



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

**UTILIZAÇÃO DE MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO NA ANÁLISE DA
DEGRADAÇÃO AMBIENTAL DO MUNICÍPIO DE SOLEDADE, PB**

JORGE LUÍS DE GÓIS GONÇALVES

CAMPINA GRANDE - PB

JULHO - 2012

JORGE LUÍS DE GÓIS GONÇALVES
- GEÓGRAFO -

**UTILIZAÇÃO DE MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO NA ANÁLISE DA
DEGRADAÇÃO AMBIENTAL DO MUNICÍPIO DE SOLEDADE, PB**

Tese apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração em Irrigação e Drenagem do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Agrícola.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Irrigação e Drenagem

LINHA DE PESQUISA: Monitoramento e Controle de Deterioração na Agricultura

ORIENTADOR: PROF. DR. JOÃO MIGUEL DE MORAES NETO

Campina Grande - PB

JULHO - 2012



FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCEG

G 635u	<p>Gonçalves, Jorge Luís de Góis. Utilização de modelos digitais de elevação na análise da degradação ambiental no município de Soledade, PB / Jorge Luís de Góis Gonçalves– Campina Grande, 2012. 109 f. : il.</p> <p>Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.</p> <p>Orientador: Prof. Dr. João Miguel de Moraes Neto.</p> <p>.....Referências. 1. Geotecnologia. 2. Sensoriamento Remoto. 3. SIG. 4. Degradação Ambiental, 5. Semiárido, 6. NDVI. I. Título</p> <p style="text-align: right;">CDU: 528.8(043)</p>
--------	---



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA



PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA TESE

JORGE LUIS DE GÓIS GONÇALVES

**UTILIZAÇÃO DE MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO NA ANÁLISE DA
DEGRADAÇÃO AMBIENTAL DO MUNICÍPIO DE SOLEDADE, PB**

BANCA EXAMINADORA



Dr. João Miguel de Moraes Neto
Orientador (UAEA/CTRN/UFCC)

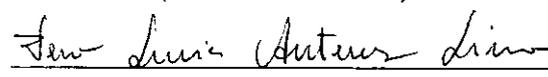
PARECER

APROVADO



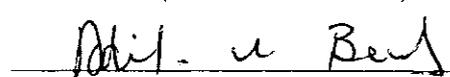
Dr.ª Maria Sallydelândia Sobral de Farias
Examinadora (UAEA/CTRN/UFCC)

APROVADO



Dr.ª Vera Lúcia Antunes de Lima
Examinadora (UAEA/CTRN/UFCC)

APROVADO



Dr. Adilson David de Barros
Examinador (UAEA/CTRN/UFCC)

APROVADO



Dr. Suenildo Josémo Costa Oliveira
Examinador (UEPB)

APROVADO

JULHO – 2012

A DEUS

A minha amada esposa, Daniella Karla de Oliveira Silva, e aos meus queridos filhos, Jordan Aaron de Oliveira Gonçalves e Adhalida Zaira de Oliveira Gonçalves, minha razão de viver.

Aos meus eternos pais, Luiz Gonçalves dos Santos e Maria de Góis Gonçalves, pelos ensinamentos e lições de vida.

Aos meus irmãos, George Luís, Verônica de Góis e Mônica de Góis.

Aos meus avós (*in memoriam*), tios, primos e amigos.

Aos meus sogros Davi Juvino da Silva e Ana Amélia de Oliveira Silva

Ao professor João Miguel de Moraes Neto.

A Professora Vera Lúcia Antunes de Lima.

Ao amigo Paulo Roberto Megna Francisco, pelo apoio e força.

DEDICO ESTE TRABALHO

INFORMAÇÃO DE ARQUIVO

AGRADECIMENTOS

A **DEUS**, por estar sempre presente em todos os momentos de minha vida, não só nos momentos de tristeza, mas também nos momentos felizes, tornando, assim, possível a realização deste trabalho;

Aos Professores João Miguel de Moraes Neto (Orientador) e à professora Vera Lúcia Antunes de Lima, pelas orientações, ensinamentos, apoio, dedicação, profissionalismo, lições de vida e não somente pela amizade, mas pelo relacionamento paterno;

A todos os professores do CTRN, pelos ensinamentos valiosos à minha formação profissional, e em especial, aos do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola: Josivanda Palmeira Gomes, Pedro Dantas Fernandes, Salidelândia e Carlos Alberto Vieira de Azevedo;

Ao Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Prof. Dermeval Araújo Furtado, pelo apoio dispensado;

A minha querida esposa, Daniella Karla de Oliveira Silva, por ter sempre palavras de conforto, de apoio e estímulo, quando necessário;

Aos meus queridos filhos, Jordan Aaron de Oliveira Gonçalves e Adhalida Zaira de Oliveira Gonçalves, pela compreensão e apoio;

Aos meus pais, Luiz Gonçalves dos Santos e Maria de Góis Gonçalves pelo constante estímulo, apoio e ajuda;

Aos meus irmãos, pelo encorajamento e solidariedade diária;

Aos meus sogros Davi Juvino da Silva e Ana Amélia de Oliveira Silva, pelo apoio constante;

Ao amigo Paulo Roberto Megna Francisco, pela força e apoio dados nas horas mais difíceis;

Aos demais membros de minha família, pelo apoio recebido;

Aos Amigos e contemporâneos de curso;

Aos funcionários do CTRN, pela ajuda prestada no decorrer do curso, ao pessoal da secretaria do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola;

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE TABELAS.....	xi
RESUMO.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	3
2.1. Objetivo geral.....	3
2.2. Objetivos específicos.....	3
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
3.1. Degradação ambiental.....	4
3.2. Classificações técnicas.....	9
3.2.1 Potencial de uso do solo.....	10
3.2.2 Aptidão agrícola das terras.....	10
3.2.3 Sistema brasileiro de avaliação de terras.....	12
3.2.3.1. Níveis de manejo considerados.....	13
3.2.3.2. Grupos e aptidão agrícola.....	14
3.2.3.3. Classes de aptidão agrícola.....	15
3.2.3.4. Viabilidade de melhoramento.....	17
3.2.4 Capacidade de uso.....	17
3.2.4.1. Grupos de capacidade de uso.....	18
3.2.4.2. Classes de capacidade de uso.....	18
3.2.4.3. Subclasses de capacidade de uso.....	20
3.2.4.4. Unidades de capacidade de uso.....	21
3.3. Shuttle Radar Topography Mission.....	22
3.4. Modelos digitais de elevação.....	23
3.5. Sensoriamento remoto e geoprocessamento.....	24
3.6. NDVI e degradação ambiental.....	28
3.7. Software ERDAS.....	28
4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	30
4.1. Descrição da área de estudo.....	30
4.1.1. Clima.....	31
4.1.2. Região geográfica e uso da terra.....	32
4.1.3. Geologia.....	34
4.1.4. Geomorfologia e relevo.....	36
4.1.5. Solos.....	37
4.1.6. Vegetação.....	46
4.1.7. Classes de capacidade de uso das terras.....	48
4.1.7.1. Mapa de capacidade de uso do solo.....	51
4.1.8. Aptidão agrícola.....	52
5. MATERIAL E MÉTODOS.....	54
5.1. Material básico.....	54
5.2. Equipamentos e programas.....	54

5.3. Metodologia.....	55
5.3.1. Coleta de dados.....	55
5.3.2. Base de dados.....	56
5.3.3. Curvas de nível e mapa de declividade.....	56
5.3.4. Mapa geológico.....	57
5.3.5. Mapa de solos.....	57
5.3.6. Mapa de capacidade de uso das terras.....	57
5.3.7. Mapa de uso atual e cobertura vegetal.....	57
5.3.8. Mapa de aptidão agrícola.....	58
5.3.9. Processamento das imagens e geração do índice de vegetação.....	58
5.3.9.1. Classificação de padrões de imagens.....	61
5.3.9.2. Mapas de índice de vegetação.....	62
5.3.9.3. Mapa de degradação ambiental.....	62
5.3.9.4. Mapa de distribuição da vegetação.....	63
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	64
6.1. Análise da pluviosidade nos anos de 1987, 1996, 2009 e 2010.....	64
6.1.1. Pluviosidade na época úmida.....	64
6.1.2. Pluviosidade na época seca.....	65
6.2. Análise da produção agrícola.....	67
6.3. Análise da pecuária.....	70
6.4. Mapa de declividade e curvas de nível.....	72
6.5. Mapas de drenagem.....	73
6.6. Mapas de cobertura vegetal e uso da terra.....	74
6.6.1. Período úmido.....	74
6.6.2. Período seco.....	78
6.6.3. Análise estatística das imagens-índice.....	81
6.7. Mapas de degradação ambiental.....	82
6.8. Análise da degradação ambiental para as diferentes classes de declividade.....	86
7. CONCLUSÕES.....	99
8. REFERÊNCIAS.....	101

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Áreas de risco à degradação e áreas afetadas por processos de desertificação no Brasil. Fonte: MMA (2007).....	7
Figura 2. Simbologia correspondente às classes de aptidão das terras.....	16
Figura 3. Exemplo de compartimentos de terras, segundo as classes de capacidade de uso.	19
Figura 4. Alternativa de utilização das terras, segundo as classes de capacidade de uso.....	20
Figura 5. Esquema dos grupos, classes, subclasses e unidades de capacidade de uso.	21
Figura 6. Shuttle Radar Topography Mission.....	23
Figura 7. Superfície e malha triangular.....	24
Figura 8. Imagem do satélite Landsat 5.....	25
Figura 9. Regiões do espectro electromagnético.....	26
Figura 10. Mapa de localização da área de estudo.....	30
Figura 11. Mapa das bacias hidrográficas do estado da Paraíba.....	31
Figura 12. Mapa de tipos de climas do estado da Paraíba, segundo classificação de Köppen.	32
Figura 13. Regiões geográficas do estado da Paraíba.....	33
Figura 14. Mapa geológico do estado da Paraíba.....	34
Figura 15. Mapa geológico da área de estudo.....	35
Figura 16. Mapa de geomorfologia do estado da Paraíba. Fonte. PARAÍBA (2006).	36
Figura 17. Mapa de classes de declividade da área de estudo.	37
Figura 17. Mapa de solos do estado da Paraíba.....	38
Figura 19. Mapa de solos da área de estudo.....	45
Figura 20. Mapa de vegetação do estado da Paraíba.....	47
Figura 21. Mapa de uso atual da área de estudo.....	48
Figura 22. Mapa de classes de capacidade de uso estado da Paraíba.....	49
Figura 23. Mapa de classes de capacidade de uso das terras da área de estudo.....	50
Figura 24. Mapa de classes de capacidade de uso do solo da área de estudo.....	51
Figura 25. Mapa de aptidão agrícola da área de estudo.....	53
Figura 26. Fluxograma de trabalho.....	55
Figura 27. Pluviosidade de 1987.....	65
Figura 28. Pluviosidade de 2010.....	65
Figura 29. Pluviosidade de 1996.....	66
Figura 30. Pluviosidade de 2009.....	66
Figura 31. Área plantada com sisal (km ²).....	68
Figura 32. Área plantada com algodão herbáceo (km ²).....	68
Figura 33. Área plantada com feijão em grãos (km ²).....	69
Figura 34. Área plantada com milho em grão (km ²).....	69
Figura 35. Área plantada com mandioca (km ²).....	70
Figura 36. Rebanho bovino (cabeças).....	71
Figura 37. Rebanho caprino (cabeças).....	72
Figura 38. Avicultura (galinhas/frangos).....	72
Figura 39. Mapa das curvas de nível da área de estudo.....	73
Figura 40. Mapa de drenagem do município de Soledade.....	74
Figura 41. Mapa de cobertura vegetal do município de Soledade-maio de 1987.....	75
Figura 42. Mapa de cobertura vegetal do município de Soledade-maio de 2010.....	76
Figura 43. Casa abandonada na área de estudo.....	77
Figura 44. Mapa de cobertura vegetal do município de Soledade-novembro de 1996.....	78

Figura 45. Mapa de cobertura vegetal do município de Soledade-outubro de 2009.....	79
Figura 46. Terras sem atividade agrícola na área de estudo.....	80
Figura 47. Carro-pipa transportando água para moradores da zona rural do município.	81
Figura 48. Mapa de degradação da época úmida.	83
Figura 49. Área degradada em relevo com declividade ligeira a moderada.....	84
Figura 50. Área degradada em relevo com declividade nula.	84
Figura 51. Área degradada em relevo com declividade nula.	85
Figura 52. Mapa de degradação da época seca.....	86
Figura 53. Mapa de distribuição da vegetação na declividade.....	87
Figura 54. Vegetação densa em relevo com declividade forte e extremamente forte.	88
Figura 55. Vegetação esparsa/rala em relevo com declividade nula a ligeira.	89
Figura 56. Vegetação densa em relevo com declividade nula.....	89
Figura 57. Vegetação densa em relevo com declividade nula a ligeira.....	90
Figura 58. Vegetação densa em relevo com declividade nula.....	91
Figura 59. Vegetação de transição em relevo com declividade ligeira.....	92
Figura 60. Vegetação esparsa em relevo com declividade ligeira.	93
Figura 61. Vegetação esparsa em relevo com declividade ligeira.	94
Figura 62. Vegetação rala em relevo com declividade ligeira.....	95
Figura 63. Vegetação rala em relevo com declividade ligeira.	95
Figura 64. Solo exposto em relevo com declividade ligeira a moderada.	96
Figura 65. Solo exposto em relevo com declividade ligeira a moderada.....	97
Figura 66. Solo exposto em relevo com declividade nula.....	98

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Índice de aridez no contexto mundial.....	4
Tabela 2. Áreas afetadas pela degradação.....	5
Tabela 3. Descrição das bandas do Mapeador Temático (TM) do Landsat 5, com os correspondentes intervalos de comprimento de onda, coeficientes de calibração (radiância mínima – a e máxima – b) e irradiâncias espectrais no topo da atmosfera (TOA).....	59
Tabela 4. Valores de NDVI utilizados na seleção de classes de cobertura vegetal.....	61
Tabela 5. Valores de NDVI utilizados na seleção de classes de cobertura vegetal.....	61
Tabela 6. Parâmetros de composição do LEGAL.....	62
Tabela 7. Parâmetros de composição do LEGAL.....	63
Tabela 8. Distribuição da pluviosidade no município de Soledade.....	64
Tabela 9. Principais culturas do município em km ²	67
Tabela 10. Principais rebanhos/avicultura do município.....	71
Tabela 11. Áreas das classes de vegetação da época úmida.....	77
Tabela 12. Área das Classes de vegetação da época seca.....	79
Tabela 13. Estatística descritiva.....	82
Tabela 14. Classes de degradação da época úmida.....	83
Tabela 15. Classes de degradação da época seca.....	86
Tabela 16. Distribuição da vegetação pela declividade.....	91

UTILIZAÇÃO DE MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO NA ANÁLISE DA DEGRADAÇÃO AMBIENTAL DO MUNICÍPIO DE SOLEDADE, PB

RESUMO

Considerando a vegetação um parâmetro indicador da qualidade ambiental, este trabalho objetiva através de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, mapear a cobertura vegetal e o uso da terra do município de Soledade-PB, a partir dos índices espectrais, e avaliar a distribuição da vegetação nas classes de declividade, tendo como subsidio a análise de degradação, utilizando a linguagem algébrica e a modelagem. Para a análise foi utilizado o programa ERDAS, onde foram realizadas as correções radiométrica e atmosférica das imagens adquiridas no sobprograma Model Maker. No SPRING as imagens do satélite LANDSAT 5-TM, já corrigidas, foram utilizadas para gerar o NDVI e cruzadas, através de um LEGAL com as imagens SRTM, para gerar o mapa de distribuição da vegetação pela declividade. Foram gerados gráficos de pluviosidade no período da coleta das imagens, a partir de dados da AESA, como também foram gerados gráficos relativos à produção na agricultura e na pecuária a partir de dados do IBGE. Pode-se concluir que houve uma recuperação da vegetação local, pois, na classe de vegetação esparsa, transição e densa constatou-se um aumento de 20,53%, 33,46% e 6,06% respectivamente, e que as classes de vegetação estão distribuídas na sua maioria nas classes de declividade nula e ligeira, totalizando 530,16 km², que corresponde a 94,53% da área total, e as classes de declividade moderada, forte, muito forte e extremamente forte totalizam 3,7 km² e ocorrem nos solos Neossolos Litólicos Eutróficos. Na avaliação da degradação, houve uma recuperação da vegetação em 76,06% da área. Nas classes de declividade muito forte e extremamente forte não existe ocorrência de solo exposto; são áreas abandonadas pela agropecuária, devido principalmente à ocorrência de solos rasos e afloramentos rochosos, classificados com classe de capacidade de uso VIII. A vegetação densa ocorre nas classes de declividade mais fortes e abrange uma maior área nas declividades nula e ligeira, onde ocorrem os Neossolos Quartzarênicos órtico típico, associado ao Planossolo Nátrico órtico. A algaroba (*Prosopis Juliflora*) é a principal espécie vegetal constante das áreas de declividades nula e ligeira. Ao longo dos anos, houve uma redução na área utilizada em função da agricultura com a cultura do sisal e do algodão, e um aumento significativo do rebanho de caprinos, em função da pecuária extensiva e semi-extensiva, e da avicultura.

