TM5

Na banda TM5 (figura 5.3), o açude de São Gonçalo e os demais reservatórios aparecem em tonalidades de cinza muito escuro, devido à alta absorção da energia eletromagnética pela água. No Perímetro Irrigado de São

Gonçalo, que em sua maior parte apresenta-se em tonalidade de cinza escuro (correspondente à vegetação irrigada) as áreas de tonalidades de cinza claro representam solos nus.

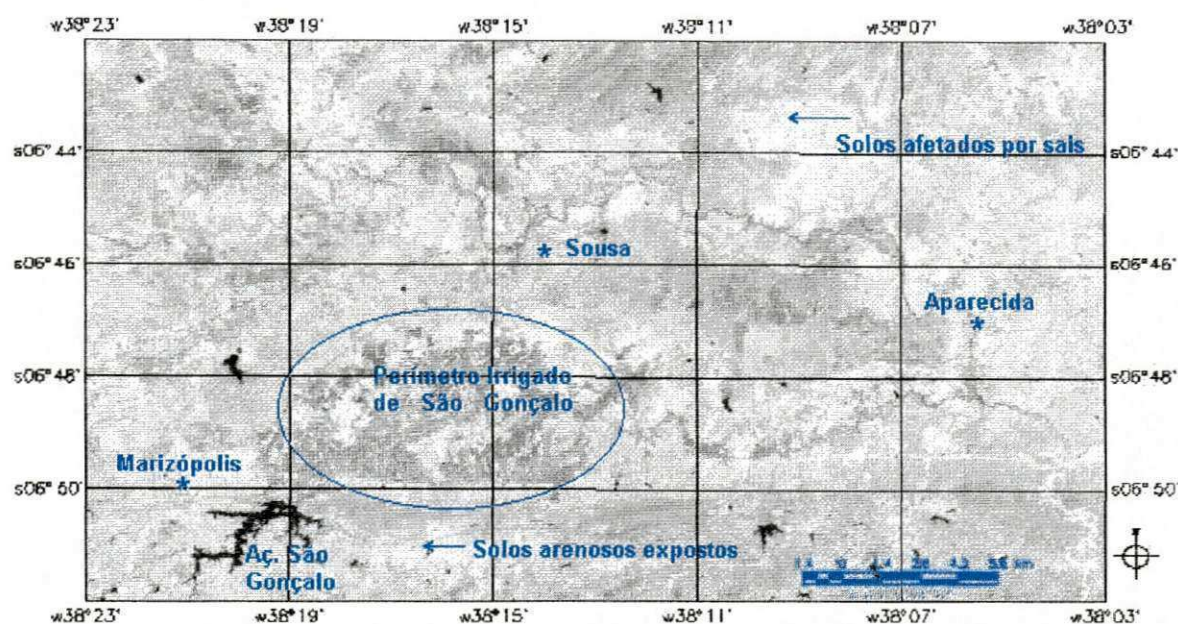


Figura 5.3 - Imagem original, banda TM5 com data de passagem em 03/11/97.

Nas três bandas analisadas, observa-se que os solos afetados por sais e os solos arenosos secos expostos apresentam as mesmas tonalidades de cinza claro, com um alto contraste em relação aos outros alvos, devido à alta reflectância da radiação eletromagnética proporcionados por eles. A diferença entre eles é dada pela textura fotográfica: os solos arenosos (figuras 5.1, 5.2 e 5.3) apresentam uma textura mais rugosa que os solos afetados por sais, que se caracterizam por uma textura fina.

Após a análise visual das bandas TM3, TM4 e TM5, realizou-se a transformação RGB (Red, Green, Blue - Vermelho, Verde, Vermelho) que permitiu obter a composição colorida usando as bandas originais. Para melhor caracterizar os alvos, as imagens das bandas TM3 e TM4 foram submetidas ao programa de aumento de contraste para equalizar as referidas bandas, de forma a permitir uma melhor visualização dos alvos na interpretação visual. As bandas originais TM3 e TM4 apresentaram seus histogramas de frequência dos níveis de cinza mais estreitos (21 a 130 e 6 a 133, respectivamente - imagens de baixo

contraste), foi necessário redistribuir os níveis de cinza das bandas TM3 e TM4, de forma a abranger os 256 níveis de cinza possíveis em cada uma delas. A operação realizada foi a de equalização dos histogramas, o que permitiu alterar automaticamente os histogramas das bandas TM3 e TM4 originais de tal maneira que os níveis de cinza foram expandidos ao longo de todo o intervalo reduzindo assim o contraste das áreas muito claras ou muito escuras. O histograma da banda TM5 original de distribuição dos níveis de cinza mostrou-se abrangente em relação aos 256 níveis de cinza possíveis (7 a 255 - imagem de alto contraste) e não foi necessária a aplicação das técnicas de realce.

A transformação RGB utilizando as bandas TM3 e TM4 processadas pelo aumento de contraste e a banda TM5 original resultou em uma imagem (Fig.5.4) onde os alvos apresentaram-se melhor definidos do que nas combinações RGB das bandas originais. A vegetação nativa corresponde as

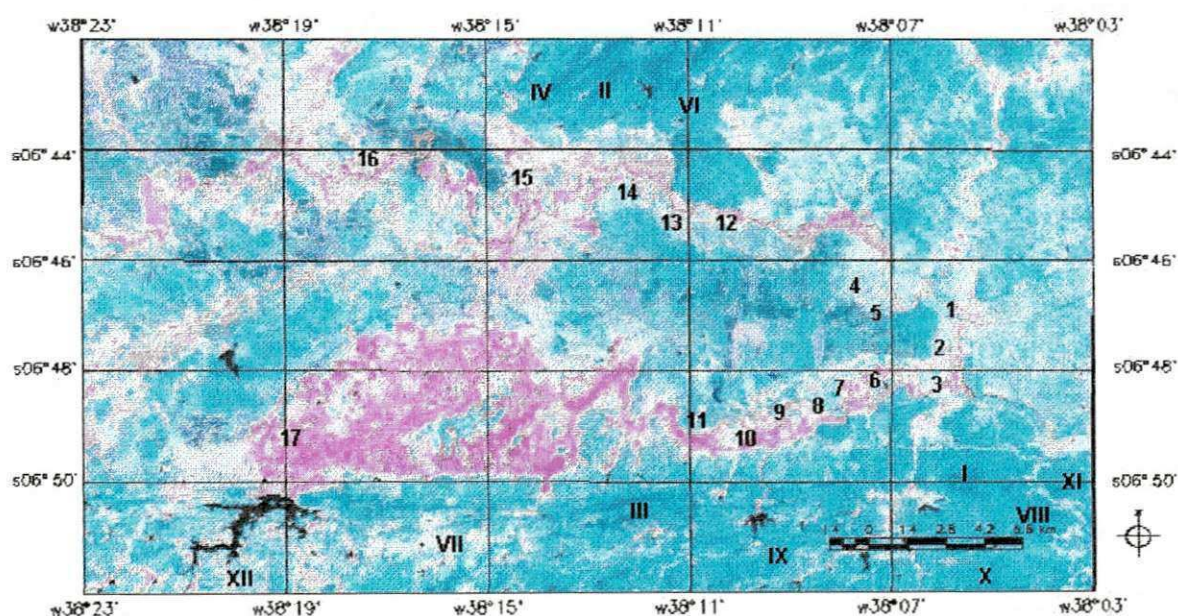


Figura 5.4 - Composição RGB (realçada) das bandas TM originais com data de passagem em 03/11/97. Manchas verificadas em campo (1, 2, 3, 4, ...) e pontos aleatórios analisados em laboratório (I, II, III, IV...)

áreas em cores verdes, a vegetação irrigada (Perímetro Irrigado de São Gonçalo) e a vegetação ao longo dos rios aparecem em cores laranjas, enquanto que as cores azuladas representam os solos Vertissolos. O açude de São Gonçalo e os demais reservatórios são representados pelas cores escuras. Os solos afetados

por saís e os solos arenosos secos expostos são destacados pela variação do ciano de claro a muito a claro.

5.1.4 Banda TM6

A análise da banda TM6 (figura 5.5) sem tratamento digital específico mostrou a variação de temperatura dos alvos da área em estudo. As tonalidades de cinza claro representam as áreas com temperaturas mais elevadas, enquanto que as tonalidades de cinza escuro representam as áreas com temperaturas mais baixas.

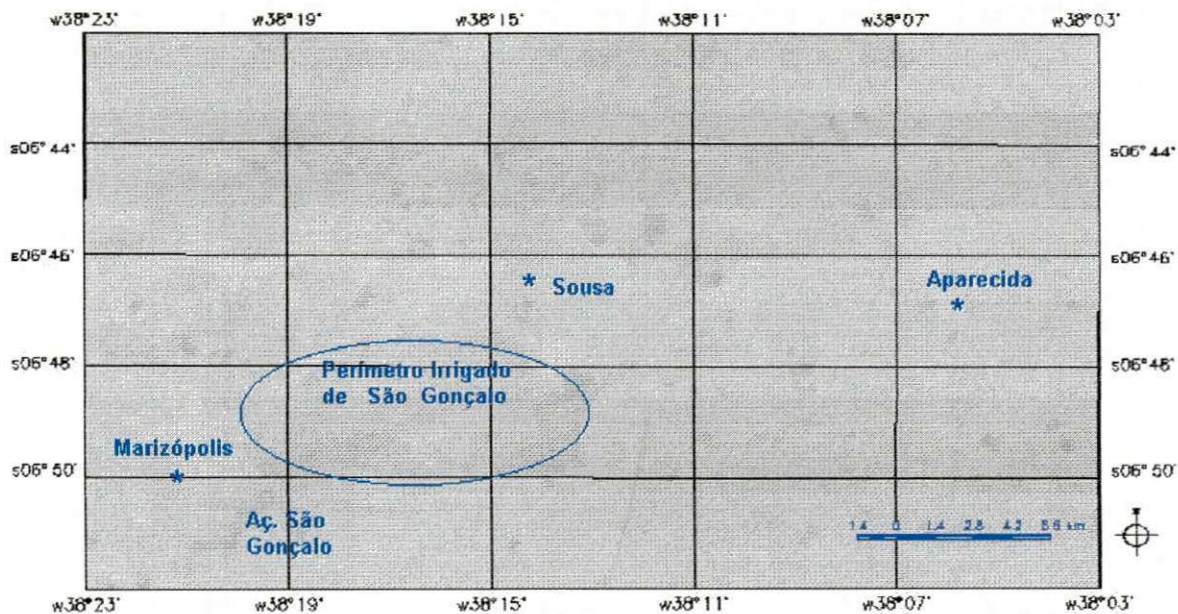


Figura 5.5 - Imagem original, banda TM6 com data de passagem em 02/08/98.

A análise dos valores digitais da banda TM6 mostrou uma pequena variação entre o valor mínimo 123 e o máximo 160 ou seja, uma imagem de baixo contraste. Para melhorar a visualização da imagem aplicou-se o aumento de contraste e a nova imagem passou a ocupar todos os 256 níveis de cinza possíveis, aumentando consideravelmente o contraste entre alvos de temperaturas diferentes (figura 5.6).

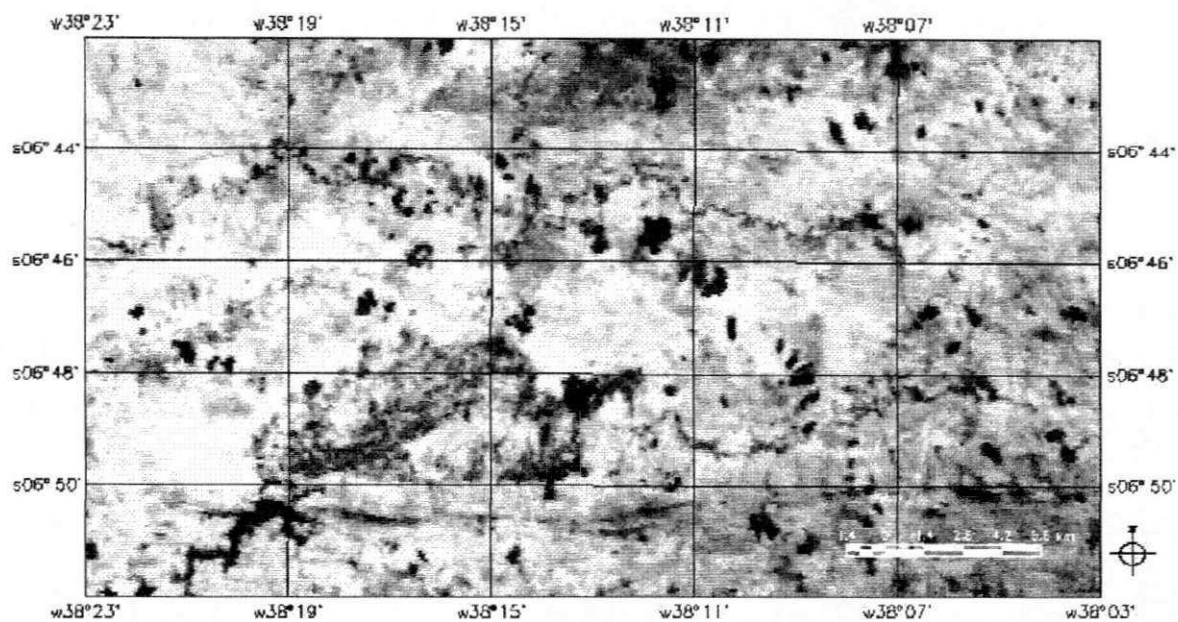


Figura 5.6 - Imagem realçada da banda TM6 (termal) com data de passagem em 02/08/98.

Dessa maneira, obteve-se uma nova imagem da banda TM6 em alto contraste. Utilizando-se estas duas imagens (banda TM6 bruta; banda TM6 com alto contraste) aplicou-se a transformação RGB e o melhor resultado foi dada pela combinação (R vermelho banda TM6 alto contraste; G verde banda TM6 baixo contraste e B azul banda TM6 alto contraste) (figura 5.7). O resultado deste tratamento facilitou a análise visual da imagem RGB banda TM6, que permitiu a individualização das áreas de solos afetadas por sais, levando-se também em consideração a textura fotográfica.

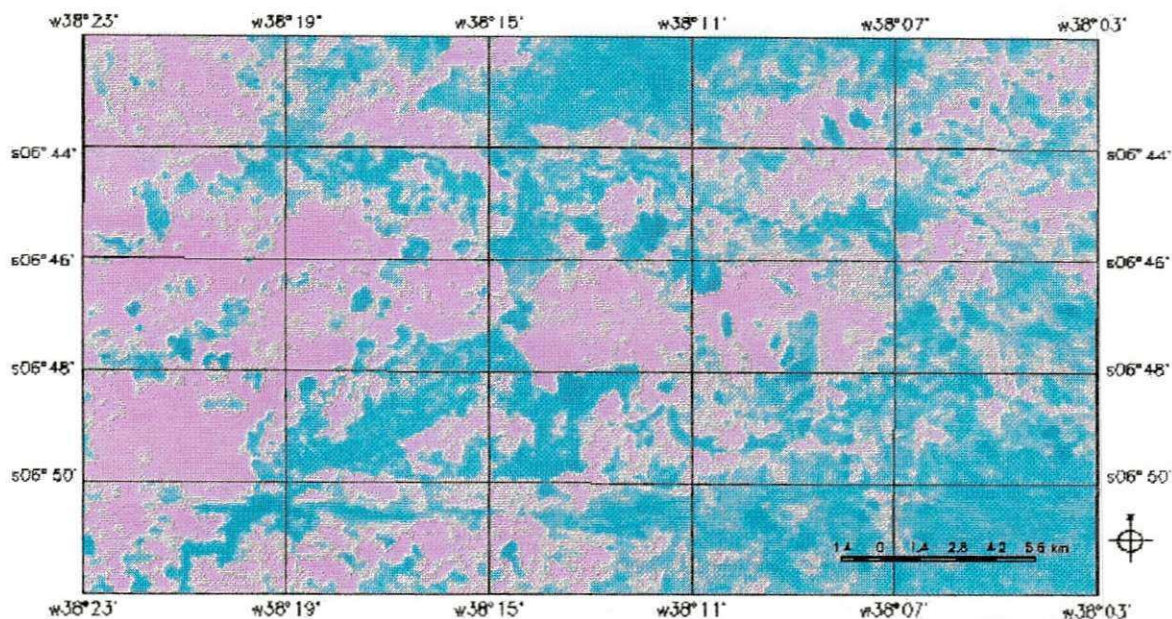


Figura 5.7- Composição RGB (realçada) da imagem TM/Landsat-5, a partir da banda termal (TM 6) original com data de passagem em 02/08/98.