Palavras Chave: geotecnologia, sensoriamento remoto, SIG, degradação ambiental, semiárido, NDVI.

USE OF DIGITAL ELEVATION MODELS IN THE ANALYSIS OF THE MUNICIPALITY OF ENVIRONMENTAL DEGRADATION SOLEDADE, PB

ABSTRACT

Considering the vegetation, an indicator of environmental quality parameters, this study aimed to using GIS techniques and remote sensing to map land cover and land use in the municipality of Soledad, from the spectral indices and evaluate the distribution of vegetation in slope classes as subsidy degradation analysis using algebraic language and modeling. For analysis we used the program ERDAS radiometric and atmospheric correction of images acquired in sobprogram Model Maker in SPRING satellite images LANDSAT 5-TM has been used to generate corrected NDVI and crossed through a LEGAL with the SRTM images to generate map of distribution of vegetation for slope. We generated graphs of rainfall during the collection of images from the data of the AESA, as were also generated graphs relating to agricultural production and livestock from the IBGE. As a result we obtained maps of vegetation and the distribution map of vegetation in slope. It can be concluded that there was a recovery of the local vegetation, as the class of sparse vegetation, dense transition and found an increase of 20,53%, 33,46% and 6,06% respectively, the vegetation classes are distributed in Most classes of zero slope and slight totaling 530,16 km² accounting for 94,53% of the total area, and slope classes moderate, strong, very strong and very strong totaling 3,7 km² and occur in Entisols Soils Eutrophic . In assessing the degradation of the vegetation was recovered in 76,06% area. In slope classes very strong and extremely strong there occurrence of exposed soil are areas abandoned by agriculture, mainly due to the occurrence of shallow soils and rocky outcrops classified as class VIII usability. The dense vegetation occurs on the slope classes stronger and covers a larger area in the nil and slight slopes, where there were the typical Orthic Quartzipsamments associated Planossolo Nátrico orthic. The mesquite (*Prosopis juliflora*) is the main plant species that occurs in the areas of zero and a slight slope. . Over the years there was a reduction in the area used for agriculture with the cultivation of sisal and cotton and a significant increase in livestock semi-extensive and extensive flock of goats and poultry.

Keywords: geotechnology, remote sensing, GIS, environmental degradation, semiarid, NDVI.

1. INTRODUÇÃO

O processo de degradação das terras é considerado um problema global. Na região semiárida do Brasil, os problemas econômicos e sociais são recorrentes, com danos ambientais impactantes e degradantes, causando enormes prejuízos econômicos aos municípios, estados e principalmente, ao meio ambiente.

Na Paraíba os impactos ambientais foram intensificados ao longo dos anos e estão relacionados, em geral, às formas com que tem se processado o desenvolvimento da agropecuária tradicional, envolvendo atividades extrativistas e urbanização acelerada, pressionando a ocupação das terras a qualquer custo, sem ter ocorrido uma classificação adequada do seu uso potencial. Este quadro faz com que o ambiente e a sociedade fiquem mais vulneráveis às ameaças tanto externas quanto internas, em termos econômicos, políticos, sociais e climáticos, independentes de sua magnitude.

Da utilização criteriosa dos recursos naturais e de seu conhecimento dependem a segurança e o bem-estar das gerações presentes e futuras. Tal critério e conhecimento resultarão da realização de estudos e pesquisas multidisciplinares, que, se bem conduzidas, serão capazes de demonstrar a real capacidade dos mesmos, bem como apontar as potencialidades de cada uma, além de buscar uma política sustentável adequada.

Na microrregião geográfica do Curimataú Oriental Paraibano, mais precisamente no município de Soledade, as atividades extrativistas minerais e vegetais, além da agropecuária, contribuem para a intensificação dos processos decorrentes da ação antrópica, tendo como resultante a degradação das terras. A este fato somam-se ainda as condições locais reinantes de clima semiárido e dos solos rasos, com presença de cascalhos e afloramentos rochosos, além de altas taxas de evapotranspiração, o que contribui para agravar mais a situação.

Por se tratar de um Estado onde a agricultura é fator importante para sua economia, a Paraíba depende basicamente de seus recursos naturais e de seu clima para o desenvolvimento da agropecuária regional. No entanto, por se tratar de uma área problemática em relação ao manejo e conservação de seus recursos naturais, necessita de estudos que venham a proporcionar um melhor conhecimento da paisagem e dos fatores que nela atuam, subsidiando soluções para vários problemas de cunho antrópico existentes na área. Assim, torna-se imprescindível o inventário e o monitoramento dos recursos vegetacionais, através do NDVI, e uma análise da influência do clima sobre eles, de tal forma que se tenha uma visão de

sustentabilidade no uso dos mesmos.

Avanços tecnológicos tornaram disponíveis grandes conjuntos de dados topográficos levantados por plataformas orbitais, como o programa Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM), que gerou uma coleção global de dados altimétricos, com perspectiva de importantes impactos benéficos para estudos do meio físico (Carvalho, 2007).

Deve-se levar em conta que estes são dados remotos e que, como tais, trazem consigo as limitações intrínsecas do sistema. Seu uso requer, portanto, o desenvolvimento de processos de preparação e tratamento para o atendimento à modelagem do relevo por Sistema de Informação Geográfica. Face ao contexto, propõe-se a contribuir para o estudo da modelagem do relevo, através da inserção de dados SRTM neste estudo, e que será capaz de fornecer dados voltados para o reconhecimento e a compreensão dos processos de degradação/regeneração ambiental que ocorreram no município de Soledade.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Utilizar modelos digitais de elevação e imagens do satélite Landsat 5 TM como ferramentas para o estudo da degradação ambiental no município de Soledade.

2.2. Objetivos Específicos

- Gerar mapa de curvas de nível do município de Soledade com isolinhas de 10 em 10 metros.
- Usar as informações da capacidade de uso e da aptidão agrícola dos solos da área de estudo, como apoio para identificar indicadores de degradação ambiental;
- Georreferenciar áreas de degradação ambiental;
- Identificar e quantificar a cobertura vegetal, através de imagens de satélite, utilizando o NDVI (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada) para monitoramento ambiental;
- Correlacionar a declividade (relevo) com a degradação ambiental da área de estudo;
- Elaborar mapas temáticos detalhados na escala de 1:50000, com informações atualizadas da degradação ambiental da área de estudo;
- Elaborar mapa temático na escala de 1:50000 do cruzamento das imagens SRTM com o NDVI da área de estudo;
- Estudar da evolução da produção de culturas industriais, subsistência e pecuária no período de 1980 a 2010, no município de Soledade, PB.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Degradação ambiental

A degradação ambiental é um processo de degeneração do meio ambiente, em que as alterações biofísicas do meio provocam alterações na fauna e flora, com eventual perda da biodiversidade. A degradação ambiental é normalmente associada à ação antrópica, Contudo, no decorrer da evolução de um ecossistema, pode ocorrer degradação ambiental por meios naturais (MMA, 2007).

As áreas suscetíveis à degradação e à seca, semiáridas e subsumidas secas, correspondem a 33% da superfície terrestre, com 51.720.000 km², onde vivem mais de 2,6 bilhões de pessoas de 110 países, representando 42% da população total do planeta, sendo responsáveis por quase 22% da produção mundial de alimentos. Trata-se de áreas importantes pela extensão de terras, por abrigarem alto contingente populacional e pelo potencial econômico, assim como pelos desequilíbrios ambientais que podem provocar, quando são manejadas de forma errada. Contudo, uma série de fatores históricos e estruturais vem condicionando os padrões de organização social e exploração dos recursos naturais nestas áreas, provocando perdas econômicas e ambientais significativas, destruindo a produtividade da terra e contribuindo para o aumento da pobreza (MMA, 2007).

Tais áreas, classificadas segundo os pressupostos da Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação (UNCCD), são aquelas que se encontram em clima árido, semiárido e subsumido seco, são definidas a partir do Índice de Aridez (razão entre a Precipitação e a Evapotranspiração Potencial), de acordo com a Tabela 1 e com base no sistema climático de Thornthwaite, o qual estabelece as seguintes classes climáticas (MMA, 2007):

Tabela 1. Índice de aridez no contexto mundial

Classes Climáticas	Índice de Aridez
Hiperárido	< 0,03
Árido	0,03 - 0,20
Semiárido	0,21 - 0,50
Subsumido seco	0,51 - 0,65
Subsumido e úmido	> 0,65

Fonte: UNEP (1991).

No que diz respeito à degradação das terras, existem diferenças nas avaliações. Segundo dados do International Centre for Arid and Semi-Arid Land Studies - ICASALS, Universidade do Texas, o total de terras degradadas seria de 69,0 % de todas as terras áridas do mundo. Este dado inclui as áreas onde existe alguma degradação da vegetação sem a existência de degradação de solos. Dados do International Soil Reference and Information Centre-ISRIC concluem que 19,5 % das regiões semiáridas do mundo estariam sofrendo algum tipo de degradação.

A diferença nos números se deve às diferenças entre as metodologias utilizadas. No entanto, o PNUMA (Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente) optou pelo número apontado pelo ICASAL, devido ao fato de que a metodologia do ISRIC não considerou as áreas apontadas como de degradação vegetal, porém sem degradação de solos. Na Tabela 2 observamos os dados resultantes das duas metodologias e suas respectivas percentagens em relação ao total de terras áridas do mundo (Schenkel & Matalo Junior, 2003).

Tabela 2. Áreas afetadas pela degradação

Áreas Degradadas	km ²	% do Total de Terras Secas
1 - Áreas degradadas por irrigação	430.000	0,8
2 - Áreas degradadas por agricultura de sequeiro	2.160.000	4,1
3 - Áreas degradadas por pecuária (solos e vegetação degradados)	7.570.000	14,6
4 - Áreas secas com degradação de solos induzidas pelo homem (ISRIC, 1+2+3)	10.160.000	19,5
5 - Degradação das terras de pastoreio (degradação de vegetação sem degradação de solos)-ICASALS	25.760.000	50,0
6 - Total das áreas secas degradadas (4+5)	35.920.000	69,0

Fonte: UNEP (1991).

A América Latina e o Caribe têm uma superfície de 20,18 milhões de km², dos quais uns 25% correspondem a terras áridas, semiáridas e subúmidas secas. Desse total, por sua vez, 75%, cerca de 378 milhões de hectares, apresentam sérios problemas de degradação. As estatísticas revelam que entre 27% e 43% do território da Bolívia, Chile Equador e Peru estão em risco de desertificação, o que afeta uma parte muito significativa de sua população, como é o caso da Bolívia, onde seis milhões de pessoas, 77% da população do país, vivem em áreas

afetadas; no Uruguai, estima-se que mais de 80% da superfície agrícola do país sofrem diversos graus de erosão. Na Colômbia, esta proporção fica em torno de 48% de seu território. Em áreas desertificadas, é possível observar altos índices de pobreza em proporções significativamente maiores do que em escala mundial e quem habita estas terras enfrentam geralmente grandes restrições biofísicas e econômicas, tais como: falta de acesso à terra, à água, ao capital, aos mercados e à tecnologia moderna. Estas restrições favorecem a processos migratórios, que são característicos das áreas áridas, semiáridas, terras degradadas, e fazem parte de um ciclo de esgotamento dos recursos naturais. Nestas condições é comum os produtores das áreas afetadas por este processo intensificarem a exploração dos recursos naturais, contribuindo, assim, para aumentar a desertificação dos ecossistemas, o que resulta em mais pobreza e migração, das quais advêm profundas seqüelas nas estruturas sociais e no núcleo familiar (Morales & Parada, 2005).

O Nordeste brasileiro, compreende os estados do Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia, abrange uma área de 1.548.672km². Se considerarmos o território do estado de Minas Gerais, atingido pelo Polígono das Secas tem-se uma superfície de 1.662.947km², que corresponde ao espaço conhecido como o Nordeste da SUDENE. O semiárido brasileiro foi recentemente ampliado em mais 74.246,40 km², com a inclusão de terras do noroeste do Espírito Santo (24.432,70 km²) e de novas áreas de Minas Gerais, agora situadas no Vale do Jequitinhonha (49.813,70 km²), cobrindo, pois, uma superfície de 1.790.701,40 km². Neste espaço do território brasileiro, têm sido diagnosticadas terras em processos de degradação ou com algum tipo de comprometimento, que totalizam 1.340.863 km², abrangem 1.488 municípios e atingem diretamente 30 milhões de habitantes, mais de 18,75% da população. Desse total, 180.000 km² se encontram em processo grave e muito grave de desertificação. O mapa das Áreas de risco à desertificação e áreas afetadas por processos de desertificação no Brasil (Figura 1), elaborado a partir de trabalho realizado pelo Centro de Sensoriamento Remoto do IBAMA, com base em trabalhos de pesquisadores da UFPI, classificou a área em três níveis de degradação muito grave, grave e moderada (MMA, 2007).



Figura 1. Áreas de risco à degradação e áreas afetadas por processos de desertificação na região Nordeste do Brasil. Fonte: MMA (2007).

O processo de desertificação se manifesta de duas maneiras diferentes: i) difusa no território, abrangendo diferentes níveis de degradação dos solos, da vegetação e dos recursos hídricos; ii) concentrada em pequenas porções do território, porém com intensa degradação dos recursos da terra. Os estudos disponíveis indicam que a área afetada de forma muito grave é de 98.595 km², 10% do semiárido, e as áreas afetadas de forma grave atingem 81.870 km², que correspondem a 8% do território. Deve-se acrescentar que as demais áreas sujeitas ao antropismo, 393.897 km², sofrem degradação moderada (IICA, 2011).

Os processos de desertificação nos espaços semiáridos brasileiro começaram a ser identificados, formalmente, nos anos 1970. Estudo pioneiro realizado naquela época pelo ecólogo pernambucano, João Vasconcelos Sobrinho, informava que ali estaria a surgir um grande deserto com todas as características ecológicas que conduziram à formação dos grandes desertos hoje existentes em outras regiões do globo. Vale ressaltar que o semiárido nordestino possui uma área de 982.563,3 Km² abrangendo os oito estados da região com uma área percentual total de 86,48%. A exploração inadequada dos solos fez com que 68% dessas terras estejam em processo de desertificação.

O Estado da Paraíba possui uma extensão territorial de 56.439,84 km², correspondendo a 3,63% da região Nordeste. Está situado entre as latitudes de 06°00'11,1 e 08°19'54,7 sul, e as longitudes de 34°45' 50,4" e 38° 47' 58,3" oeste. Limita-se ao norte com o estado do Rio

Grande do Norte; a leste, com o oceano Atlântico; a oeste, com o estado do Ceará e ao sul, com o estado de Pernambuco. No estado, o processo de desertificação encontra-se bastante acentuado nas áreas de caatinga, principalmente onde os índices pluviométricos são inferiores a 500 mm.ano, a exemplo das Microrregiões do Curimataú Ocidental, Cariri Oriental e Ocidental, bem como do Seridó (PARAÍBA, 2006). Segundo Barbosa *et al.* (2005), a Paraíba tem 6,5% de seu território comprometido com o processo severo de desertificação, sendo que as áreas mais afetadas são: a microrregião do Seridó, a sub-bacia do Rio Taperoá e a microrregião do Piancó.

Sabe-se que os principais agentes da degradação nessas áreas são o sobre uso ou o uso inapropriado dos recursos naturais, uso de práticas inadequadas na mineração e na agropecuária, manejo irracional da caatinga, com forte agressão ao bioma, caracterizada pelo desmatamento ilimitado e irracional, os quais são agravados pelas secas periódicas, falta de infraestrutura e políticas públicas, num contexto em que a população está entre as mais pobres do mundo. As tecnologias utilizadas são inadequadas; há sérias restrições de certos recursos naturais e a globalização da economia vem estimulando a super exploração dos recursos naturais, que já são escassos (Carvalho, 2010).

Sá (2002), em seu trabalho sobre degradação ambiental, afirma que os estados do Ceará e Paraíba apresentam as maiores áreas, em termos percentuais, com o nível de degradação muito grave. Segundo os dados do Ministério do Meio Ambiente, a Paraíba é o estado nordestino que possui o segundo maior número de municípios incluídos na área do semiárido, ficando atrás apenas do Piauí. Cerca de 170 municípios paraibanos (80%) estão numa área em que os índices pluviométricos são inferiores a 800 mm anuais. Desta forma, esses municípios estão com suas terras em risco de desertificação e ainda, de acordo com este organismo, esse processo afeta diretamente 1,5 milhão de pessoas no estado (AMBIENTE BRASIL, 2011).

Em função dessas interferências, os problemas ambientais foram aumentando paulatinamente até alcançar níveis drásticos nas últimas décadas, não só em nível regional, mas também em nível global. Desta forma, em face da crise socioambiental em que se encontra o planeta, é fundamental que se repense a relação homem-natureza, levando em consideração, principalmente, o tempo de regeneração dos sistemas naturais frente aos crescentes impactos resultantes das atividades antrópicas (Carvalho, 2010).

Moraes Neto (2003), em trabalho realizado nos municípios de Picuí, Sousa e Sumé, identificou diversos núcleos de desertificação. O autor ressalta que, no município de Picuí, a

degradação ambiental é tão crítica que não existe nenhuma área que possa ser representada pelo nível de degradação muito baixo, prevalecendo os níveis moderado grave e muito grave; já nos municípios de Sousa e Sumé encontram-se áreas com nível de degradação muito baixo, no entanto são em quantidade pequena, predominando o nível moderado.