A análise visual das imagens brutas e tratadas digitalmente, aliada ao fator textura fotográfica e as visitas de campo, permitiu a diferenciação e a delimitação das áreas afetadas por sais. De posse desses limites, foram digitalizadas as manchas afetadas por sais através do Sistema de Informações Geográficas SGI (ENGEPAÇO, 1993) e em seguida importadas para o SPRING, versão 3.3 (INPE, 1999) para serem reajustadas e georeferenciadas. Feito os reajustes e o georeferenciamento, confeccionou-se no SCARTA, versão 3.3 (INPE, 1999), o mapa final dos solos afetados por sais, onde, dos 738,62 km² que constituem a área de estudo, verifica-se que 252,23 km², aproximadamente 34,15 % da área mapeada, apresentam-se com solos afetados por sais (figura - 5.8).

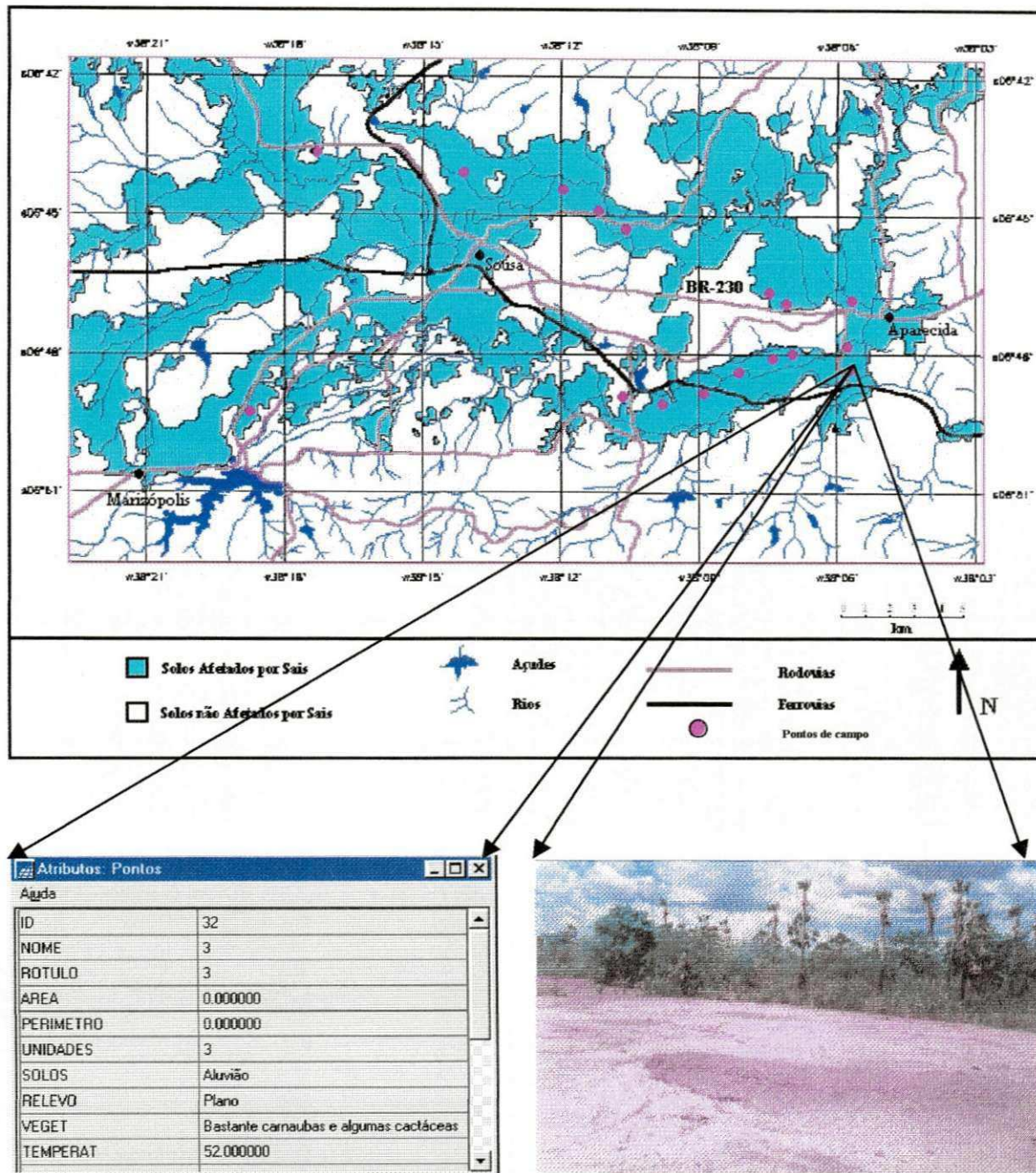


Figura 5.8 - Mapa dos solos afetados por sais, georeferenciado no SPRING.

5.2 Correlação da análise de pixels das imagens TM/Landsat-5 com as Leituras de Temperatura em solos afetados por sais

Para georeferenciar as medidas de temperaturas dos solos tomadas no campo, com os dados das imagens para a análise pixel a pixel, utilizaram-se os dados do GPS (tabelas 5.1 e 5.3).

Tabela 5.1 - Leituras de Pixels das Imagens TM/Landsat-5 com data de passagem em 03/11/97 e de Temperaturas dos Solos com Termômetro Infravermelho.

Solos Afetados por Sais	Coordenadas		Temp. em °C (Jan/99)	Níveis de Cinza			Solos
	Latitudes (s)	Longitudes (o)		TM3	TM4	TM5	
1	6 ° 46' 54"	38 ° 05' 45"	40,30	94	85	245	Aluvião Eutrófico sem vegetação + matéria orgânica
2	6 ° 47' 53"	38 ° 05' 51"	54,50	104	93	228	Aluvião Eutrófico sem vegetação
3	6 ° 48' 21"	38 ° 05' 47"	52,00	138	113	255	Aluvião Eutrófico sem vegetação + erosão em sulco
4	6 ° 46' 47"	38 ° 07' 24"	50,80	98	93	212	Vertissolo + vegetação rasteira + pedregosidade
5	6 ° 47' 04"	38 ° 06' 55"	45,80	89	78	190	Solonetz-Solodizado + matéria orgânica
6	6 ° 47' 53"	38 ° 06' 59"	44,00	84	76	223	Aluvião Eutrófico + matéria orgânica
7	6 ° 47' 56"	38 ° 07' 11"	40,20	98	93	236	Solonetz-Solodizado após cultivo do arroz
8	6 ° 48' 17"	38 ° 07' 49"	41,60	96	89	241	Aluvião Eutrófico + fruticultura + gramíneas
9	6 ° 48' 43"	38 ° 08' 47"	51,80	133	109	255	Solonetz-Solodizado sem vegetação
10	6 ° 49' 00"	38 ° 09' 39"	50,30	103	88	222	Aluvião Eutrófico + indícios de matéria orgânica
11	6 ° 49' 02"	38 ° 10' 25"	44,00	111	93	239	Solonetz-Solodizado sem vegetação
12	6 ° 45' 15"	38 ° 10' 32"	37,60	98	87	213	Aluvião Eutrófico + vegetação rasteira
13	6 ° 45' 15"	38 ° 11' 03"	39,20	81	95	193	Aluvião Eutrófico + matéria orgânica
14	6 ° 44' 42"	38 ° 11' 39"	41,70	102	93	219	Solonetz-Solodizado + matéria orgânica
15	6 ° 44' 19"	38 ° 13' 59"	41,50	129	105	248	Solonetz-Solodizado + vegetação rasteira+ erosão
16	6 ° 43' 36"	38 ° 17' 30"	40,20	99	95	218	Solonetz-Solodizado + vegetação rasteira
17	6 ° 49' 32"	38 ° 18' 35"	32,60	98	115	197	Solonetz-Solodizado após cultivo + umidade
Média				110	96	223	

* 17 - mancha pertencente ao setor 4 do Perímetro Irrigado de São Gonçalo.

Na Tabela 5.1 são apresentadas temperaturas pontuais tomadas em campo das superfícies das manchas de solos estudadas, utilizando-se o Termômetro de Infravermelho nos dias 26, 27 e 28 de Janeiro de 1999¹. Tais resultados mostraram que os solos afetados por sais apresentaram temperaturas elevadas em relação aos solos não afetados por sais (Tabela 5.2), que variam em

¹ Época do ano considerada como o início da estação chuvosa, onde a vegetação já se encontra verde e os solos já apresentavam um alto teor de umidade.

função da presença de uma cobertura vegetal muito rala (gramíneas), composição química e características físicas do solo.

Tabela - 5.2 Temperaturas dos Solos não afetados por sais, obtidas com Termômetro Infravermelho

Solos Não Afetados por Sais	Temperaturas em °C (Março de 2000)
Vertissolo*	34,40
Aluvião	28,30
Bruno Não-Cálcico	27,60
Vertissolo*	36,70
Podzólico Vermelho Amarelo	29,10
Aluvião	27,80
Podzólico Vermelho Amarelo	26,90
Bruno Não-Cálcico	29,40

* Estes solos apresentaram valores elevados de temperaturas devido a presença de grande quantidade de minérios de ferro na sua constituição.

Nas Tabelas 5.1 e 5.3 são apresentados os valores dos pixels das bandas TM3, TM4 e TM5 das imagens TM/Landsat-5 relacionados aos pontos de coleta de temperatura para a data de passagem de 03/11/97¹ (auge da estação seca) e TM3, TM4, TM5 e TM6 para a data de 02/08/98 (após a estação chuvosa) respectivamente. Na análise das imagens TM/Landsat-5, com data de passagem em 03/11/97 (Tabela 5.1), observa-se que na banda TM3, a média dos valores dos pixels foi 110. Assim verificou-se que: as manchas 5, 6 e 13 (fotos 1, 2 e 3) apresentaram valores de níveis de cinza bem abaixo do valor médio por serem áreas de solos não totalmente expostos, com vegetação rasteira (gramíneas – manchas 6 e 13) e representantes arbóreos espaçados (mancha 5).

¹ Devido a problemas técnicos de processamento, a banda TM6 (na faixa do infravermelho termal) desta data foi gravada com ruídos, impossibilitando a sua análise. Para a época seca, devido à alta cobertura de nuvens, não foi possível selecionar um outra banda conforme informação do ATUS/INPE.



Foto 1 - Solo Aluvião afetado por sais com presença de matéria orgânica na superfície (mancha 5).

As manchas 1, 4, 7, 8, 12, 16 e 17 (fotos 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 10, respectivamente), apresentaram também valores inferiores ao da média, sendo que superiores aos das manchas anteriores, pois apresentaram mais áreas de solo exposto, uma vegetação aberta e rasteira e a presença de matéria orgânica nas suas superfícies. Nas manchas de solos 2, 10 e 14 (fotos 11, 12 e 13) , os valores de níveis de cinza foram um pouco inferiores ao da média por se apresentarem mais expostos contendo ou não matéria orgânica nas suas superfícies. A mancha 11 (foto 14), foi considerada como a de valor médio e apresenta solo exposto com

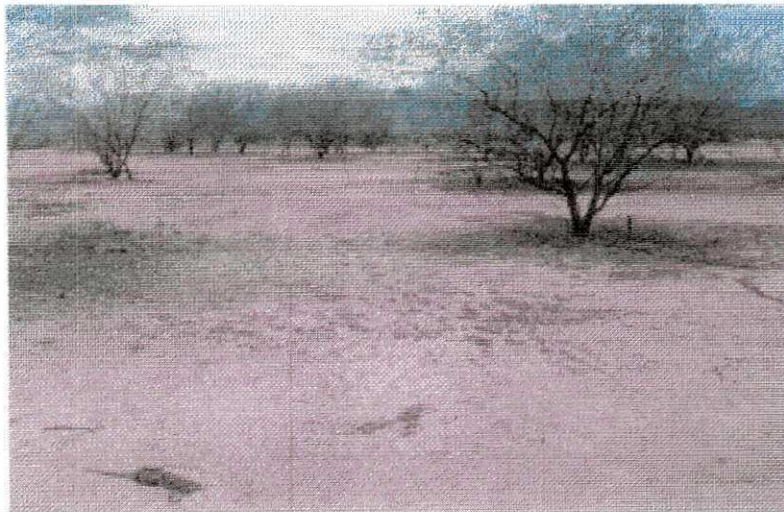


Foto 2 - Solo Aluvião afetado por sais, nesta área percebe-se a invasão de juremas (mancha 6).

presença de sais cristalizados na sua superfície. Para as manchas 3, 9 e 15 (fotos 15, 16 e 17), houve um aumento nos valores dos níveis de cinza, sendo bem superiores ao do valor médio. Estas manchas caracterizam-se por extensas

áreas de solos expostos em alto estado de degradação apresentando erosão laminar e por sulcos. Para estas manchas se faz necessário a execução de trabalhos de recuperação. Na banda TM4, o valor médio foi 96. As manchas 5 e 6 (fotos 1 e 2) permaneceram com valores de níveis de cinza bem abaixo do valor médio por serem elas as manchas que apresentam mais cobertura vegetal.



Foto 3 – Solo Solonetz-Solodizado exposto (mancha 13)

As manchas 1, 8, 10 e 12 (fotos 4, 7, 12 e 8, respectivamente), também registraram valores de níveis de cinza menores que o valor médio por apresentarem teores maiores de matéria orgânica na superfície. As manchas 2, 4, 7, 11, 14 e 16 (fotos 11, 5, 6, 14, 13 e 9, respectivamente), apresentaram valores de níveis de cinza aproximados do valor médio, devido à existência de menor



Foto 4 - Solo Aluvião afetado por sais em avançado estado de degradação (mancha 1).

quantidade de matéria orgânica nas suas superfícies, enquanto que a mancha 13 (foto 3) caracterizado por solo aluvial arenoso, claro, localizada em área de cultivo

do arroz, apresentou um valor de nível de cinza igual ao valor médio. As manchas 3, 9 e 15 (fotos 15, 16 e 17), áreas em alto estado de degradação, apresentaram valores de níveis de cinza superiores ao da média. Em comparação com os dados da banda TM3 os valores dos níveis de cinza para as três bandas apresentaram valores menores na banda TM4 e extremos na banda TM5.



Foto 5 – Ocorrência de microrrelevos, aspecto característico dos Vertissolos (mancha 4)

Apenas as manchas 13 e 17 (fotos 3 e 10) comportaram-se com valores superiores ao valor médio, quando comparado com a banda TM3 (foto 3), isto se deve porque a mancha 13 (foto 10) apresenta uma maior cobertura vegetal e a mancha 17, possivelmente devido à germinação das sementes remanescentes da colheita. Para a banda TM5, a média dos valores de pixels foi 223.



Foto 6 - Solonetz-Solodizado após cultivo do arroz (mancha 7).

A mancha 5 (foto 1) apresentou nível de cinza semelhante ao das bandas anteriores com valor bem abaixo do valor médio, devido a vegetação existente ser

bastante espaçada ocasionando uma diminuição da reflexão desses solos. A mancha 13 (foto 3), que apresentou valor inferiores ao da média nas bandas TM3 e TM4, novamente apresenta valor de nível de cinza inferior ao da média na banda TM5. A mancha 17 (foto 10), que apresentou valor de nível de cinza superior ao valor médio na banda TM4, tem seu valor diminuído na banda TM5 devido a presença de umidade.



Foto 7 - Fruticultura (coco) em Solo Aluvião afetado por sais (mancha 8).

As manchas 4, 12, 14 e 16 (fotos 5, 8, 13 e 9, respectivamente), apresentaram um padrão de reflectância com valores um pouco menores que o valor médio por conta da vegetação rasteira (manchas 4, 12 e 16 fotos 5, 8 e 9) e da vegetação aberta (mancha 14 foto 13) reduzindo assim a reflectância nesta faixa do espectro devido à absorção da radiação eletromagnética pela umidade presente na vegetação.



Foto 8 - Área preparada para o cultivo em solos Solonetz-Solodizados (mancha 12).

As manchas 7 e 11 (fotos 6 e 14) apresentaram valores de níveis de cinza um pouco acima ao da média, por apresentarem maiores áreas de solo exposto, uma vegetação rarefeita (mancha 11 foto 14) e vegetação aberta (mancha 7 foto 6).



Foto 9 - Aspecto típico da vegetação de um Solonetz-Solodizado (mancha 16).

Para as manchas 1 e 8 (fotos 4 e 7), quando comparadas com as bandas analisadas anteriormente, verifica-se que houve um aumento significativo dos valores de níveis de cinza. As manchas 3, 9 e 15 (fotos 15, 16 e 17), novamente apresentaram valores de níveis de cinza superiores as demais manchas, comprovando desta forma o estado de degradação em que se encontram estes solos sem nenhuma cobertura vegetal.