Silva (2001) identificou que a vegetação nativa do município de Picuí encontra-se quase extinta e que os níveis de degradação grave e muito grave representam 45,45% de seu território, isto ocorre em função do manejo inadequado das terras, das constantes queimadas, da retirada da vegetação para uso, como lenha, por exemplo, da garimpagem, da pecuária extensiva, associados ao agravamento imposto pelas mudanças climáticas. Os resultados dessas atividades são impactos ambientais alarmantes que se refletem na atual situação socioeconômica dos agricultores.

Duarte (2008), em trabalho semelhante, realizado em Taperoá, também identificou redução da cobertura vegetal e um aumento de 145,64 km² e 61,68 km² para os níveis de moderado e grave de degradação para o período compreendido de 1984 a 2005. De acordo com os resultados obtidos, tanto por Silva (2001), como por Duarte (2008), pode-se concluir que este processo ocorre de forma generalizada no estado.

3.2. Classificações técnicas para uso e manejo das terras

Conforme o trabalho de Francisco (2010) as classificações técnicas, também chamadas de interpretativas, são caracterizadas por utilizarem um pequeno número de atributos para separar os indivíduos em classes e atenderem a um determinado objetivo. No caso da classificação técnica ou interpretativa para o uso e manejo das terras, esta consiste da previsão do comportamento dos solos, sob manejos específicos e sob certas condições ambientais (Steele, 1967, *apud* Pereira & Lombardi Neto, 2004). É, normalmente, baseada em interpretação de estudos básicos (levantamentos taxonômicos) de solos (Camargo *et al.*, 1987; EMBRAPA, 1999).

No Brasil, os sistemas de classificações técnicas para fins de levantamento do potencial de uso do solo mais conhecidos e utilizados são de “aptidão agrícola” (Ramalho Filho & Beek, 1995) e o de “capacidade de uso”, originalmente desenvolvido nos EUA e adaptado às condições brasileiras (Lepsch *et al.*, 1983). Em termos agronômicos, inúmeros trabalhos

apresentam critérios interpretativos para agrupamentos de terras, a saber: em função da aptidão agrícola para determinadas culturas; de acordo com risco de erosão; por necessidade de calagem; com finalidades de irrigação ou drenagem e em função da capacidade máxima de uso. Para outros fins, as referidas classificações também são de grande utilidade, tais como: geotecnia, construção de aeroportos, engenharia sanitária, taxaço de impostos, engenharia rodoviária e ferroviária (Freire, 1984).

3.2.1. Potencial de uso do solo

A principal exigência para se estabelecer o potencial de uso de um solo decorre de um conjunto de interpretações do próprio solo e do meio onde ele se desenvolve (Ranzini, 1969). Tais interpretações pressupõem a disponibilidade de certo número de informações preexistentes, que têm que ser fornecidas por levantamentos apropriados da área de trabalho, ou de levantamentos pedológicos pré-existentes. Para que as informações contidas nos levantamentos sejam melhor utilizadas, é necessário, a partir destes levantamentos, que sejam compostos mapas temáticos interpretativos, baseados nos critérios da classificação técnica utilizada (Ramalho Filho & Beek, 1995).

3.2.2. Aptidão agrícola das terras

Aptidão agrícola pode ser definida como a adaptabilidade da terra para um tipo específico de utilização agrícola das terras, pressupondo-se um ou mais diferentes níveis de manejo (Curi *et al*, 1993).

O sistema de avaliação da aptidão agrícola, no Brasil, teve início na década de sessenta (Bennema *et al*, 1964), numa tentativa de classificar o potencial das terras para agricultura tropical. Na sua evolução metodológica, podem ser citadas algumas contribuições como aquelas promovidas por Tomasi *et al* (1971), Beek (1978) e Ramalho Filho & Beek (1995), dentre outras, *apud* Pereira & Lombardi Neto (2004). Neste modelo, a avaliação era feita em quatro classes, indicadas para lavouras de ciclos curto e longo, em vários níveis de manejo.

Este fato foi inovador, visto que procurava atender às condições de países de agricultura menos desenvolvida, onde diferentes níveis tecnológicos coexistiam lado a lado (Ramalho Filho & Beek, 1995). Este método de interpretação de levantamentos de solos é realizado com base nos resultados de levantamentos pedológicos, apoiado em várias características físico-ambientais, como: solo, relevo, clima e vegetação.

O sistema de aptidão agrícola constitui-se num importante instrumento metodológico de avaliação das terras. Sua maior utilização, no país, tem sido implementada no Centro Nacional de Pesquisa de Solos – CNPS (antiga Comissão de Solos, sucedida pelo Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos – SNLCS e atualmente EMBRAPA Solos), que há cerca de meio século, vem pesquisando solos e sua ambiência em todo o território nacional (Pereira & Lombardi Neto, 2004).

O sistema de aptidão agrícola das terras, desenvolvido por Ramalho Filho & Beek em 1978, tem a finalidade de fornecer a aptidão agrícola das terras, fundamentada no seu melhor uso. São considerados três níveis de manejo e quatro classes de aptidão. É recomendado para locais onde se necessita de um planejamento agrícola regional e trabalhos de zoneamento agrícola. De acordo com Prado (1998), neste caso, utilizam-se os estudos taxonômicos de solos realizados para os Estados, em níveis generalizados, de reconhecimento ou exploratório.

Sinteticamente, o sistema de aptidão agrícola se estrutura por: grupos de capacidade de uso que compreendem terras que têm como critério de separação a intensidade do uso agrícola, sendo em número de três, representados pelas letras maiúsculas A, B e C; classes de capacidade de uso, que são em número de oito, representadas por algarismos romanos de I a VIII, com critério de separação das classes, conforme o grau de limitação ao uso; subclasses de capacidade de uso são uma subdivisão que utiliza como critério de separação das terras a natureza das limitações e são em número de quatro e representadas por letras minúsculas; unidades de capacidade de uso que demonstram a natureza das limitações e são representadas por números arábicos que acompanham as letras das subclasses.

Para a obtenção das classes de aptidão agrícola das terras, é realizada uma avaliação dos fatores limitantes, relacionados a um determinado nível de manejo, tendo-se como referência um solo que hipoteticamente não apresente problemas de fertilidade, deficiência de água e de oxigênio e que não seja suscetível à erosão e nem ofereça impedimentos à mecanização.

A adoção de níveis de manejo no sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras é considerada como um procedimento altamente válido, sobretudo em países como o Brasil,

onde, numa mesma região, existe uma grande variedade de condições técnicas e socioeconômicos e conseqüentemente diferenciados níveis de manejo lado a lado (Bennema et al, 1964; Resende *et al*, 1995).

A partir dos fatores limitantes (fertilidade, água, oxigênio, suscetibilidade à erosão e impedimento à mecanização), Bennema *et al* (1964), citado por Pereira & Lombardi Neto (2004), enfatizavam, no sistema de avaliação da aptidão agrícola, um caráter predominantemente ecológico, sobretudo no que tange aos seus três primeiros fatores. Nessa mesma linha, sobre o foco da metodologia, Ramalho Filho & Beek (1995), apesar de mencionarem aspectos referentes à relação custo/benefício e tendência econômica a longo prazo, deixam claro que o objetivo maior do método reside na orientação, com objetivos ao melhor uso das terras, no planejamento regional e nacional.

Segundo Bennema *et al* (1964), citado por Pereira & Lombardi Neto, (2004), os fatores de limitação tentam sintetizar as qualidades do ambiente (condições agrícolas das terras). Tais fatores são avaliados pelo grau de limitação (nulo, ligeiro, moderado, forte e muito forte), que, por sua vez, geralmente estão relacionados a parâmetros facilmente observáveis ou mensuráveis, estabelecendo-se, assim, uma relação considerada como básica nas interpretações de levantamento de solos. Por essa razão, os autores afirmam que essas relações devem ser, sempre que possível, melhoradas. Para o desenvolvimento do sistema, novas relações devem ser introduzidas.

3.2.3. Sistema Brasileiro de avaliação de terras

Nos anos sessenta, muitos sistemas interpretativos surgiram como uma tentativa de contornar a fragilidade da aplicação da classificação de capacidade de uso das terras em ambientes tropicais. A base deste modelo de classificação da aptidão de terras foi desenvolvida como uma tentativa de classificar o potencial das terras para a agricultura tropical.

O método é o resultado do trabalho de pesquisadores brasileiros, junto com especialistas da FAO, como uma reação à classificação da capacidade de uso das terras, a qual havia demonstrado ser inadequada para classificar o potencial de terras em um país, onde, segundo Beek (1978), níveis de tecnologia muito diferentes convivem lado a lado.

A primeira aproximação continha muitos conceitos e procedimentos que serviram de base à atual estrutura de avaliação das terras da FAO. Desde então, ela sofreu várias modificações e desdobramentos, durante sua aplicação na interpretação de levantamentos de recursos naturais. Considerando que a classificação da aptidão de terras vinha sendo, tradicionalmente, mais um exercício físico na interpretação de levantamentos, as unidades de mapeamento servem como base principal para o delineamento da avaliação. Apesar de nem sempre ter-se conseguido, o elemento desejável comum a todos os sistemas de classificação de aptidão de terras era a integração dos aspectos ecológicos e econômicos.

Beek (1975) propôs modificações no método, visando adaptá-lo para planejamento a longo prazo (Brasil, 1975) e a aproximação mais recente – Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras (Ramalho Filho & Beek, 1995) – é uma avaliação física das terras, baseada nas suas qualidades e em níveis de manejo para diferentes usos da terra.

O Sistema Brasileiro de Classificação da Aptidão das Terras (Ramalho Filho & Beek, 1995) e a estrutura da FAO (FAO, 1977) para avaliação das terras pertencem a esta categoria de classificação (Ramalho Filho & Pereira, 1999).

3.2.3.1. Níveis de manejo considerados

Tendo em vista práticas agrícolas ao alcance da maioria dos agricultores, num contexto específico, técnico, social e econômico, são considerados três níveis de manejo, visando diagnosticar o comportamento das terras em diferentes níveis tecnológicos. Sua indicação é feita através das letras A, B e C, que podem aparecer escritas de diferentes formas, na simbologia da classificação, conforme as classes de aptidão em que se apresentem as terras, em cada um dos níveis adotados (Ramalho Filho & Beek, 1995).

- Nível de manejo A (Primitivo) - baseado em práticas agrícolas que refletem um baixo nível técnico-cultural. Praticamente não há aplicação de capital para manejo, melhoramento e conservação das terras e das lavouras. As práticas agrícolas dependem fundamentalmente do trabalho braçal, podendo ser utilizada alguma tração animal com implementos agrícolas simples.

- Nível de manejo B (Pouco desenvolvido) - caracterizado pela adoção de práticas agrícolas que refletem um nível tecnológico intermediário. Baseia-se em modesta aplicação de

capital e de resultados de pesquisas para manejo, melhoramento e conservação das condições das terras e das lavouras. As práticas agrícolas, neste nível de manejo, incluem calagem e adubação com NPK, tratamentos fitossanitários simples e mecanização com base na tração animal, ou na tração motorizada, apenas para desbravamento e preparo inicial do solo.

- Nível de manejo C (Desenvolvido) - baseado em práticas agrícolas que refletem um alto nível tecnológico. Caracteriza-se pela aplicação intensiva de capital e de resultados de pesquisas para manejo, melhoramento e conservação das condições das terras e das lavouras. A motomecanização está presente nas diversas fases da operação agrícola.

Os níveis de manejo B e C envolvem melhoramentos tecnológicos em diferentes modalidades, contudo não levam em conta a irrigação na avaliação da aptidão agrícola das terras. No caso das atividades referentes à pastagem plantada e à silvicultura, está prevista uma modesta aplicação de fertilizantes, defensivos e corretivos, que corresponde ao nível de manejo B. Para a pastagem natural, está implícita uma utilização sem melhoramentos tecnológicos, condição que caracteriza o nível de manejo A.

3.2.3.2 Grupos de aptidão agrícola

Trata-se mais de um artifício cartográfico, que identifica no mapa o tipo de utilização mais intensivo das terras, ou seja, sua melhor aptidão. Os grupos 1, 2, e 3, além da identificação de lavouras como tipo de utilização, desempenham a função de representar, no subgrupo, as melhores classes de aptidão das terras indicadas para lavouras, conforme os níveis de manejo. Os grupos 4, 5 e 6 apenas identificam tipos de utilização (pastagem plantada, silvicultura e/ou pastagem natural e preservação da flora e da fauna, respectivamente), independente da classe de aptidão (Ramalho Filho & Beek, 1995).

A representação dos grupos é feita com algarismos de 1 a 6, em ordem decrescente, segundo as possibilidades de utilização das terras. As limitações que afetam os diversos tipos de utilização aumentam do grupo 1 para o grupo 6, diminuindo, conseqüentemente, as alternativas de uso e a intensidade com que as terras podem ser utilizadas.

3.2.3.3 Classes de aptidão agrícola

As classes expressam a aptidão agrícola das terras para um determinado tipo de utilização, com um nível de manejo definido, dentro do subgrupo de aptidão. Refletem o grau de intensidade com que as limitações afetam as terras. São definidas em termos de graus, referentes aos fatores limitantes mais significativos. Esses fatores, que podem ser considerados subclasses, definem as condições agrícolas das terras. Os tipos de utilização em pauta são: lavouras, pastagem plantada, silvicultura e pastagem natural; e os fatores limitativos, considerados no método de avaliação são: deficiência de fertilidade, deficiência de água, excesso de água, susceptibilidade à erosão e impedimentos à mecanização. (Ramalho Filho *et al.*, 1983)

Com base no boletim da FAO (1977), as classes foram assim definidas:

- Classe Boa - terras sem limitações significativas para a produção sustentável de um determinado tipo de utilização, observando as condições do manejo considerado. Há um mínimo de restrições que não reduzem a produtividade ou os benefícios, expressivamente, e não aumentam os insumos acima de um nível aceitável.

- Classe Regular - terras que apresentam limitações moderadas para a produção sustentável de um determinado tipo de utilização, observando as condições do manejo considerado. As limitações reduzem a produtividade ou os benefícios, elevando a necessidade de insumos para garantir as vantagens globais a serem obtidas com o uso. Ainda que atrativas, essas vantagens são sensivelmente inferiores àquelas auferidas nas terras de classe Boa.

- Classe Restrita - terras que apresentam limitações fortes para a produção sustentável de um determinado tipo de utilização, observando as condições do manejo considerado. Essas limitações reduzem a produtividade ou os benefícios, ou então aumentam os insumos necessários, de tal maneira que os custos só seriam justificados marginalmente.

- Classe Inapta - terras que apresentam condições que parecem excluir a produção sustentável do tipo de utilização em questão. Ao contrário das demais, esta classe não é representada por símbolos. Sua interpretação é feita pela ausência das letras no tipo de utilização considerado.

Os aspectos favoráveis do sistema na avaliação das terras por intermédio de um sistema agrícola sob diferentes níveis tecnológicos é bastante adequada para as características do Brasil, que apresenta em seu território situações muito distintas no tocante a aspectos tecnológicos, científicos e culturais (IBGE, 2007).

Dos graus de limitação atribuídos a cada uma das unidades das terras resulta a

classificação de sua aptidão agrícola. As letras indicativas das classes de aptidão, de acordo com o nível de manejo, podem aparecer nos subgrupos em maiúsculas, minúsculas ou minúsculas entre parênteses, com indicação de diferentes tipos de utilização, conforme pode ser observado na figura 2.

Classes de aptidão agrícola	Tipos de utilização das terras			
	Lavoura Nível de manejo	Pastagem plantada Nível de manejo B	Silvicultura Nível de manejo B	Pastagem natural Nível de manejo A
Boa	A B C	P	S	N
Regular	a b c	p	s	n
Restrita	(a) (b) (c)	(p)	(s)	(n)
Inapta	-	-	-	-

Figura 2. Simbologia correspondente às classes de aptidão das terras.

Fonte. FAO (1977).

Terras consideradas inaptas para lavouras têm suas possibilidades analisadas para usos menos intensivos (pastagem plantada, silvicultura ou pastagem natural). No entanto, terras classificadas como inaptas para os diversos tipos de utilização considerados são, como alternativa, indicadas para a preservação da flora e da fauna, recreação ou algum outro tipo de uso não agrícola. Trata-se de terras ou paisagens pertencentes ao grupo 6, nas quais deve ser estabelecida ou mantida uma cobertura vegetal, não só por razões ecológicas, mas também para proteção de áreas contíguas agricultáveis.

Das terras indicadas para lavouras, pode-se remanejar as de aptidão Restrita (marginais) para o grupo de aptidão indicado para pastagem plantada (grupo 4), no qual passam a ser consideradas boas ou regulares. Isto se justifica pelo fato de que, sendo estas terras marginais para lavouras, apresentam limitações fortes para a produção sustentável. Essas limitações reduzem a produtividade ou os benefícios, ou então aumentam os insumos necessários em tal magnitude, que os custos só seriam justificados marginalmente.