Foto 10 - Cultivo de arroz em Solos Solonetz-Solodizados (mancha 17 - Setor 4, Perímetro Irrigado de São Gonçalo).

Os pixels analisados representam as áreas de solo exposto dentro da mancha, onde as temperaturas foram tomadas e georeferenciadas, apesar

delas possuírem uma cobertura vegetal não homogênea, que na época apresentava-se verde.

Tabela 5.3- Leituras de Pixels das Imagens TM/Landsat-5 com data de passagem em 02/08/98 e de Temperaturas dos Solos com Termômetro Infravermelho.

Solos Afetados por Sais	Coordenadas		Temp. em °C (Jan/99) **	Níveis de Cinza				Solos
	Latitudes (s)	Longitudes (o)		TM3	TM4	TM5	TM6	
1	6° 46' 54"	38° 05' 45"	40,30	87	78	207	155	Aluvião Eutrófico sem vegetação+matéria orgânica
2	6° 47' 53"	38° 05' 51"	54,50	88	78	227	151	Aluvião Eutrófico sem vegetação
3	6° 48' 21"	38° 05' 47"	52,00	124	102	249	148	Aluvião Eutrófico sem vegetação+ erosão em sulco
4	6° 46' 47"	38° 07' 24"	50,80	87	78	184	154	Vertissolo + pedregosidade + vegetação rasteira
5	6° 47' 04"	38° 06' 55"	45,80	112	93	190	153	Solonetz-Solodizado + matéria orgânica
6	6° 47' 53"	38° 06' 59"	44,00	75	70	191	151	Aluvião Eutrófico + matéria orgânica
7	6° 47' 56"	38° 07' 11"	40,20	101	85	229	151	Solonetz-Solodizado após cultivo do arroz
8	6° 48' 17"	38° 07' 49"	41,60	66	67	187	151	Aluvião + fruticultura (coco) + vegetação rasteira
9	6° 48' 43"	38° 08' 48"	51,80	113	96	243	151	Solonetz-Solodizado sem vegetação
10	6° 49' 00"	38° 09' 39"	50,30	90	75	199	150	Aluvião Eutrófico + indícios de matéria orgânica
11	6° 49' 02"	38° 10' 25"	44,00	77	66	188	151	Solonetz-Solodizado sem vegetação
12	6° 45' 14"	38° 10' 31"	37,60	84	76	192	152	Aluvião Eutrófico + vegetação rasteira
13	6° 45' 14"	38° 11' 02"	39,20	80	76	185	152	Aluvião Eutrófico + matéria orgânica
14	6° 44' 41"	38° 11' 39"	41,70	76	68	185	152	Solonetz-Solodizado + matéria orgânica
15	6° 44' 18"	38° 13' 59"	41,50	114	97	197	142	Solonetz-Solodizado + vegetação rasteira + erosão
16	6° 43' 36"	38° 17' 30"	40,20	69	68	173	148	Solonetz-Solodizado + vegetação rasteira
17*	6° 49' 32"	38° 18' 35"	32,60	76	81	174	149	Solonetz-Solodizado após cultivo + umidade
Média				95	84	211	149	

* 17 - mancha pertencente ao setor 4 do Perímetro Irrigado de São Gonçalo.

** As temperaturas são as mesmas que as da Tabela 4.1. Não foram coletados dados de temperaturas na época do inverno.

As imagens do TM/Landsat-5 com data de passagem em 02/08/98¹ apresentaram as seguintes leituras de pixels: Na banda TM3, a média dos valores de pixels foi 95, sendo que as manchas 8 e 16 (fotos 7 e 9) apresentaram um padrão de reflectância de valores de níveis de cinza muito abaixo do valor médio por serem áreas onde a presença de vegetação arbustiva é abundante.



Foto 11 – Vista parcial de Solo Aluvião afetado por sais. Ao fundo, a Serra de Acauã (mancha 2)

As manchas 6, 11, 14 e 17 (fotos 2, 14, 13 e 10, respectivamente) também apresentaram níveis de cinza mais baixos, por apresentarem cobertos com a vegetação rasteira, a qual após o período chuvoso se encontra mais vigorosa, proporcionando desta forma uma diminuição da reflectância nesta faixa do espectro.

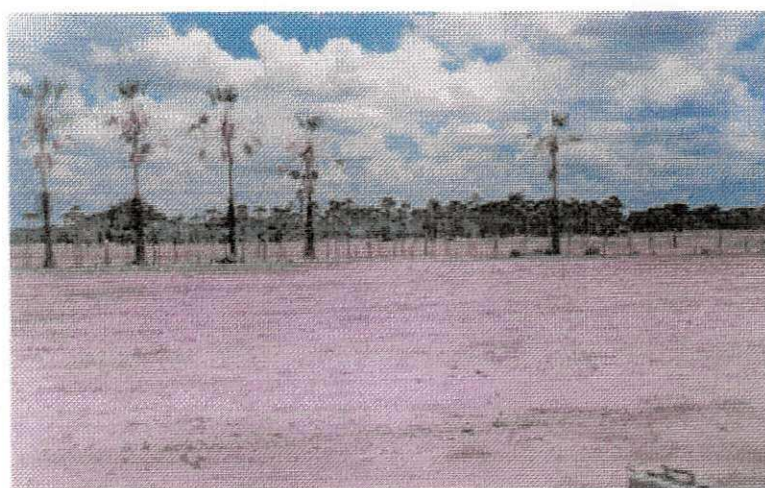


Foto 12 – Solo Aluvião afetado por sais preparado para o cultivo (mancha 10).

¹ Conforme o Laboratório de Recursos Hídricos e Sensoriamento Remoto da Paraíba, durante o mês de Julho do ano de 1998 praticamente não choveu na região, sendo que nos dias 15 e 31, ocorreram precipitações na área estudada com um valor médio de 27,3 mm, ocasionando desta forma redução da reflectância em algumas localidades da área estudada.

As manchas 1, 2, 4, 7, 10, 12 e 13 (fotos 4, 11, 5, 6, 12, 8 e 3, respectivamente), registraram valores de níveis de cinza muito próximos ao do valor médio, devido à existência de matéria orgânica nas suas superfícies, com maior retenção de umidade e o desenvolvimento de gramíneas.



Foto 13 – A foto mostra um solo Solonetz-Solodizado com algumas manchas de Vertissolos (mancha 14)

As manchas 3, 9 e 15 (fotos 15, 16 e 17) registraram valores bem acima do valor médio, pois são áreas que se encontram em estado acelerado de degradação. A mancha 5 (foto 1) também apresentou valor de nível de cinza alto, possivelmente devido à cobertura vegetal arbórea ser espaçada e sem gramíneas com grande parte de solo exposto.



Foto 14 - Solonetz-Solodizado com presença de sal cristalizado na superfície (mancha 11).

Na banda TM4, o valor médio dos níveis de cinza foi de 84 e as manchas 8, 11, 14 e 16 (fotos 7, 14, 13 e 9, respectivamente) novamente apresentaram um padrão de reflectância com valores de níveis de cinza bem abaixo do valor médio por conta da vegetação rasteira que nesta época se encontra totalmente verde,

favorecendo neste caso um decréscimo da reflectância na faixa do infravermelho próximo. As manchas 1, 2, 4, 6, 10, 11, 12 e 13 (fotos 4, 11, 5, 2, 12, 14, 8 e 3, respectivamente), apresentaram valores de níveis de cinza um pouco abaixo do valor médio.



Foto 15 - Solo Aluvião afetado por sais em processo acelerado de degradação (mancha 3).

As manchas 7 e 17 (fotos 6 e 10), apresentaram valores de níveis de cinza aproximados ao do valor médio, por conta da utilização destes com a cultura do arroz. Enquanto que as manchas 3, 5, 9 e 15 (fotos 15, 1, 16 e 17, respectivamente), novamente apresentaram valores de níveis de cinza bem acima do valor médio.



Foto 16 - Aspecto típico da paisagem de ocorrência de solos Solonetz-Solodizados (mancha 9)

Na banda TM5, a média dos valores de níveis de cinza foi de 211 e as manchas 16 e 17 (fotos 9 e 10) apresentaram níveis de cinza bem abaixo do valor médio. As manchas 4, 8, 11, 13 e 14 (fotos 5, 7, 14, 3 e 13, respectivamente), também

apresentaram valores de níveis de cinza inferiores ao da média, devido a vegetação se encontrar mais vigorosa nesta época do ano proporcionando desta forma uma redução da reflectância nesta faixa espectral. As manchas 5, 6, 10, 12 e 15 (fotos 1, 2, 12, 8 e 17, respectivamente), apresentaram níveis de cinza com valores um pouco abaixo do valor médio.