3.2.3.4 Viabilidade de melhoramento

A viabilidade de melhoramento das condições agrícolas das terras, em suas condições naturais, é feita somente para os níveis de manejo B e C. Este melhoramento refere-se às classes 1 (melhoramento viável com práticas simples e pequeno emprego de capital) e 2 (melhoramento viável com práticas intensivas e mais sofisticadas, além de considerável aplicação de capital), conforme previsto na metodologia original (Ramalho Filho & Beek, 1995).

Os graus de limitação são atribuídos às terras, tanto em condições naturais, quanto após o emprego de práticas de melhoramento, previstas para os níveis de manejo B e C. A irrigação não está contemplada nas práticas de melhoramento consideradas para os referidos níveis de manejo.

A viabilidade de melhoramento das condições agrícolas das terras abrange os fatores: deficiência de fertilidade, excesso de água e suscetibilidade à erosão e seguem os padrões preconizados pela metodologia original (Ramalho Filho & Beek, 1995).

3.2.4. Capacidade de uso

O sistema de classificação de capacidade de uso do solo foi desenvolvido, originalmente, pelo Serviço Nacional de Conservação do Solo dos Estados Unidos, para orientar os produtores americanos quanto ao planejamento do uso sustentado de suas propriedades, procurando definir para cada gleba de terra sua máxima capacidade de uso sem risco de degradação do solo (Santos, 2001). É um sistema conservacionista, que considera um nível médio a alto de manejo, adaptado para áreas que possuam levantamentos pedológicos detalhados ou semidetalhado (Prado, 1996).

Conforme Lepsch *et al* (1983), as categorias do sistema de classificação em capacidade de uso estão assim hierarquizadas:

3.2.4.1 Grupos de capacidade de uso

Compreendem terras que têm como critério de separação a intensidade do uso agrícola, sendo em número de três, representados pelas letras maiúsculas A, B e C:

Grupo A: terras passíveis de utilização com culturas anuais, perenes, pastagens e/ou reflorestamento e vida silvestre (comporta as classes I, II, III e IV);

Grupo B: terras impróprias para cultivos intensivos, mas ainda adaptadas para pastagens e/ou reflorestamento e/ou vida silvestre, porém cultiváveis em casos de algumas culturas especiais protetoras do solo (compreende as classes V, VI e VII);

Grupo C: terras não adequadas para cultivos anuais, perenes, pastagens ou reflorestamento, porém apropriadas para proteção da flora e fauna silvestre, recreação ou armazenamento de água (comporta a classe VIII).

3.2.4.2. Classes de capacidade de uso

As classes de capacidade de uso são em número de oito, convencionalmente representadas por algarismos romanos de I a VIII. O critério de separação das classes é o grau de limitação ao uso, que aumenta com as classes (Lepsch *et al*, 1983).

A caracterização das classes de capacidade de uso leva em conta principalmente a maior ou menor complexidade das práticas conservacionistas, que compreendem, além das práticas de controle da erosão, as complementares, de melhoramento do solo.

Dentro de cada grupo, as classes de capacidade de uso podem ser assim descritas:

Grupo A

Classe I: terras cultiváveis, aparentemente sem problemas especiais de conservação;

Classe II: terras cultiváveis com problemas simples de conservação;

Classe III: terras cultiváveis com problemas complexos de conservação;

Classe IV: terras cultiváveis apenas ocasionalmente ou em extensão limitada, com sérios problemas de conservação.

Grupo B

Classe V: terras adaptadas em geral para pastagens e/ou reflorestamento, sem necessidade de práticas especiais de conservação, cultiváveis apenas em casos muito especiais;

Classe VI: terras adaptadas em geral para pastagens e/ou reflorestamento, com problemas simples de conservação, cultiváveis apenas em casos especiais de algumas culturas permanentes protetoras do solo;

Classe VII: terras adaptadas em geral somente para pastagens ou reflorestamento, com problemas complexos de conservação.

Grupo C

Classe VIII: terras impróprias para cultura, pastagem ou reflorestamento, podendo servir apenas como abrigo e proteção da fauna e flora silvestre, como ambiente para recreação, ou para fins de armazenamento de água.

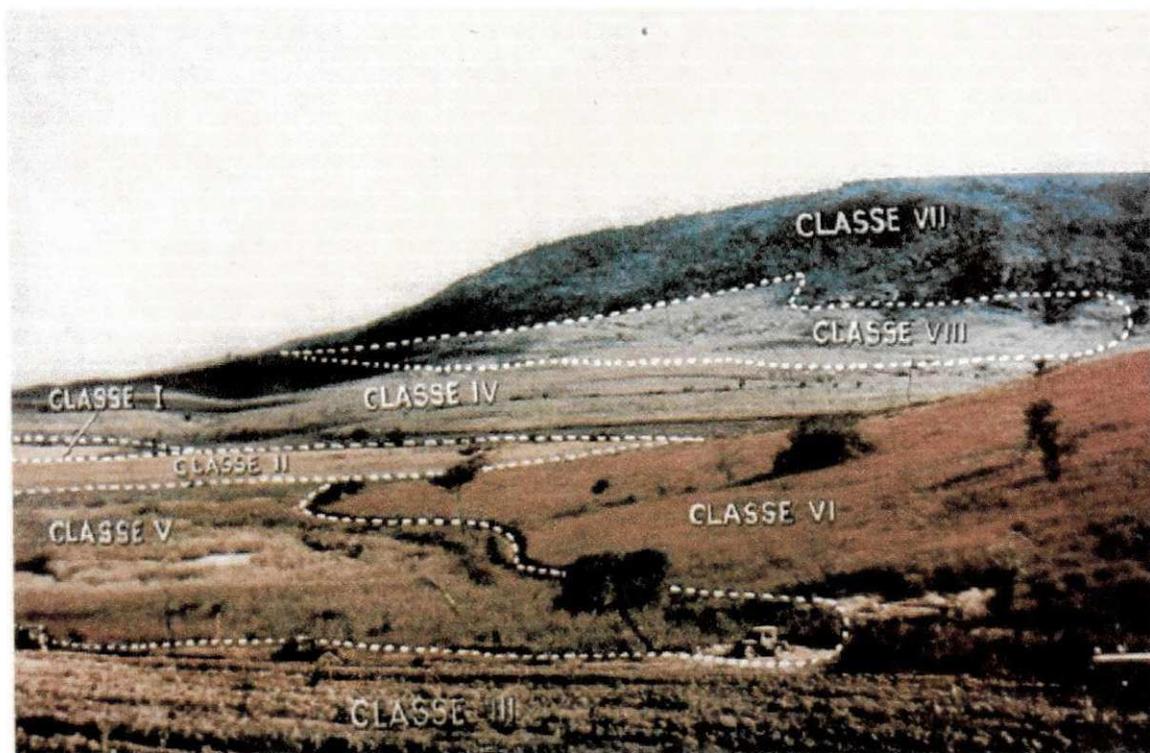


Figura 3. Exemplo de compartimentos de terras, segundo as classes de capacidade de uso.

Fonte: Lepsch *et al* (1983).

SENTIDO DAS APTIDÕES E DAS LIMITAÇÕES	CLASSES DE CAPACIDADE DE USO	SENTIDO DO AUMENTO DA INTENSIDADE DE USO →							
		VIDA SILVESTRE E RECREAÇÃO	SILVICULTURA			CULTIVO OCASIONAL OU LIMITADO	CULTIVO INTENSIVO		
			PASTOREIO				PROBLEMA DE CONSERVAÇÃO		
			LIMITADO	MODERADO	INTENSIVO		COMPLEXO	SIMPLES	NÃO APARENTE
↓ AUMENTO DAS LIMITAÇÕES E DOS RISCOS DE USO ↑ AUMENTO DA ADAPTABILIDADE E DA LIBERDADE DE ESCOLHA DE USO	I								
	II								
	III								
	IV								
	V								
	VI								
	VII								
	VIII								

SUB-UTILIZAÇÃO DA TERRA (diagonal descendente de IV a VII)
 MÁXIMA UTILIZAÇÃO RACIONAL DA TERRA (diagonal descendente de V a VIII)
 SOBRE-UTILIZAÇÃO DA TERRA (diagonal descendente de VI a VIII)

Figura 4. Alternativa de utilização das terras, segundo as classes de capacidade de uso.

Fonte: Lepsch (1983).

3.2.4.3. Subclasses de capacidade de uso

utilizam como critério de separação das terras a natureza das limitações. As subclasses são em número de quatro e são representadas por letras minúsculas, que acompanham o algarismo romano representativos de cada classe. São elas:

- e: limitações pela erosão presente e/ou risco de erosão;
- s: limitações relativas ao solo;
- a: limitações por excesso de água;
- c: limitações climáticas.

Por definição, a classe I, por não ter limitação ao uso, não apresenta subclasses.

3.2.4.4. Unidades de capacidade de uso

A unidade de capacidade de uso explicita a natureza das limitações, facilitando o estabelecimento das práticas de manejo. As unidades de capacidade de uso são representadas por números arábicos que acompanham as letras das subclasses, especificando o fator limitante, ou fatores limitantes para um mesmo grau de limitação. Alguns autores têm utilizado uma vírgula para separar fatores de diferentes natureza e graus de limitação (Brasil Neto, 2001; Farias, 2006).

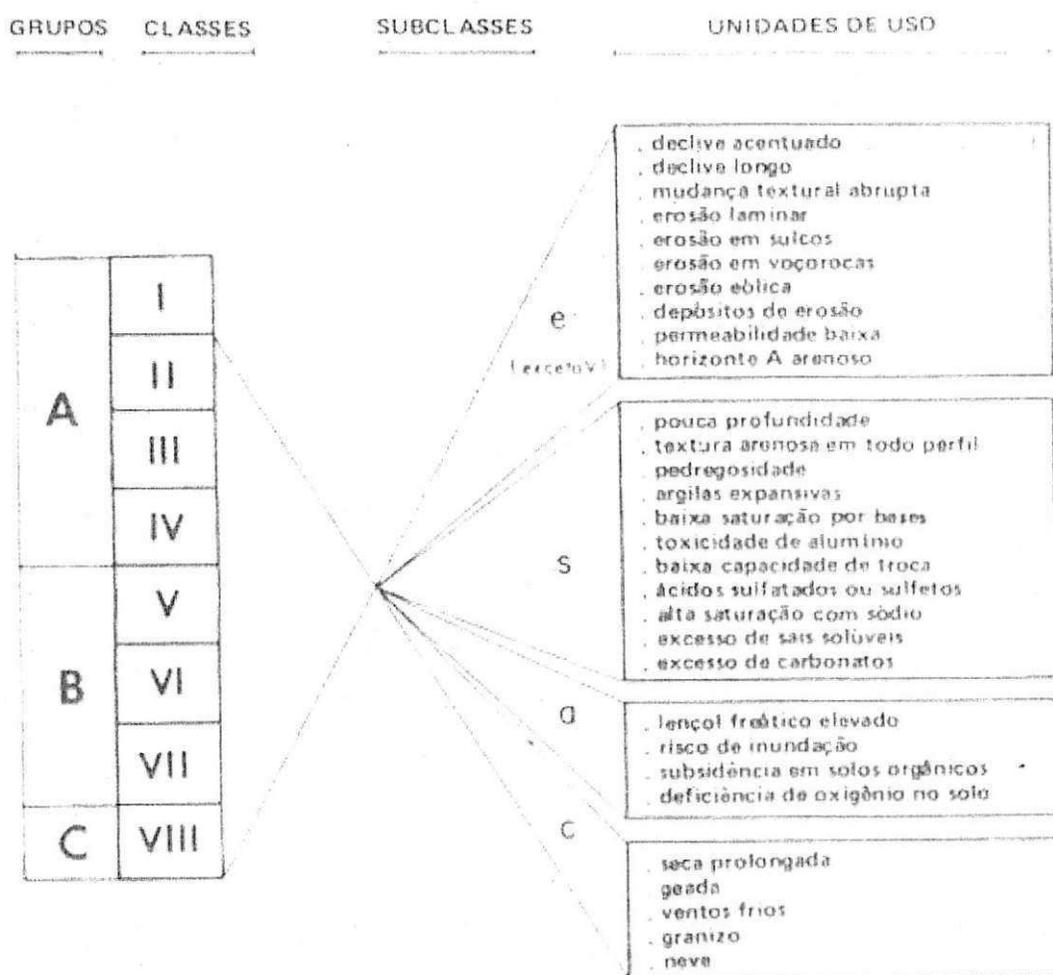


Figura 5. Esquema dos grupos, classes, subclasses e unidades de capacidade de uso.

Fonte. Lepsch (1983).

3.3. Shuttle Radar Topography Mission

Avanços tecnológicos de grande impacto foram alcançados nos últimos anos (a partir de 2000), quando o ônibus espacial Endeavour orbitou a Terra, realizando a Missão Topográfica por Radar ou Shuttle Radar Topography Mission (SRTM).

A Shuttle Radar Topography Mission foi uma missão espacial liderada pela National Aeronautics and Space Administration (NASA), com parceria da National Imagery and Mapping Agency (NIMA), e das agências espaciais da Alemanha (Deutschen Zentrum für Luft - und Raumfahrt - DLR) e da Itália (Agenzia Spaziale Italiana - ASI). Num período de 11 dias foi gerada a mais completa base de dados sobre a topografia da superfície do planeta, com a obtenção de dados altimétricos com precisão compatível com mapas topográficos na escala de 1:50.000, conforme as condições locais e a aplicação pretendida. (Rabus *et al*, 2003)

Visando gerar um modelo de elevação quase global, o ônibus espacial Endeavour, veículo espacial utilizado para a missão, foi lançado no dia 11 de fevereiro de 2000 para uma órbita de 233 km de altitude e com inclinação de 57°. A missão foi projetada para coletar medidas tridimensionais da superfície terrestre, através de uma técnica de sensoriamento remoto por RADAR, chamada interferometria. Para tanto, a nave foi munida de um mastro de 60m, em cuja extremidade foram instalados os mesmos sensores para obtenção de dados em paralaxe, o que permitiu a montagem de Modelos Digitais de Elevação em cobertura de grande parte da superfície terrestre, com resoluções de 1 e 3 arco-segundos (Valeriano *et al*, 2006).

Duas antenas foram utilizadas: SIR-C (Estados Unidos) e X-SAR (Alemanha/Itália). O sistema utilizou os comprimentos de onda (λ) de 6,0 cm para a banda C e 3,1 cm para a banda X. Os MDEs relativos à banda C, para as Américas do Sul e do Norte, estão sendo distribuídos gratuitamente pela NASA, com resolução espacial de aproximadamente 90 x 90 metros. Os dados relativos à banda X estão sendo processados e distribuídos pelo DLR – Centro Aeroespacial Alemão (NASA/JPL, 2010).

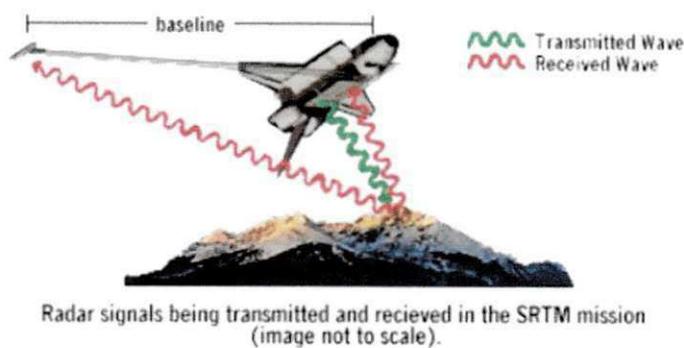


Figura 6. Shuttle Radar Topography Mission.

Fonte. NASA (2002).

3.4. Modelos digitais de elevação

Os modelos digitais de elevação (MDE) podem ser descritos, em analogia às imagens de satélite, como uma imagem de cotas altimétricas. São representações computacionais que descrevem a altitude ponto a ponto de uma determinada área. Embora os dados altimétricos orbitais sejam relativamente recentes nas metodologias de modelagem do relevo, os recursos de tratamento de MDE foram por longo tempo desenvolvidos sobre dados cartográficos.

Um estudo sobre metodologia de construção de MDE com curvas de nível (Valeriano 2002) permitiu verificar que os modelos formados por krigagem, um interpolador inexato, que expressa melhor as formas do relevo em relação a outros interpoladores exatos, apesar de causar uma ligeira compressão da amplitude do relevo, melhoram o desempenho do processo de derivação posteriores à formação do MDE.

Özdamar *et al.* (1999) ressalta que a krigagem pode ser um interpolador exato ou inexato, dependendo das condições de aplicação, o que indica sua flexibilidade em representar diferentes condições de relevo. Entretanto, as aplicações estritamente dependentes dos níveis altimétricos dos divisores de água e dos canais de drenagem, como cenários de inundação, por exemplo, poderiam ser supridas por modelos elaborados com interpolação linear ou outros, desde que preservem as cotas altimétricas originais (Blomgren, 1999).

Valeriano (2004) apresentou testes com os dados SRTM, que foram disponibilizados para a América do Sul e a apreciação dos dados originais mostrou a necessidade de operações de pré-processamento para estimativas e mapeamento de variáveis morfométricas. Assim

como foi observado para curvas de nível, a krigagem dos dados SRTM mostrou-se uma alternativa interessante para a formação de Modelos Digitais de Elevação mais fiéis à conformação do terreno. Os dados apresentaram fortes restrições à sua utilização na forma original, porém o pré-processamento desenvolvido permite sua utilização em escalas relativamente detalhadas, sobretudo para ambientes agrícolas. A mesma metodologia para refinamento dos dados SRTM de 90m foi aplicada para tornar possíveis estudos detalhados da rede de drenagem na Amazônia (Valeriano *et al.*, 2006). Os dados originais foram pré-processados para traçar de forma detalhada drenagens de baixa-ordem e permitiu estimativas digitais de variáveis morfométricas. Os autores observaram que este refinamento à resolução espacial refinada (de 3' a 1', ou de 90m a 30m) favoreceu a superação dos principais limitantes à modelagem da drenagem.

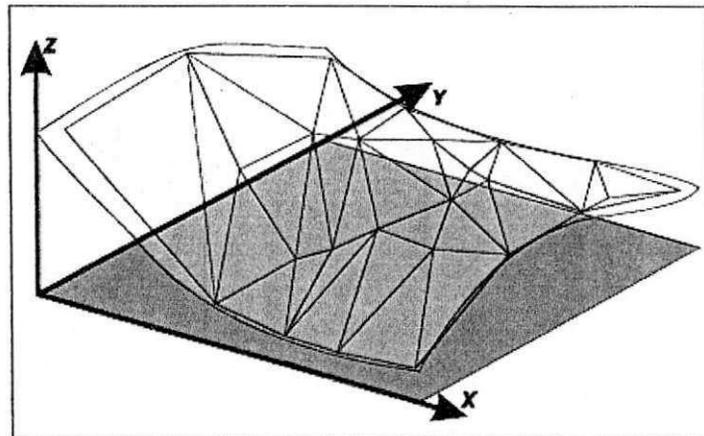


Figura 7. Superfície e malha triangular.

Fonte: Câmara & Medeiros (1998).

3.5. Sensoriamento remoto e geoprocessamento

A utilização de imagens de satélite na detecção e mapeamento dos recursos naturais tornou-se de fundamental importância. Hoppe & Ulbricht (1978) citam que as imagens do satélite Landsat podem ser úteis não só para levantamentos em pequena escala, mas para mapeamentos detalhados. Dey (1978) afirma que mapas temáticos, que relatam a forma da terra, a hidrologia, os solos, a vegetação, o uso da terra e a capacidade de uso da terra na

escala de 1:25.000 foram preparados em vários países em desenvolvimento, utilizando imagens de satélite Landsat.

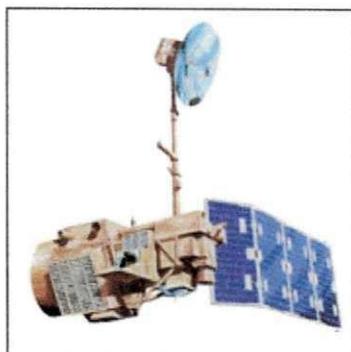


Figura 8. Imagem do satélite Landsat 5.

Fonte. NASA (2012).

Por trás da utilização das imagens de satélite, está presente a técnica do Sensoriamento Remoto, atuando em diversos campos do conhecimento e da pesquisa (Zimmermann, 1993). Segundo Daels & Antrop (1977), o seu processo consiste na coleta de informações relevantes sobre todos os fenômenos da superfície da terra, onde se estudam suas propriedades eletromagnéticas, as quais são registradas a partir de veículos aéreos-espaciais. Com isso, é possível realizar o imageamento sinótico e periódico da superfície terrestre e, conseqüentemente, o levantamento e monitoramento dos recursos terrestres (INPE, 1986).

O Sensoriamento Remoto utiliza várias técnicas desenvolvidas no sentido da tomada e análise de dados de recursos naturais por meio de satélite, tais como o Landsat-MSS e TM, SPOT, RADAR, AVHRR e MOMS, etc (Serafim, 2000).

A tecnologia do Sensoriamento Remoto evoluiu desde o uso estritamente militar ao domínio público, segundo pelo menos dois pontos de vista: 1- tecnológico – desde os sistemas fotográficos aos sensores opto eletromecânicos e eletrônicos; e 2- funcional – desde aparatos aerotransportados aos sensores baseados em plataformas orbitais (Troter, 1991).

A partir da década de 70, com o lançamento dos satélites LANDSAT, muitas pesquisas têm utilizado informações sobre os diferentes alvos da superfície terrestre, coletando em nível orbital, que são de grande importância no estudo e conservação dos recursos naturais terrestres (Batista, 2011).

Tomando por base o processo de aquisição de informações relevantes sobre todos os fenômenos da superfície terrestre, os sensores podem ser divididos em duas categorias: passivos e ativos. Os sensores passivos são aqueles que registram a energia eletromagnética,

refletida e emitida pela superfície terrestre e os sensores ativos, aqueles que geram a própria fonte de energia para iluminar artificialmente os objetos-alvo (Serafim, 2000).

Os sensores remotos utilizam várias regiões do espectro eletromagnético. Esta faixa estende-se desde os comprimentos de onda mais curtos, como os raios cósmicos, e de alta frequência, até as ondas de rádio de comprimento de onda muito longos e de baixa frequência (Assad & Sand, 1993).

Em Sensoriamento Remoto, a faixa mais utilizada para coleta e reorientação da radiação refere-se àquela compreendida entre 0,3 e 15,0 μ m, mais conhecida como espectro óptico (Assad & Sand, 1993).

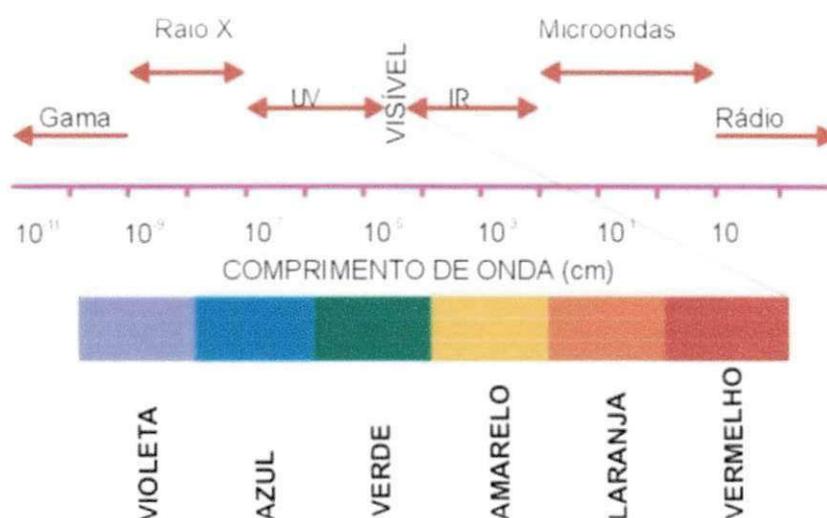


Figura 9. Regiões do espectro eletromagnético.

Para que se possam extrair informações a partir de dados de sensoriamento remoto, torna-se fundamental conhecer o comportamento espectral dos objetos da superfície terrestre e dos fatores que interferem neste comportamento (Novo, 1992).

Segundo Rosa (1990), o comportamento espectral de um alvo pode ser definido como sendo a medida da reflectância desse alvo ao longo do espectro eletromagnético. As características como vegetação, solo e água são de grande interesse e constituem elementos fundamentais e essenciais para a interpretação de dados de sensoriamento remoto (Queiroz, 1996).

Em relação ao comportamento espectral dos objetos, Lillesand e Kiefer (1994) afirmam que a água na região do visível reflete alguma energia apenas em comprimentos de onda compreendidos nos intervalos de 0,4 a 0,6 μm , como resultado das interações da Radiação Eletromagnética (REM), com a superfície da água, que é considerada como um ótimo refletor da REM, com o material em suspensão e com o fundo dos corpos d'água. Para o mesmo autor, quanto à vegetação, a reflectância espectral caracteriza-se por uma série de picos situados entre os intervalos de 0,7 e 1,2 μm , região onde ocorre o máximo de reflectância, ou seja, a vegetação reflete cerca de 40 a 50% da energia incidente, aspecto este que está relacionado à estrutura interna da folha. Ainda de acordo com o mesmo autor, para o solo, a curva de reflectância espectral está situada entre os intervalos de 1,4 a 2,6 μm , apresentado valores de absorção nos pontos correspondentes a 1,4; 1,9; 2,2 e 2,7 μm , devido à presença de água.

Segundo Teotia *et al.* (1999), o sistema ERTS (Earth Resources Technology Satellites), atualmente denominado LANDSAT, foi desenvolvido com a finalidade de proporcionar uma ferramenta prática no inventário e manejo dos recursos naturais da terra.

De acordo com Silva (1999), quando a técnica do Sensoriamento Remoto é utilizada em conjunto com a técnica de Geoprocessamento, o planejamento e o desenvolvimento dos recursos naturais podem ser retratados, harmônica e rapidamente, dentro de uma visão global.

Também Palimarka & Walder (1987), utilizaram tecnologias de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento combinada e acharam que a combinação dessas técnicas constitui-se numa ferramenta importante, entre outras, para a pesquisa de recursos naturais e que, segundo Fernandes (1997), apresenta-se como formas de auxiliar a pesquisa aplicada, no tocante aos recursos naturais do semiárido.

O termo Geoprocessamento refere-se à utilização de técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica. Essa área do conhecimento vem influenciando de maneira crescente as áreas de Cartografia, Análise de Recursos Naturais, Transportes, Comunicações, Energia e Planejamento urbano e regional (Camara *et al.*, 2001).

Uma das características mais importantes do geoprocessamento é a sua capacidade de gerar representações cartográficas relativas às regiões de interesse, integrando as informações. Assim, dados de origens diversas podem ser integrados, visualizados e processados como um conjunto de planos de informações gráficas e pictóricas superpostas, embora sejam de fato

armazenados isoladamente sob a forma digital, adequada para a análise e extração de atributos em sistemas computacionais (Queiroz, 1992).

Segundo Queiroz (1996), os sistemas de informações geográficas caracterizam-se por serem instalados em computadores, possibilitando a codificação dos dados geográficos e sendo capazes de realizar as seguintes funções:

- entrada de dados (mapas, imagens de sensores remotos e dados alfanuméricos).
- saída de dados (mapas, imagens e tabelas).

3.6. NDVI e degradação ambiental

De acordo com Sá (2008), é satisfatória a contribuição do NDVI na avaliação da cobertura vegetal, podendo ser utilizado no monitoramento ambiental.

Segundo Lima *et al* (2011), a utilização de um sistema de informações geográficas para cálculo e processamento do NDVI, derivado de imagens de satélite de sensoriamento remoto, permitiu avaliar o processo de desertificação, através da análise da cobertura vegetal nativa, no município de Juazeirinho, e quantificar o avanço deste processo ao longo de 15 anos (1990 a 2005).

3.7. Software ERDAS

O software Erdas Imagine é um programa que facilita o levantamento dos recursos naturais de uma região, com bastante precisão, economizando tempo, dinheiro e pessoal especializado (Gonçalves, 2011).

Existem vários softwares utilizados para a análise e estudo de imagens de satélites. O Erdas Imagine é um programa utilizado para diversas atividades no sensoriamento remoto. Uma delas é a elaboração de mapas temáticos, confeccionados por meio de imagens de satélites. Este software foi projetado especificamente para a extração de informações a partir de imagens digitais com rapidez e facilidade. Seu amplo conjunto de ferramentas simplifica e otimiza o fluxo de trabalho, permitindo o desenvolvimento de todas as atividades necessárias

para criar informação geoespacial e apresentá-la em formatos que variam desde mapas impressos a modelos 3D.

O Erdas Imagine é direcionado principalmente para processamento de dados geoespaciais e permite ao usuário elaborar, apresentar e aprimorar imagens digitais para o mapeamento de uso em sistema de informação geográfica (SIG) ou em desenho assistido por computador (CAD). É uma caixa de ferramentas que permite ao usuário realizar numerosas operações em uma imagem e gerar uma resposta a determinadas questões geográficas.

Ao manipular os valores de dados de imagens e as posições, é possível ver os recursos que não seriam normalmente visíveis e para localizar os geoposições de características que, de outra forma, seriam gráficas. O nível de brilho ou refletância da luz das superfícies na imagem pode ser útil com a análise da vegetação, a prospecção de minerais etc. Outros exemplos de uso incluem a extração de características linear, geração de processamento de fluxos de trabalho, importação e exportação de dados para uma ampla variedade de formatos, ortorretificação e mosaicagem de imagens e extração de recurso automático de dados de mapa de imagens.

De acordo com Lima *et al* (2011) em pesquisa desenvolvida no rio Ji-Paraná, estado de Roraima, foram realizadas as devidas correções nas imagens e obtidas a reflectância e a temperatura da superfície, utilizando a ferramenta Model Maker do software Erdas Imagine 9.3.

4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

4.1. Descrição e localização da área de estudo

O município de Soledade está localizado no Estado da Paraíba e apresenta uma área de 560,06 km². Seu posicionamento encontra-se entre os paralelos 6^o95' e 7^o21' de latitude sul e entre os meridianos de 36^o22' e 36^o48' de longitude oeste. Dista da capital 178 km. Está inserido na mesorregião do Agreste Paraibano, na microrregião do Cariri Ocidental, limitando-se ao norte com os municípios de São Vicente do Seridó e Olivedos; ao sul com Gurjão; ao leste com Pocinhos e Boa Vista; e a oeste com Juazeirinho (AESAs, 2011), como observamos na Figura 10.

LOCALIZAÇÃO

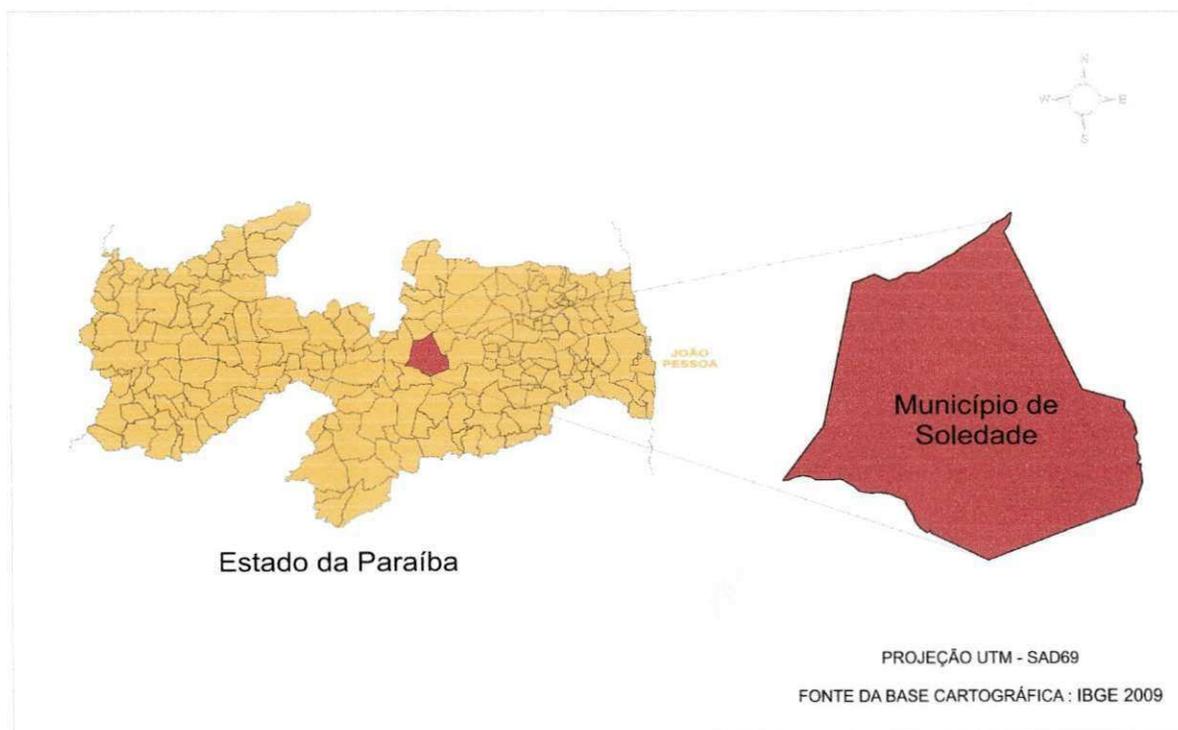


Figura 10. Mapa de localização da área de estudo.

Fonte: Adaptado de IBGE (2012) e AESA (2011).