Foto 17 – Vista parcial da mancha 15 (área bastante degradada).

A mancha 1 (foto 4), registrou valor de nível de cinza muito próximo ao do valor médio, por apresentar uma cobertura vegetal rasteira com presença de matéria orgânica na sua superfície. As manchas 2 e 7 (fotos 11 e 6), por apresentarem-se expostas ou em estado inicial de degradação, apresentaram valores de níveis de cinza um pouco acima do valor médio. As manchas 3 e 9 (fotos 15 e 16), por serem áreas em estado avançado de degradação, novamente registraram valores de níveis de cinza acima do valor médio, diminuindo assim a reflectância destes solos na faixa do infravermelho médio. Na faixa do infravermelho termal (banda TM6), verifica-se que as manchas registraram valores de níveis de cinza com pouca variação, apresentando neste caso um padrão quase constante.

Comparando as imagens de Novembro de 1997 (estação seca) com as imagens de Agosto de 1998 (após estação chuvosa), observa-se que as imagens referentes ao período seco apresentam as áreas afetadas por sais com valores de níveis de cinza superiores aos do período após chuvas. Isto ocorre porque com o processo de evaporação, os sais contidos na solução do solo são precipitados na superfície, quando a água é perdida para a atmosfera pela

evaporação. O acúmulo de sais na superfície dos solos e a vegetação quase inexistente ocasionam um aumento da radiação eletromagnética refletida por estes solos em todas as bandas estudadas. No período após a estação chuvosa, os níveis de cinza apresentaram valores inferiores, devido que nesta época a concentração de sais diminuíram na superfície dos solos pela lixiviação dos sais para camadas inferiores.

Para correlacionar os resultados das leituras de pixels das áreas afetadas por sais com os das áreas não afetadas por sais, selecionaram-se pontos aleatórios destes últimos nas imagens e os resultados estão apresentados na tabela 5.4.

Tabela 5.4 - Leituras de Pixels da imagem TM/Landsat-5 com data de passagem em 03/11/97.

Solos não afetados por Sais	Coordenadas		Níveis de cinza			Solos
	Longitudes (o)	Latitudes (s)	TM3	TM4	TM5	
I	38° 05' 04"	6° 50' 19"	47	45	127	Litólico Eutrófico + vegetação nativa
II	38° 12' 02"	6° 42' 16"	48	46	128	Litólico Eutrófico + vegetação nativa
III	38° 11' 45"	6° 50' 46"	48	49	132	Litólico Eutrófico + vegetação nativa
IV	38° 13' 09"	6° 42' 27"	49	49	127	Litólico Eutrófico + vegetação nativa
V	38° 17' 05"	6° 50' 45"	48	53	127	Litólico Eutrófico + vegetação nativa
VI	38° 11' 18"	6° 42' 08"	44	42	108	Litólico Eutrófico + vegetação nativa
VII	38° 15' 41"	6° 51' 15"	86	67	173	Bruno Não-Cálcicos sem vegetação
VIII	38° 04' 31"	6° 50' 50"	56	56	151	Podzólico Vermelho Amarelo Eutrófico + vegetação nativa
IX	38° 09' 02"	6° 51' 47"	62	58	151	Podzólico Vermelho Amarelo Eutrófico + vegetação nativa
X	38° 04' 39"	6° 52' 13"	58	53	161	Podzólico Vermelho Amarelo Eutrófico + vegetação nativa
XI	38° 03' 25"	6° 50' 22"	51	50	140	Podzólico Vermelho Amarelo Eutrófico + vegetação nativa
XII	38° 19' 26"	6° 52' 10"	80	63	167	Bruno Não-Cálcicos sem vegetação
Média			65	55	141	

Os dados da tabela 5.4 mostram que os solos não afetados por sais apresentaram valores de níveis de cinza inferiores aos dos solos afetados por sais (ver tabelas 5.1 e 5.3). Esta diminuição do valor da reflectância está diretamente relacionada com a presença de vegetação que cobre estes solos. Somente os pontos VII e XII mostraram padrão anômalo, aproximando-se dos padrões dos solos afetados por sais, por caracterizarem áreas de solos expostos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS

6.1 Conclusões e Considerações Finais

Os resultados obtidos no presente trabalho permitem indicar as seguintes conclusões e considerações finais:

1. Dos 738,62 km² que constituem a área de estudo, verifica-se que 252,23 km², aproximadamente 34,15 % da área mapeada, apresentam-se com solos afetados por sais.
2. A análise das imagens do período seco e do período após as chuvas mostrou que as primeiras tem um poder de melhor discriminação dos solos afetados por sais por estes apresentarem um maior acúmulo de sais em suas superfícies, além de uma escassa cobertura vegetal
3. A integração do Sensoriamento Remoto com o Sistema de Informações Geográficas permitiu o cruzamento de dados obtidos da classificação da imagem orbital com os dados de bases cartográficas dentro de uma mesma escala.

4. A identificação dos solos afetados por sais nas imagens TM/Landsat-5 mostrou-se mais eficiente quando utilizou-se a transformação RGB das bandas TM3 e TM4 (realçadas) e TM5 (sem realce) e a transformação RGB da banda TM6 (realçada e original – no Vermelho e no Azul utilizou-se a banda TM6 realçada e no Verde a banda TM6 original).
5. Os solos afetados por sais e os solos arenosos expostos, são representados pela tonalidade de cinza claro nas bandas (TM3, TM4 e TM5) e pela cor ciano claro a ciano muito claro na transformação RGB. Esta semelhança da resposta espectral de um certo modo dificultou a separação entre eles. Esta similaridade espectral foi solucionada pela integração dos dados da banda TM6.
6. Considerando-se que o processo de salinização dos solos é dinâmico e que a quantidade de sais na superfície do solo varia também em função da época do ano, interpretações errôneas pode favorecer a de um determinado solo que pode ser considerado como solo não afetado por sais, quando na realidade ele o é.

6.2 Sugestões Para Trabalhos Futuros

A continuidade deste trabalho ou a consideração de novas abordagens que possam utilizá-lo como respaldo técnico poderia ser sintetizada através dos seguintes temas:

1. Extensão da aplicação da metodologia utilizada a áreas adjacentes a área de estudo, bem como a outras áreas com características semelhantes;
2. Utilização de dados de campo utilizando Radiômetro compatível com as imagens do TM/Landsat;
3. Uso de bandas termais em épocas diferentes;
4. Tomadas de Temperaturas de solo com Termômetro Infravermelho nas épocas chuvosa e seca respectivamente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADRIEN, P. M.; BAUMGARDNER, M. F.; BROWN, C. B. & PETERSON, J. B. **Characteristic Variations in Reflectance of Saline and Alkaline Soil of the Bolivian Altiplano.** Science. 198: 446-481 Dec. 1982. Purdue University.
- ALBUQUERQUE, J. P. T. **Os Recursos de Água Subterrânea do Trópico Semi-Árido do Estado da Paraíba.** UFPB. Campina Grande – PB. 1984. 195 p. (Tese de Mestrado).
- AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. **Manual of Remote Sensing.** Falls Church, VA, 1975. v.1.
- ASSAD, E. D. e SANO, E. E. **Sistemas de Informações Geográficas.** Aplicações na Agricultura. EMBRAPA, CPAC. Brasília-DF, 1993. p. 15-37.
- BALKEMA, A. H. **Remote Sensing application in agriculture and hidrology.** Edited by George Frayse, Ispra Establishment. Italy. Rotterdam, 1980, p. 12-21.
- BALKEMA, A. A.; BENSON, L. A.; FRAZEE, C. J.; WALTZ, F. A. **Analysis of remotely sensed data for detecting soil limitation (problems).** Conf. Mach. Process. Remotely Sensed Data-West. Lafayette, Indiana, U.S.A. 1980.
- BARRIOS, J. **Prevención de problemas de drenage y salinidad de suelos irrigados.** Cursos sobre operación y mantenimiento de perímetros irrigados. Juazeiro. Brasília: Convênio Minter/SUDENE/IICA, 1976. 23 P.