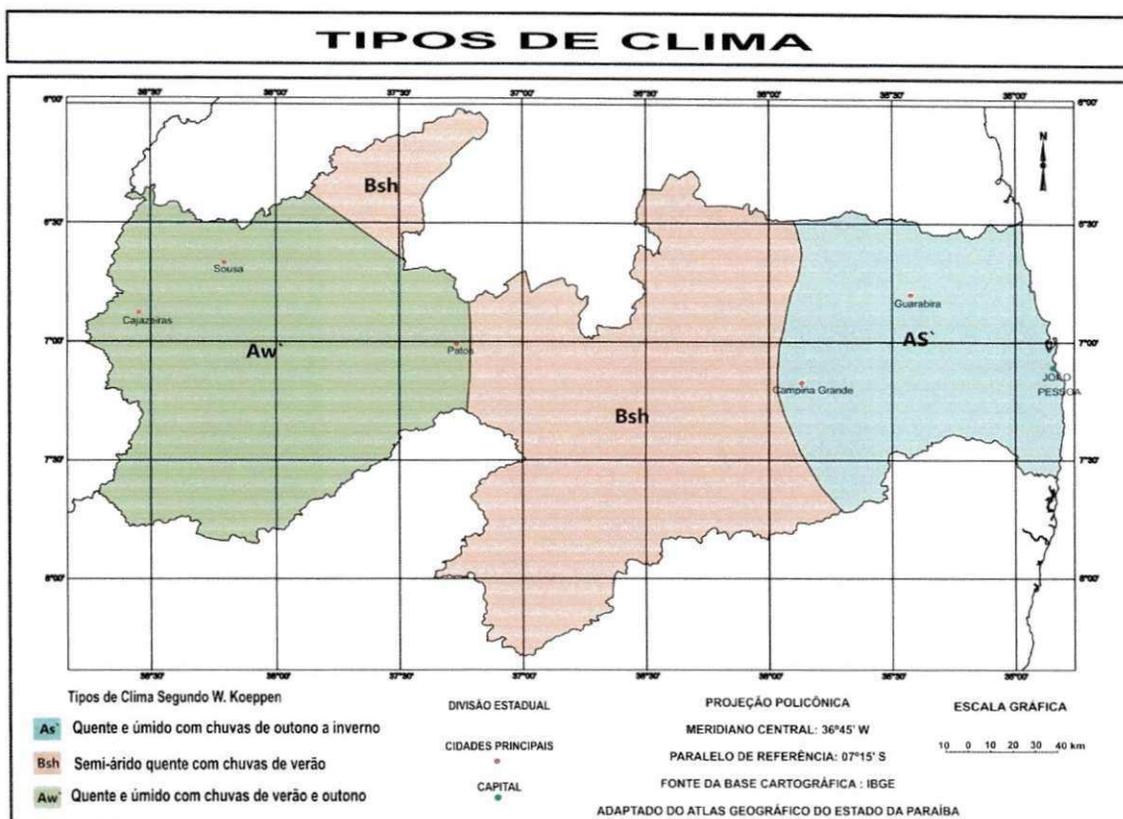


Figura 12. Mapa de Tipos de clima do estado da Paraíba, segundo a classificação de Köppen.

Fonte: Francisco (2010) adaptado de PARAÍBA (1985).

4.1.2. Região geográfica e uso da terra

O uso da terra é determinado pelas potencialidades e limitações ambientais. Na Paraíba, devido à baixa latitude, a luz e o calor são fatores abundantes para a produção agrícola. Assim, é a água na forma de chuva, pela sua quantidade e distribuição, que determina as atividades agropecuárias no Estado (Francisco, 2010).

As regiões e sub-regiões geográficas (Figura 13) guardam uma estreita relação com a ocorrência dos solos e a ocupação e uso das terras, dados que podem ser comprovados a partir das informações apresentadas no Levantamento de Solos da Paraíba por BRASIL (1972), do Zoneamento Agropecuário do Estado da Paraíba (PARAÍBA, 1978) e do Atlas Geográfico da Paraíba (PARAÍBA, 1985) (Francisco, 2010).

A região geográfica da Borborema compreende as sub-regiões Cariris de Princesa, Cariris do Paraíba e Curimataú (Figura 13). Com exceção de parte da sub-região do Cariri de Princesa, que fica no terço oeste do Estado, a região da Borborema tem em comum o clima Semiárido Quente e a sua localização sobre o Planalto da Borborema (Francisco, 2010).

Cariris do Paraíba compreende, em grande parte, a área da bacia de contribuição do açude Epitácio Pessoa, que apresenta, a montante, duas bacias contribuintes, a do Alto Paraíba e a do rio Taperoá. É uma área aberta, sobre o planalto, com relevo suave ondulado, altitude variando em grande parte entre 400 m a 600 m e drenagem voltada para o leste, o que facilita a penetração uniforme das massas atlânticas de sudeste, propiciando temperaturas amenas ($< 26^{\circ}\text{C}$) e uma maior amplitude térmica diária. Nas áreas com relevo mais deprimido, a precipitação média anual é inferior a 400 mm, aumentando com a altitude no sentido dos divisores da drenagem. (Francisco, 2010).

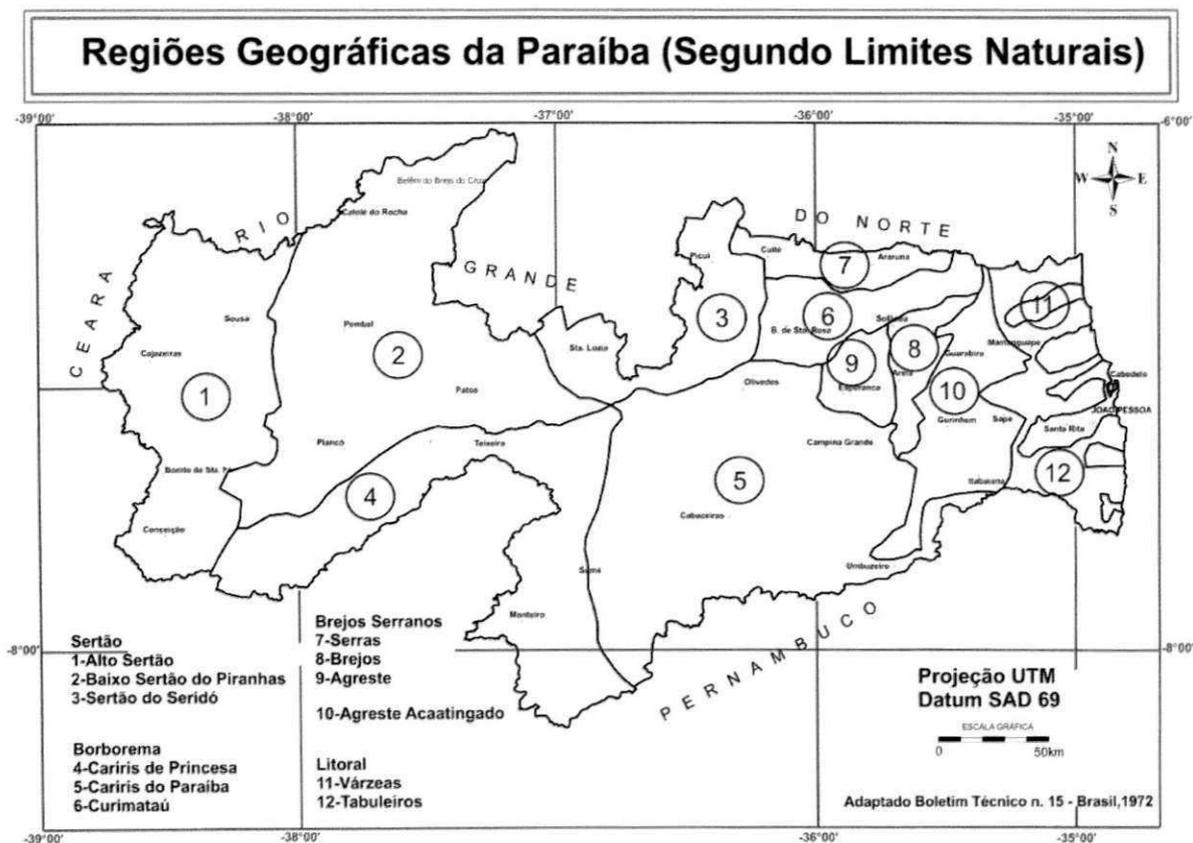


Figura 13. Regiões geográficas do Estado da Paraíba.

Fonte: Francisco (2010) adaptado de BRASIL (1972).

4.1.3. Geologia

O contexto geológico regional é formado por rochas cristalinas diversas, originárias do Pré-Cambriano Indivisivo, que, posteriormente, foram deformadas por ação tectônica e estão representadas pelo Complexo Migmatítico-Granitóide (pĕgn) e Gnáissico-Migmatítico (pĕgr). O posicionamento dessas unidades no Pré-Cambriano Indivisivo prende-se ao fato de não se ter ainda uma real definição do comportamento estratigráfico, tectônico e estrutural destas unidades, bem como devido à inexistência de uma idéia concreta sobre suas relações de contato com a seqüência supracrustal, que constitui os grupos Seridó e Cachoeirinha, considerados do Pré-Cambriano Superior (PARAÍBA, 2006).

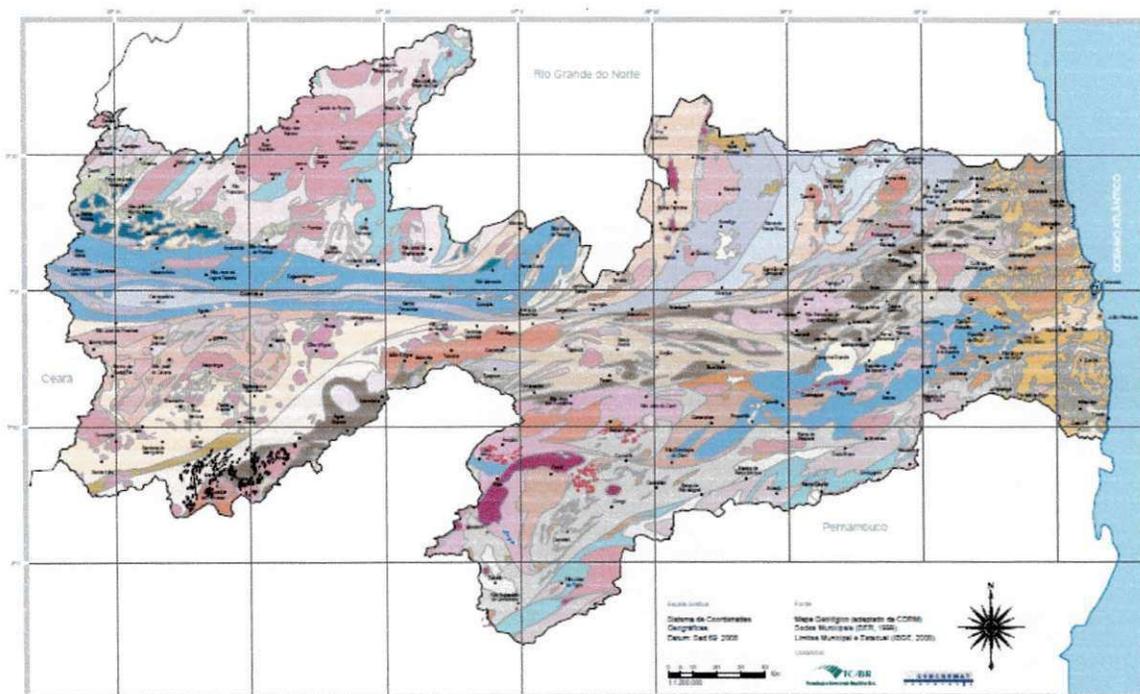


Figura 14. Mapa geológico do estado da Paraíba. Fonte. PARAÍBA (2006).

De acordo com os dados da Atlas do Plano Estadual de Recursos Hídricos da Paraíba (PARAÍBA, 2006), a geologia predominante está representada, de acordo com a Figura 15, pela:

Formação Seridó e Grupo Seridó indiscriminado (Ns-Nsi): Granada biotita xisto, cordierita granada biotita xisto, quartizito, biotita clorita xisto, clorita sericita xisto, filito, localmente com paragnaisse, calcário cristalino, rocha calcissilicática e formação ferrífera.

A Formação Seridó compreende termos metassedimentares de grau baixo a médio. Xistos de composição pelítica são as rochas principais da unidade. Bandamento composicional é amplamente observado, refletindo uma estrutura típica de ritmitos, às vezes com gradação granulométrica sugestiva para turbiditos. Além de xistos, são também observadas intercalações de rochas calcissilicáticas e quartzitos.

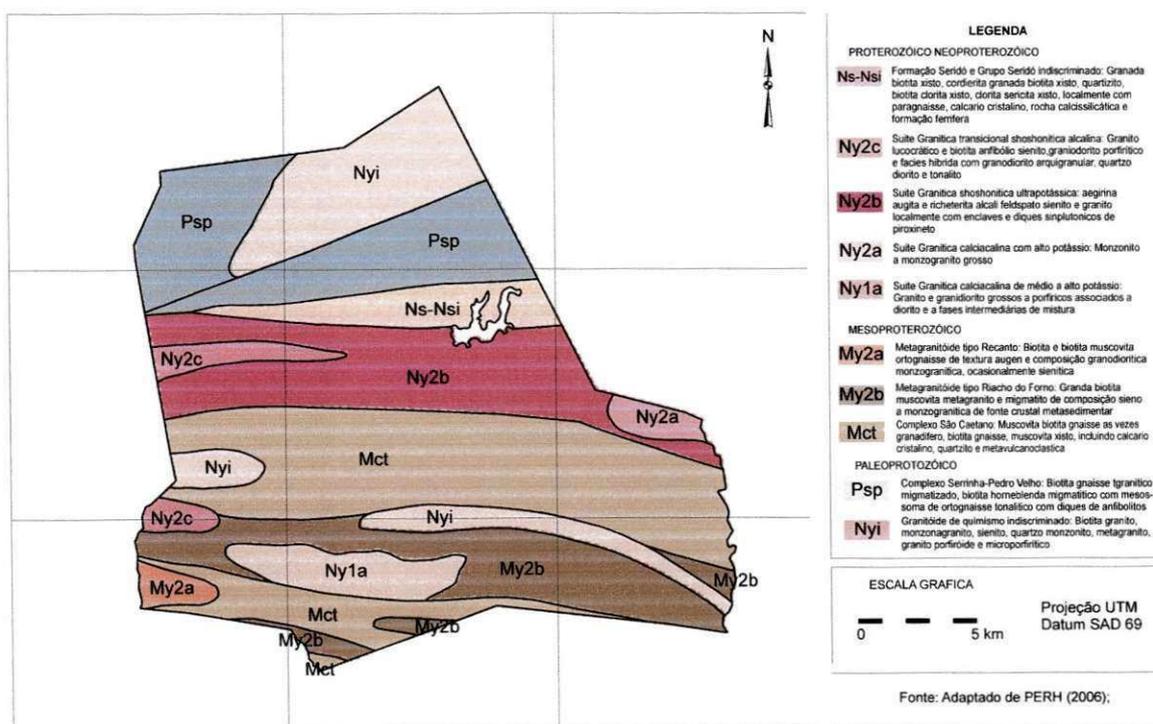


Figura 15. Mapa geológico da área de estudo.

Fonte: Adaptado de PARAÍBA (2006).

4.1.4. Geomorfologia

A área de estudo encontra-se inserido no Planalto da Borborema, que, segundo Souza *et al.* (2003), se constitui no mais importante acidente geográfico da Região Nordeste, exercendo na Paraíba um papel de particular importância no conjunto do relevo e na diversificação do clima. A unidade geomorfológica denominada Superfície de Planalto, com domínio de relevo suave ondulado e ondulado, representa uma das unidades mais amplas e regulares no conjunto da Borborema. Altitudes no planalto, entre 400 m, podem ultrapassar a 700 m, nos pontos mais elevados (Francisco, 2010).

Inserida totalmente na encosta oriental do Planalto da Borborema, Soledade é constituída por 3 unidades distintas: formas tabulares, formas aguçadas e formas convexas (BRASIL, 1972).

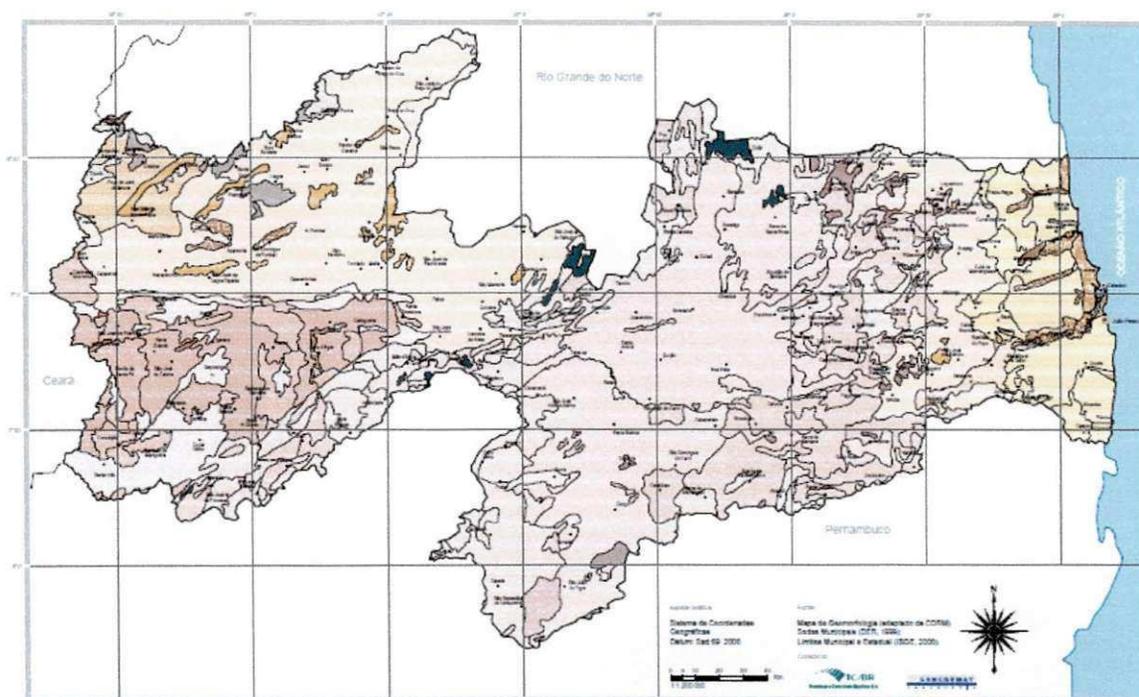


Figura 16. Mapa de geomorfologia do estado da Paraíba. Fonte. PARAÍBA (2006).

O relevo apresenta-se distribuído com declividade Nula em 382,01 km², Ligeira em 148,15 km², Moderada em 22,54 km², Forte 4,77 km², Muito Forte 3,18 km², Extremamente Forte em 0,15 km², perfazendo um total de 560,8 km², de acordo com a Figura 17.

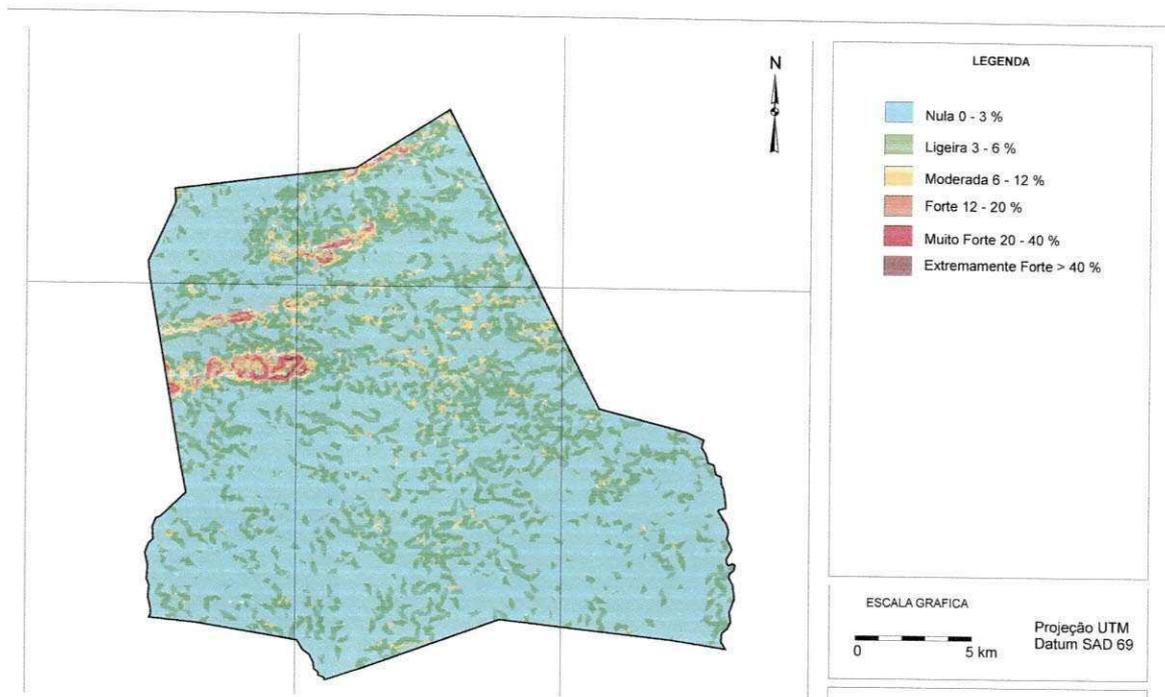


Figura 17. Mapa de classes de declividade da área de estudo.
 Fonte: Francisco (2010) adaptado de NASA (2010) e IBGE (2009).

4.1.5. Solos

Na área do município de Soledade, de acordo com PARAÍBA (2006), ocorrem basicamente os solos (Figura 18) descritos como:

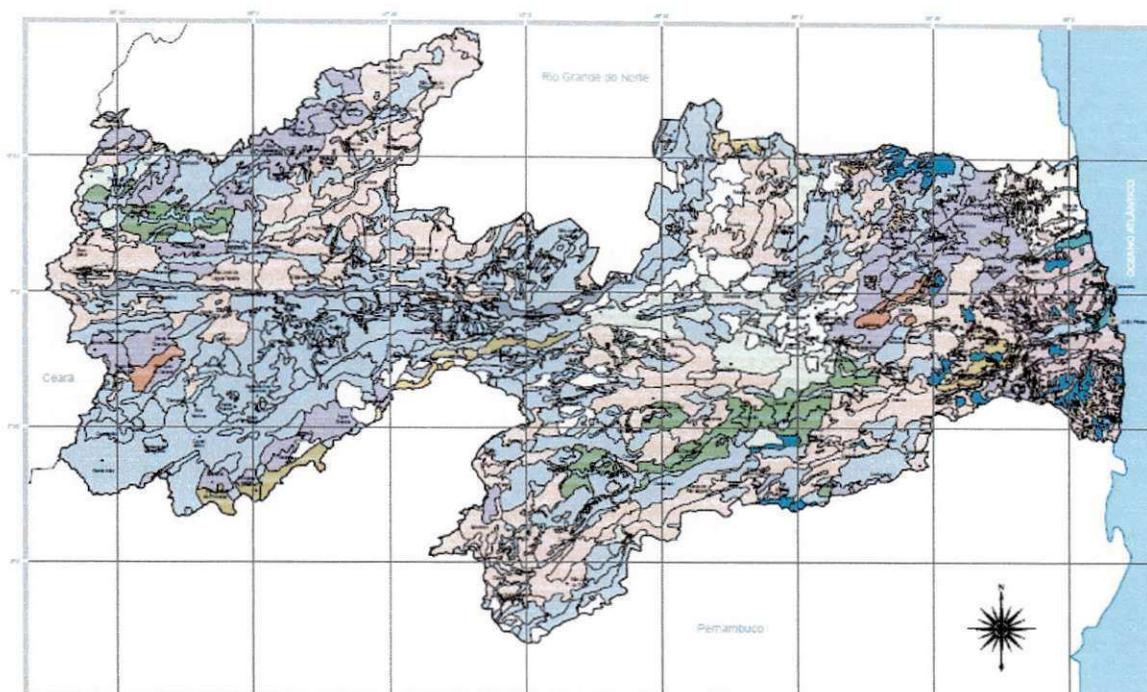


Figura 18. Mapa de solos do estado da Paraíba. Fonte. PARAÍBA (2006).

NC₂₅: Associação de: BRUNO NÃO CÁLCICO vértico, com A fraco, textura argilosa, fase pedregosa, caatinga hiperxerófila, relevo suave ondulado + SOLOS LITÓLICOS EUTRÓFICOS, com A fraco, textura arenosa e/ou média, fase pedregosa e rochosa, caatinga hiperxerófila, relevo suave ondulado e ondulado, substrato gnaisse e granito.

Compreende solos intermediários para VERTISSOLO, com horizonte A fracamente desenvolvido, correspondente ao “Ochric epipedon” da classificação americana, e horizonte argílico (B textural), diferenciando-se das classes por possuírem argila do tipo 2:1. Em virtude desse tipo de argila, normalmente estes solos, durante o período seco, apresentam grandes fendilhamento entre os agregados estruturais e uma estrutura prismática, moderada a fortemente desenvolvida no horizonte Bt.

Estes solos apresentam fortes limitações, no que diz respeito à carência de água e moderadas quanto à susceptibilidade à erosão. Possuem condições para serem cultivados com culturas anuais na época chuvosa, entretanto, são mais apropriados para pecuária.

NC₄₉: Associação de: BRUNO NÃO CÁLCICO vértico, com A fraco, textura média, fase pedregosa, caatinga hiperxerófila, relevo suave ondulado + SOLOS LITÓLICOS EUTRÓFICOS, com A fraco, textura arenosa e/ou média, fase pedregosa e rochosa, caatinga hiperxerófila, relevo suave ondulado e ondulado, substrato gnaisse e granito + VERTISSOLO, com A moderado, fase pedregosa, caatinga hiperxerófila, relevo plano e suave ondulado.

São solos com horizonte argílico (B textural), argila de atividade alta, apresentando como principal diferenciação da classe anteriormente comentada a textura com teores de argila entre 15 e 35%. As demais características físicas, químicas e morfológicas são similares às das unidades precedentes.

Estes solos apresentam restrições, por apresentar argilas expansivas. As condições de drenagem e as más propriedades físicas, aliadas à pedregosidade e forte escassez d'água, são as maiores limitações ao aproveitamento agrícola. São melhor aproveitados para pecuária, com plantio de pastagens artificiais resistentes à seca, podendo, entretanto, ser cultivados com algodão arbóreo e algumas culturas de subsistência no período de inverno.

SS₂: Associação de: SOLONETZ SOLODIZADO Ta, com A fraco, textura média, fase caatinga hiperxerófila, relevo plano e suave ondulado + SOLOS LITÓLICOS EUTRÓFICOS, com A fraco, textura arenosa e/ou média, fase pedregosa e rochosa, caatinga hiperxerófila, relevo suave ondulado e ondulado, substrato gnaisse e granito.

Compreende solos halomórficos com horizonte B solonetzico (*natric horizon*), que constitui uma modalidade de horizonte B textural, tendo saturação com sódio trocável ($100 \text{ Na}^+/\text{T}$) igual ou superior a 15% nos horizontes B_t e/ou C. Normalmente apresentam estrutura colunar ou prismática. Se um horizonte subjacente C tem em alguma parte mais que 15% de Na^+ e um horizonte B textural sobrejacente que tenha $\text{Mg}^{++} + \text{Na}^+$ maior que $\text{Ca}^{++} + \text{H}^+$, é considerado um horizonte B solonézico. São solos moderadamente profundos, com horizonte A fraco e moderadamente desenvolvido, são imperfeitamente drenados, com permeabilidade lenta a muito lenta na parte subsuperficial, apresentam erosão laminar ligeira, saturação de bases (V%) alta e capacidade de permuta de cátions (T), baixos a médio.

Originam-se do saprolito de gnaisse, referido ao Pré-Cambriano (CD) e situam-se em relevo plano e suave ondulado. Possuem sequência de horizontes A e B_t, transicionando normalmente do horizonte A para o B_t de maneira abrupta e plana. O horizonte A compreende A_p e A₂, com espessura em torno de 40 cm, colorações bruno escuro e bruno amarelado claro,

dentro da matiz 10YR, com valores 3 e 6 e cromas 3 e 4. A textura compreende as classes areia franca e franco-arenosa, estrutura fraca pequena blocos subangulares e consistência ligeiramente dura quando seca, friável a muito friável, quando úmida, não plástica e não pegajosa, quando molhada. A transição do subhorizonte A_p para o A₂ é clara e plana.

O horizonte B_t apresenta espessura variável em torno de 30 cm, coloração bruno acinzentado escuro, dentro da matiz 10YR, com valor 4 e croma 2. A textura apresenta-se argilosa (> 35% de argila), estrutura moderada média colunar, possuindo cerosidade moderada. A consistência é extremamente dura, quando seca, muito firme, quando úmida, plástica e pegajosa, quando molhada. Quanto à composição granulométrica, podemos observar que a fração areia fina predomina sobre as demais frações (areia grossa, silte e argila). A relação silte/argila é baixa, evidenciando pequena reserva de minerais facilmente intemperizáveis. Quimicamente, são solos que se caracterizam pelo elevado percentual de sódio trocável nos horizontes subsuperficiais. A quantidade de minerais primários é relativamente baixa em sua constituição mineralógica, revelando serem solos pobres sob o ponto de vista de reserva potencial para as plantas.

São solos que apresentam limitações muito fortes para o seu aproveitamento agrícola em vista da forte alcalinidade, juntamente com as más condições físicas do horizonte B_t e a alta percentagem de saturação de sódio (Na + %) nos horizontes subjacentes. Podem ser utilizados com pecuária extensiva, com o cultivo da palma forrageira.

SS₇: Associação de: SOLONETZ SOLODIZADO Ta, com A fraco, textura média, fase caatinga hiperxerófila, relevo plano e suave ondulado + SOLOS LITÓLICOS EUTRÓFICOS, com A fraco, textura arenosa e/ou média, fase pedregosa e rochosa, caatinga hiperxerófila, relevo suave ondulado, substrato gnaisse e granito + REGOSSOLO EUTRÓFICO com fragipan, com A fraco, textura arenosa, fase caatinga hiperxerófila, relevo suave ondulado.

REe₇: Associação de: REGOSSOLO EUTRÓFICO, com fragipan, com A fraco, textura arenosa, fase caatinga hiperxerófila, relevo suave ondulado + SOLOS LITÓLICOS EUTRÓFICOS, com A fraco, textura arenosa e/ou média, fase pedregosa e rochosa, caatinga hipoxerófila, relevo suave ondulado, substrato gnaisse e granito.

Compreende solos muito arenosos, pouco desenvolvidos, medianamente profundos ou profundos, com bastante materiais primários de fácil intemperização, em geral com fragipan – Cx -. O fragipan destes solos está presente na maioria dos perfis, geralmente situado sobre a rocha subjacente. Verifica-se a presença de fragipan incipiente (em início de formação) ou mesmo a ausência deste horizonte em alguns locais. Estes solos requerem intenso controle da erosão, bem como adubações que supram as deficiências de fósforo e nitrogênio. Apresentam fortes limitações, em função da forte carência de água em decorrência do longo período de estiagem e da irregularidade de chuvas.

No Estado da Paraíba, estes solos ocorrem normalmente na Superfície do Planalto ou Superfície dos Cariris. O relevo é suavemente ondulado com declividades de 3 a 8%, apresentando extensas áreas de topos aplainados. Em algumas áreas ocorrem associados com AFLORAMENTOS DE ROCHA – “boulders”- de tamanho variável, que cobrem de 5 a 25% da superfície. A vegetação é representada pela caatinga hipoxerófila arbóreo-arbustiva densa e a caatinga hiperxerófila, com grande quantidade de cactáceas e bromeliáceas. Apresentam sequência de horizontes A₁, C, C_x e R.

Estes solos são bastante cultivados, principalmente nas áreas que apresentam menor rochoso e clima menos seco. As principais culturas nela desenvolvidas são: sisal, milho, feijão, mandioca e algodão arbóreo. Apresenta como principal limitação ao uso agrícola a falta d'água.

A principal restrição ao uso agrícola destes solos diz respeito a forte escassez de água. Para o aumento da produtividade, aconselha-se o emprego de fertilizantes químicos à base de fosfatos e adubos orgânicos, além da adoção de práticas conservacionistas, tendo em vista serem bastante susceptíveis à erosão, principalmente quando revolvidos.

RE_{e16}: Associação de: REGOSSOLO EUTRÓFICO, com fragipan, com A fraco, textura arenosa, fase caatinga hiperxerófila, relevo suave ondulado + SOLONETZ SOLODIZADO Ta, com A fraco, textura média, fase caatinga hiperxerófila, relevo plano e suave ondulado + SOLOS LITÓLICOS EUTRÓFICOS, com A fraco, textura arenosa e/ou média, fase pedregosa e rochosa, caatinga hiperxerófila, relevo suave ondulado, substrato gnaisse e granito.

Re₂₇: Associação de: SOLOS LITÓLICOS EUTRÓFICOS, com A fraco, textura arenosa e/ou média, fase pedregosa e rochosa, caatinga hiperxerófila, relevo suave ondulado e ondulado,

substrato gnaiss e granito + PODZÓLICO VERMELHO AMARELO EUTRÓFICO Ta, pouco profundo, com A fraco, textura média com cascalho, fase caatinga hiperxerófila, relevo suave ondulado.

Compreende solos pouco desenvolvidos, rasos ou muito rasos, não hidromórficos, que apresentam um horizonte A assente diretamente sobre a rocha R, ou mesmo com um horizonte C, tendo, neste caso, sequência de horizontes A, C e R. Admite-se a presença de um horizonte B em início de formação, porém ainda não definido. Possuem horizonte A fracamente desenvolvido e textura desde arenosa até média.

De um modo geral, estes solos apresentam características morfológicas e na maioria de suas propriedades físicas, químicas e mineralógicas com os solos da classe SOLOS LITÓLICOS EUTRÓFICOS com A fraco textura média, descritas anteriormente, exceto com relação à textura que, neste caso, pode ser arenosa ou média, em decorrência principalmente da maior variação do substrato (gnaisses e granitos de composição diversa).

No Estado da Paraíba, estes solos ocorrem em toda a zona semiárida, ora como componente secundário em associações com outras unidades, ora como unidade dominante, sendo sua principal ocorrência sempre em associações complexas com AFLORAMENTOS DE ROCHA, nas posições de relevo acidentado, como nas Frentes do Planalto da Borborema e em Outras Áreas Cristalinas Elevadas.

Ocorrem nos mais variados tipos de relevo, desde o suave ondulado ao forte ondulado e montanhoso, com altitudes variando de 200 e 1.000 metros. Originam-se da desagregação de gnaisses, referidos ao Pré-Cambriano (CD), além de granitos, de natureza e composição variadas. Esta variação na composição das rochas de embasamento explica a variação de textura, desde média até arenosa. A vegetação está representada pela caatinga hiperxerófila ou hipoxerófila, de porte e densidade bastante variados, sendo a maior parte das áreas ocupadas pela primeira.