- BARROS, M. A. **Sistemas de Informações Geográficas**. Programa de Suporte Técnico à Gestão de Recursos Hídricos-ABEAS. Curso de Especialização em Sensoriamento Remoto e SIG. Modulo 7. Brasília-DF. 1998. 46p.
- BAUMGARDNER, M. F., KRISTOF, S.I. JOHANNSEN, C.J. et al. **Effects of organic matter on multiespectral properties of soils**. Proc. Ind. Acad. Sci., n. 79, p. 413-422. 1970.
- BAUMGARDNER, M. F.; LEAMER, W. R.; SHAY, J. R. **Remote Sensing techniques used in agriculture today**. Journal 4025. p. 14-18, 1977.
- BELAID, M. A., EDWARDS, G., JATON, A., THOMSON, K. P. B. e BEAULIEU, J. M. **Post-segmentation classification of images containing small agricultural fields**. Geocarto Internacional, 3:53-60, 1992.
- BELONOGOVA, I. N. & TOLCHEL'NIKOV, J. S. **On the dependence of spectral brightness of minerals on the degree of dispersion**. Ser. Geo., SSSR, 11:98-101, 1959.
- BERNARDO, S. **Manual de Irrigação**. 6 edição. Viçosa – MG: UFV, impr. Univ., 1995. 657 p. il.
- BINS, L.S., ERTHAL, G. J. e FONSECA, L. M. G. **Um método de classificação não-supervisionado por regiões**. In: Simpósio Brasileiro de Computação Gráfica e Processamento de Imagens, 5., Águas de Lindóia, 1992. Anais. São José dos Campos, INPE, 1992, v. 2, p. 65-68.
- BRASIL. **Ministério da Agricultura. Levantamento Exploratório - Reconhecimento dos Solos do Estado da Paraíba**. Rio de Janeiro, convênio MA/CONTAP/USAID/BRASIL, 1972. (Boletim DPFS-EPE-MA,15-Pedologia,8).

- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. **Projeto RADAMBRASIL**. Folhas SB 24/25 Jaguaribe/Natal; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1981. 744 p.
- BRAUN, O. P. G. **Geologia da Bacia do Rio do Peixe, Nordeste do Brasil**. Sudene. Recife. 1969. 23 p. il (inédito).
- COBLENTZ, W. W. **Investigations of the infrared spectra**. Washington, Coblenz Society, 1962. 145p.
- COLWELL, R. N. Applications of remote sensing in agriculture and forestry. In: **International Workshop on Earth Resources Survey System**. s.1., s. ed., 1969. v. 1. p. 67-90.
- COLWELL, R. N. **An Introduction Study of Earth Resources in the State of California Using Remote Sensing Technique**. In: Annual Progress Reporter. Berkeley, Space Science Lab. Uni. of California, May 1974. 1V.
- CORDEIRO, G. G. **Caracterização dos problemas de sais dos solos irrigados do Projeto São Gonçalo**. Universidade Federal da Paraíba - Departamento de Engenharia Civil. 73 p. 1977. (Tese de Mestrado).
- CORDEIRO, G. G.; BARRETO, A. C. N. **Levantamento das condições de salinidade e sodicidade do projeto de irrigação de São Gonçalo (2ª parte)**. Petrolina, EMBRAPA, 1988. 57 p.
- COSTA, W. D. **Geologia da bacia do Rio do Peixe – PB**. In: Relatório Preliminar dos Trabalhos de Mapeamento Geológico da Bacia do Rio do Peixe – PB. Sudene. Recife/PE. 1963. 06 p. (Mimeografada).
- DAELS, L. & ANTROP, M. **The extraction of soil informations from remote sensing documents**. Ghent, Belgium, 1977. p. 123-90. (Pedologie, 27).

- DANTAS, J. R. A.; CAULA, J. A. L. L.; NEVES, B. B. de B. e PEDROSA, I. L. **Mapa Geológico do Estado da Paraíba**; Texto explicativo. Campina Grande, CDRM, 134 p. 1982.
- DAKER, A. **A água na Agricultura**. São Paulo, Freitas Bastos, v. 2, 1984. 6ª ed. 453 p.
- DIEZ, J. A. P.; RAMIREZ, F. G. **Un nuevo sistema de detection salina en los distritos de Riego mediante imagens de los satelites LANDSAT**. In: **Seminário Internacional sobre el uso de los Sensores Remotos en el desarrollo de los paises**. Anais. 98 p. México, 1977
- DNOCS/MINTER/II CA. **Plano de operação e manutenção do projeto de irrigação de São Gonçalo**. São Gonçalo – PB. 1985.
- DNOCS/MINTER/II CA. **Diagnóstico do projeto de irrigação de São Gonçalo para a formulação de plano de recuperação e modernização**. São Gonçalo – PB. 1988.
- DWIVEDI, R. S. **Monitoring of salt-affected soils of the Indo-Gangetic alluvial plains using principal component analysis**. In: *International Journal of Remote Sensing*. Vol 17. No 10. 1995. p. 1907 - 1914.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária: **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos**. Manual de Métodos de Análises de Solo. Rio de Janeiro, 1996.
- EMEPA - Empresa Estadual de Pesquisas Agropecuária da Paraíba. **Mapa de Classes de Solo - Projeto Várzeas de Sousa**. Secretaria Extraordinária do Meio Ambiente dos Recursos Hídricos e Minerais. Secretaria da Agricultura, Irrigação e Abastecimento. Governo do Estado da Paraíba. João Pessoa - PB. Fevereiro, 1998. 94 p.

ENGESPAÇO. **Manual básico do Sistema Geográfico de Informações – SGI.** São Bernardo do Campo. ENGESPAÇO IND. E COM. LTDA, 1993. 152p

FAO. **Proteger y producir – conservación del suelo para el desarrollo.** 1984. 40 p.

FAO. **The state of food and agriculturae (SOFA)** 1993. Homepage da FAO na internet, 1997. 48p.

FATOR GIS. **O Que É Geoprocessamento?**
<http://www.fatorgis.com.br/geoproc/ajuda.htm>. 1999.

FIBGE – Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – Dir. Reg./R.D.G. 67/86. **Boletim de Serviço N° 1763** (suplemento). Ano XXXVIII Rio de Janeiro, 1989.

FORMAGGIO, A. R.; ALVES, D. S. & EIPHANIO, J. C. N. **Sistemas de Informações Geográficas na obtenção de mapas de aptidão agrícola e de taxa de adequação de uso das terras.** In: Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 1992. 16: 249-256.

GIRARD, C. M. Application of photointerpretation technique to the classification of agricultural soils, choice of the sensor, use of results. In: **Remote sensing application in agriculture and hydrology.** Rotterdam, 1980. p. 37-51.

GONZALEZ, R.C. e WINTZ, P. **Digital image processing.** 2 ed. Reading, Addison-Wesley, 1987. 503 p.

HOLANDA, J. S. **Manejo de solo salino-sódico na região do Baixo Açu, RN.** Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1996. 84p. (Tese de Doutorado).

HUNTINGTON, G. L.; THAYER, J.; BEGG, E. L.; HERBERT, I. W. & CLARK, J. K. **The use of ERTS-1 in identification and mapping of salt affected soils in California.** Chapter 10. The Department of soils and Plants Nutrition University of California. DAVIS. 1973.

IDRISI - **Student Manual**, The IDRISI Project. Clark University. Worcester - MA, 1992.

INPE. Projeto Educa SeReII - Capitais Brasileiras. **Ensino de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento para alunos de 2º e 3º graus.** <http://www.itid.inpe.br/selper/image/projeto/cdrom.htm>, 1997.

INPE. SPRING. **Manual do Usuário Versão 3.3.** DPI, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, SP. 1999. (www.dpi.inpe.br/spring/portugues/versao.html).

ISRAELSEN, O. W. & HANSEN, V. E. **Principios y aplicaciones del riego.** 2 ed. Barcelona, Revesté, 1975. 397 p.

KLESHNIN, A. F. & SHUL'GIN, I. A. **The optical properties of plants leaves.** Doklady, Akadencii Nauk, SSSR, 1959. v. 125. 1158p.

KOVDA, V.A., SZABOLCS, I. Modelling of soil salinization and alkalization. **Agrokemia és Talajtan**, n. 28, p. 1-208, 1979 (Supplementum).

LILLESAND, T. M; & KIEFER, R. W. **Remote Sensing and image interpretation.** 3 ed. New York, John Wiley & Sons. 1994. 750 p.

LIMA, J. R de. **Aplicação de Dados Orbitais no Estudo do Volume de Água nos Açudes Pilões e São Gonçalo, na Região Semi-árida da Paraíba, Brasil.** Campina Grande – PB. UFPB. 1995. (dissertação de mestrado)

- LOBO, F. L. L. **Caracterização espectral de solos afetados por sais da ilha de Assunção – PE com base nos dados do TM-LANDSAT-5.** Campina Grande – PB. UFPB. 1992. 84 p. (dissertação de mestrado).
- MASCARENHAS, N. D. D. e VELASCO, F. R. D. **Processamento Digital de Imagens.** São Paulo, Instituto de Matemática e Estatística - USP, 1984.
- MEDEIROS, J. S. **Desenvolvimento Metodológico para a Seleção de Alterações da Cobertura Vegetal Através da Análise Digital de Dados MSS LANDSAT.** NPE - 4123 - TDL/262. 1987.
- MILLAR, A. A. **Drenagem de terras agrícolas: Bases Agronômicas.** São Paulo: Editerra. 1989. 306 p.
- MILLAR, A. A. & CORDEIRO, G. G. **Caracterização dos problemas de sais dos setores de irrigação em operação do Projeto São Gonçalo.** Petrolina, 1977.
- MOREIRA, E. R. F. **Mesorregiões e Microrregiões da Paraíba: delimitação e caracterização .** João Pessoa. GLAPAN. 1989.
- MOREIRA, M. A. e ASSUNÇÃO, G. V. **Princípios básicos, metodológicos e aplicação de sensoriamento remoto na agricultura.** INPE. 3199 - MD/027. 1984. p.7.
- MYERS, V. I. **Remote Sensing applications in agriculture.** In: Manual of Remote Sensing. 2 ed. Virginia: American Society of Photogrammetry, 1983. V. 2, p. 2111 – 2228.
- MYERS, V.I.; BAUMGARDNER, M.F.; BOWDEN, L. W.; COLEMAN, V. B.; EDGERTON, A. T.; GAUSMAN, H. W.; HART, W. G.; HORTON, M. L.; HUDDLESTON, H. F.; JOHANNSEN, C. J.; JOHNSON, C. W.; KLINGEBIEL, A. A.; MALILA, W. A.; MARAIN, S. A.; ULABY, F. T.; SCHMER, F. A.&

- WESTIN, F. C. Crops and soils. In: REEVES, R. G.; ANSON, A. & LANDEN, D. **Manual of remote sensing**. Falls Church, Virginia, Am. Soc. of Photogrammetry, 1975, v. 2, cap. 22, p. 1715-813.
- NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION - NASA. **The Landsat Satellites: Unique National Assets**. USGS. 1999. http://landsat7.usgs.gov/landsat_sat.html
- NOAA. **Proceedings of the third earth resources technology satellite symposium**, 1984.
- NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e aplicações**. 2 ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher LTDA. 1992. 308 p.
- OBUKHOV, A. I. & ORLOV, D. C. **Spectral reflectivity on major soil groups and possibility of using diffuse reflection in soil investigations**. Pochvovedeniye, 2, 1964.
- PACHECO, R. A. Application of Remote Sensing to agricultural development in tropical contries. Fraysse, G. **Remote Sensing application in agriculture and hidrology**. Rotterdam, p. 299-308. 1980.
- PARAÍBA. Secretaria de Agricultura e Abastecimento. CEPA. **Zoneamento agropecuário do estado da Paraíba**. João Pessoa, 1978.
- PARAÍBA. Secretaria de Agricultura e Planejamento. CEPA. **Programa Estadual de Irrigação**. João Pessoa. 1980.
- PARAÍBA/SEPLAN/ATECEL. **Características Físico-Climáticas das bacias hidrográficas do Estado da Paraíba**. In: Plano Estadual e Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos, 1. Campina Grande. 1994. 22-25 p.

- PEREIRA, J. L. G., BATISTA, G. T. e ROBERTS, D. A. **Classificação da Cobertura da Terra na Região Amazônica Através de Classificação de Regiões em Imagens de Proporção de Componentes.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 9. 1998, Santos - SP. Anais...São José dos Campos: INPE/SELP, 1998. (CDROM).
- PINTO, S. A. F. **Sensoriamento Remoto e integração de dados aplicados no estudo da erosão dos solos: contribuição metodológica.** São Paulo: USP, 1991. (Tese de Doutorado).
- PIZARRO, F. **Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos.** Madrid: ed. Agrícola Espanola. 1985. 524 p.
- PONTES LINS, J. R. e MEDEIROS, A. N. **Mapeamento da cobertura florestal nativa lenhosa do Estado da Paraíba.** Desenvolvimento Florestal Integrado no Nordeste do Brasil. João Pessoa: PNUD / FAO / IBAMA / GOVERNO DA PARAÍBA, 1994. 45 p. il. (Documento de Campo nº 22).
- QUEIROZ, J. E. R. **Fundamentos de Sistemas de Informação Geográfica.** Programa de Suporte Técnico à Recursos Hídricos-ABEAS. Curso de Especialização em Sensoriamento Remoto e SIG. Módulo 9. Brasília-DF. 1996. 99p.
- QUEIROZ, J. E., GONÇALVES, A. C., SOUTO, J. S. e FOLEGATTI, M. V. **Avaliação e Monitoramento da Salinidade do Solo.** In: GHEYI, H. R.; QUEIROZ, J. E. e MEDEIROS, J. F. de. (eds). Simpósio " Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada". Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, pp, 69-108, 1997.
- RAMOS, C. R. L. **Classificação dos Solos no Semi-Árido Paraibano Através de Imagem MSS-Landsat.** Areia – PB. UFPB. 1983. 163 p. (dissertação de mestrado).

- RAO, B. R.M.; RAVI SANKAR, T.; DWIVEDI, R.S.; THAMMAPPA, S.S.; VENKATARATNAM, L.; SHARMA, R. C. & DAS, S. N. **Spectral behaviour of salt-affected soils**. In: *International Journal of Remote Sensing*. Vol 16. No 12. 1995. p. 2125 -2136.
- RICHARDS, D. A. **Remote sensing digital image analysis: an introduction**. Berlin, Springer Verlag, 1986. 281 p.
- RICHARDS, L. A. **Diagnóstico y reabilitación de suelos salinos y sódicos**. Washington, USA, 1954. 172 p. (Manual de Agricultura n- 60).
- ROSA, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. 2 ed. revisada. Uberlândia, ed. da Universidade Federal Uberlândia. 1992. 110 p.
- SANTOS, M. J. dos. **Levantamento de salinidade na parte Noroeste do Estado da Paraíba**. Campina Grande, DEAg/INPE. 1986.
- SILVA, B. B. **Estresse hídrico em algodoeiro herbáceo irrigado evidenciado pela termometria Infravermelha**. Campina Grande – PB. 1994. (tese de doutorado).
- SINGH, A. N. **Monitoring change in the extent of salt-affected soils in northern India**. In: *International Journal of Remote Sensing*. Vol 15. No 16. June 1994. p. 3173 - 3182.
- SOLOMON, S.I., KLOHN, W. **Application of remote sensing to assessment of water resources**. In: **Earth observation from space and management of planetary resources**. Paris, 1978.
- STAR, J. & ESTES J. **Geographic Information Systems: An Introduction**. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1990.

SUDENE. HIDROSERVICE. **Planejamento múltiplo da Bacia do Rio Piranhas.** São Paulo, Relatório HE-R-19-1968, 13 p.

SZABOLCS, I. Agronomical and ecological impact of irrigations on soil and water salinity. **Advances in Soil Science**, v.4, p. 189-218, 1986.

TEOTIA, H. S. **Generalized soil and land use distribution over a part NW India.** Belgim, Katholieke Universiteit te Leuven, 1978. (Thesis M.Sc).

TEOTIA, H. S. **Soil and land use studies over arid and semi-arid parts of NW and central India, based on the optical interpretation of Landsat imagery.** Belgium, Katholieke Universiteit te Leuven, 1981. (Thesis Ph.D.).

VERMA, K. S.; SAXENA, R. K.; BARTH WAL, A. K. & DESHMUKH, S. N. **Remote sensing technique for mapping salt affected soils.** In: International Journal of Remote Sensing. Volume 15. Number 9. June 1994. p. 1901 - 1914.

VITORELLO, I. Comportamento espectral de alvos naturais. In: **Manual de Sensoriamento Remoto com ênfase em Geologia.** CNPq - INPE, 1982. p. 45-56.