Apresentam sequência de horizontes A, R ou A, C, R, com transições abruptas ou claras e planas ou onduladas. Pode ocorrer um horizonte B em início de formação. Estes solos praticamente não têm utilização agrícola, sendo ocupados com vegetação natural e usados para a pecuária extensiva. Algumas áreas muito acidentadas não possuem mesmo nenhuma utilização. Pequenas lavouras podem ser observadas nas áreas de caatinga hipoxerófila, onde verifica-se a exploração de culturas de subsistência (milho, feijão e fava), e em algumas áreas do alto sertão, menos movimentadas, onde se destaca a cultura do algodão arbóreo. Com

maiores impedimentos, destacam-se a rochosidade, relevo movimentado, deficiência de água, susceptibilidade à erosão e impossibilidade do uso de implementos tracionados.

O uso dos solos desta fase está restrito à pecuária extensiva, em condições muito precárias. O sistema mais racional de aproveitamento destes solos será a pecuária aproveitar o máximo as inclusões de SOLOS ALUVIAIS EUTRÓFICOS que ocorrem entre os SOLOS LITÓLICOS, para a produção de forragens complementares pela roçagem da vegetação natural.

Re₂₁: Associação de: SOLOS LITÓLICOS EUTRÓFICOS, com A fraco, textura arenosa, fase pedregosa e rochosa, caatinga hiperxerófila, relevo suave ondulado, substrato gnaisse e granito +. SOLONETZ SOLODIZADO Ta, com A fraco, textura média, fase caatinga hiperxerófila, relevo plano e suave ondulado.

Compreende solos com horizonte A fracamente desenvolvido "Ochric epipedon", geralmente assente sobre horizonte C muito intemperizado. Verifica-se, também, perfis do tipo A/R. Pedregosos, rochosos e muito susceptíveis à erosão, fortemente drenados e, em alguns casos, moderadamente drenados, textura superficial arenosa, onde os percentuais de argila apresentam-se menor que 15%. O caráter, que os diferencia das classes anteriormente descritas, se prende primordialmente à textura superficial, que, nesta classe, é arenosa. Quanto às características morfológicas, estes solos apresentam um horizonte A pouco desenvolvido, seguido imediatamente do horizonte C muito intemperizado ou podendo ocorrer a rocha (horizonte R).

O horizonte A compreende Ap, A12 e, às vezes, AC, com espessura variando de 30 cm, colorações Bruno amarelado escuro e oliváceo, dentro das matizes 10YR e 5Y, valores 3 e 4 e croma 4. A textura é franco arenosa cascalhenta, estrutura muito fraca pequena granular e grãos simples. Segue o horizonte C, de textura areia franca cascalhenta, grãos simples e tendência a granular. Quanto à composição granulométrica, verifica-se que as frações areia (grossa e fina) predominam sobre as outras frações e a relação silte/argilosa é alta, o que denota a presença de solos jovens. Ligeiramente ácidos, com pH em torno de 6,0 ao longo do perfil, apresentando saturação com alumínio muito baixa, inferior a 5%.

Estes solos possuem teor elevado de minerais primários em sua constituição mineralógica, revelando uma boa reserva potencial para as plantas. Originam-se de gnaisses e granito, referidos ao Pré-Cambriano (CD). Situam-se em relevo suave ondulado, com declives em torno de 3 a 6%. A vegetação natural é a caatinga hiperxerófila arbóreo-arbustiva densa, com a presença de bromeliáceas e cactáceas rasteiras. Devido a extrema carência de umidade,

estes solos se prestam mais para preservação da fauna e flora silvestre. Figuram como primeiro componente da associação Re₂₁. Ocorrem nas zonas fisiográficas do Sertão de Piranhas e da Borborema Central.

Re₇₂: Associação de: SOLOS LITÓLICOS EUTRÓFICOS, com A fraco, textura arenosa e/ou média, fase pedregosa e rochosa, caatinga hiperxerófila, relevo ondulado e forte ondulado, substrato gnaisse e granito + SOLONETZ SOLODIZADO Ta, com A fraco, textura média, fase caatinga hiperxerófila, relevo suave ondulado + AFLORAMENTOS DE ROCHA.

Compreende solos pouco desenvolvidos, muito pouco profundos, com perfis do tipo A/C/R, com horizonte A fraco, geralmente de textura média e com drenagem que varia de moderada a bem drenada. Apresentam substrato de rochas filíticas e xistosas, referidas ao Pré-Cambriano (B).

Face às limitações devido à pedregosidade, rochosidade, pouca profundidade dos solos, devem ser mantidos para conservação da vegetação natural e preservação da fauna. Estes solos são mais indicados para conservação da flora e preservação da fauna silvestre.

Re₃₉: Associação de: SOLOS LITÓLICOS EUTRÓFICOS, com A fraco, textura arenosa e/ou média, fase pedregosa e rochosa, caatinga hiperxerófila, relevo forte ondulado e montanhoso, substrato gnaisse e granito + AFLORAMENTOS DE ROCHA.

Conforme a EMBRAPA (2006) e a Reclassificação dos perfis realizado por Campos & Queiroz (2006), ocorrem basicamente quatro classes de solos na área de estudo (Figura 19).

Os Luvisolos Crômicos órticos típicos (Bruno Não Cálcico), área de 36, 93 km² que, conforme as recomendações de Cavalcante *et al.*, (2005), a mecanização agrícola é severamente limitada pela pequena espessura destes solos e grande susceptibilidade à erosão. No caso de utilização agrícola, faz-se necessária, principalmente, a escolha de áreas de menor declividade, tomando algumas medidas, como: controle da erosão, considerando-se também que a limitação pela falta d'água é forte. Sua utilização deve ser dirigida no sentido de a pecuária e os trechos mais acidentados da área serem mantidos com vegetação natural. Tendo em vista as condições do solo e o clima regional, verifica-se que o aproveitamento com pecuária é indicado, desde que sejam feitas reservas de forragens para o período seco, bem como seja intensificado o cultivo de palma forrageira, além do aproveitamento intensivo das vazantes.

SOLOS DO MUNICÍPIO DE SOLEDADE

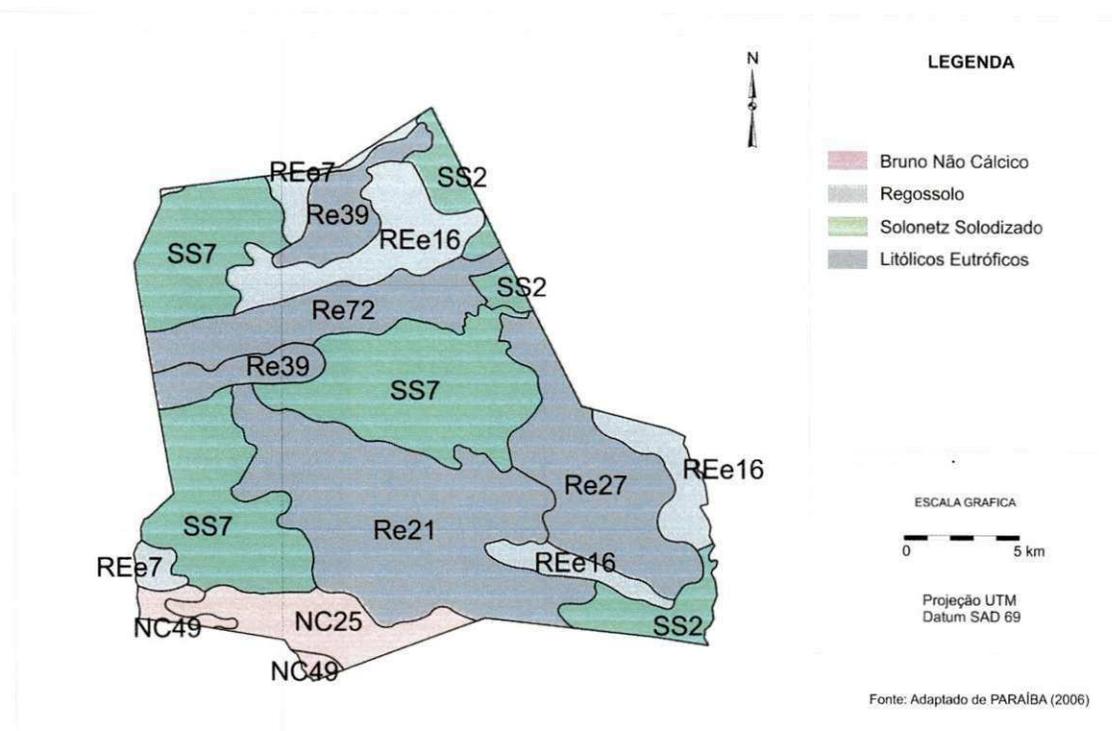


Figura 19. Mapa de solos da área de estudo.

Fonte. Adaptado de PARAÍBA (2006).

O Planossolo Nátrico órtico típico (Solonetz Solidizado), com área de 194,41 km² deve ser aproveitado, conforme as recomendações de Cavalcante *et al*, (2005), com pecuária extensiva, usando-se para isto a própria vegetação natural. As limitações pela falta d'água são muito fortes. Também constituem importantes limitações ao uso agrícola destes solos os elevados teores em sódio trocável e as más condições físicas nos horizontes subsuperficiais, principalmente do Bt. São solos inaptos para agricultura (Cavalcante et al, 2005).

Os Neossolos Quartzarênicos órtico típico (Regossolo), com área de 73,07 km², tem como principais limitações à sua utilização agrícola a baixa fertilidade natural, baixa capacidade de retenção de água e nutrientes, determinada pela sua textura arenosa, que inclusive dificulta as práticas de adubação que visam a ser feitas. Não se prestam, portanto, para a maioria das culturas regionais, exceto para algumas culturas perenes muito adaptadas, como o cajueiro e o coqueiro, mesmo assim, com adubações. A mangabeira, que deveria ser melhor aproveitada, constitui planta nativa na área destes solos. (Cavalcante *et al*, 2005).

Os Neossolos Litólicos Eutróficos (Litólico Eutrófico), com área de 256,39 km² onde estes solos apresentam baixas condições para um aproveitamento agrícola racional, tendo em vista as limitações fortes existentes, provocadas pelo relevo forte ondulado, pedregosidade, rochiosidade e reduzida profundidade dos solos, além da deficiência de água que só permite a presença de culturas resistentes à estiagem. Só é possível a exploração destes solos pelos sistemas primitivos de agricultura já existentes (Cavalcante *et al*, 2005).

4.1.6. Vegetação

Em toda a área, a vegetação é do tipo caatinga hiperxerófila. É uma região tradicionalmente pastoril, onde tem predominância a criação de caprinos. Outrora com produção expressiva de algodão, na atualidade cultiva palma e culturas alimentares, de acordo com a Figura 20 a seguir. (Francisco, 2010)

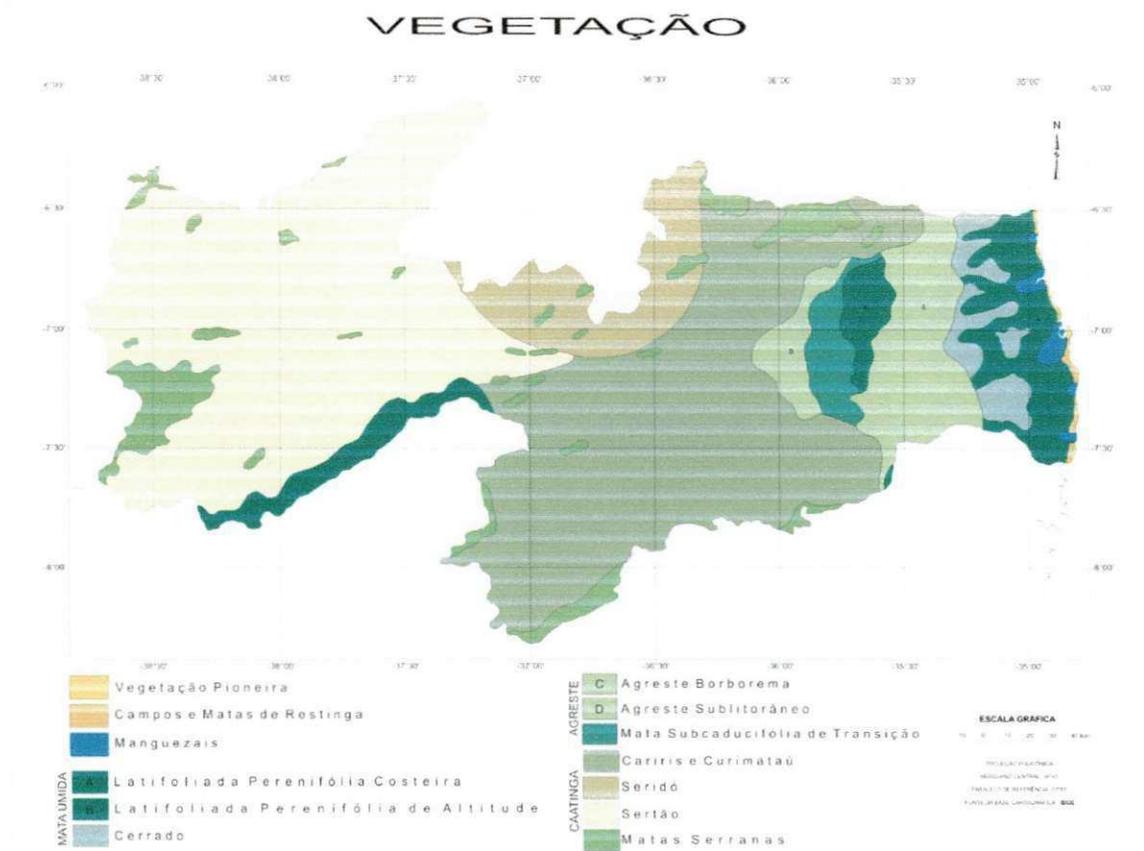


Figura 20. Mapa de vegetação do estado da Paraíba.

Fonte: Francisco (2010), adaptado de Atlas Geográfico do Estado da Paraíba (2006).

Na área de estudo, foram encontradas áreas Antropizadas, com 209,62 km², Caatinga arbórea fechada, 0,3 km², Caatinga arbustiva arbórea aberta, 323,2 km², Caatinga arbustiva arbórea fechada, 22,96 km², Água, 4,72 km², conforme podemos observar na figura 21.

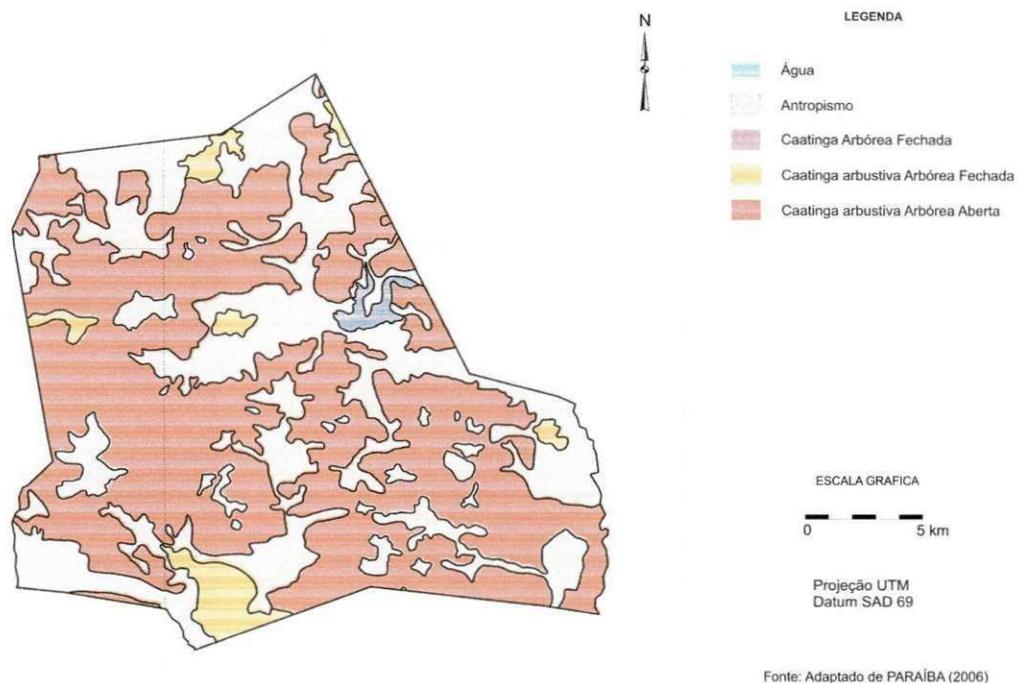


Figura 21. Mapa de uso atual do município de Soledade.

Fonte: Adaptado de PARAÍBA (2006).

4.1.7. Classes de capacidade de uso das terras

A distribuição da classificação da capacidade de uso das terras do estado da Paraíba está de acordo com a legenda explicitada no mapa abaixo. No município de Soledade não encontraremos todas as classes de capacidade de uso, tendo em vista a ocorrência de solos na área.

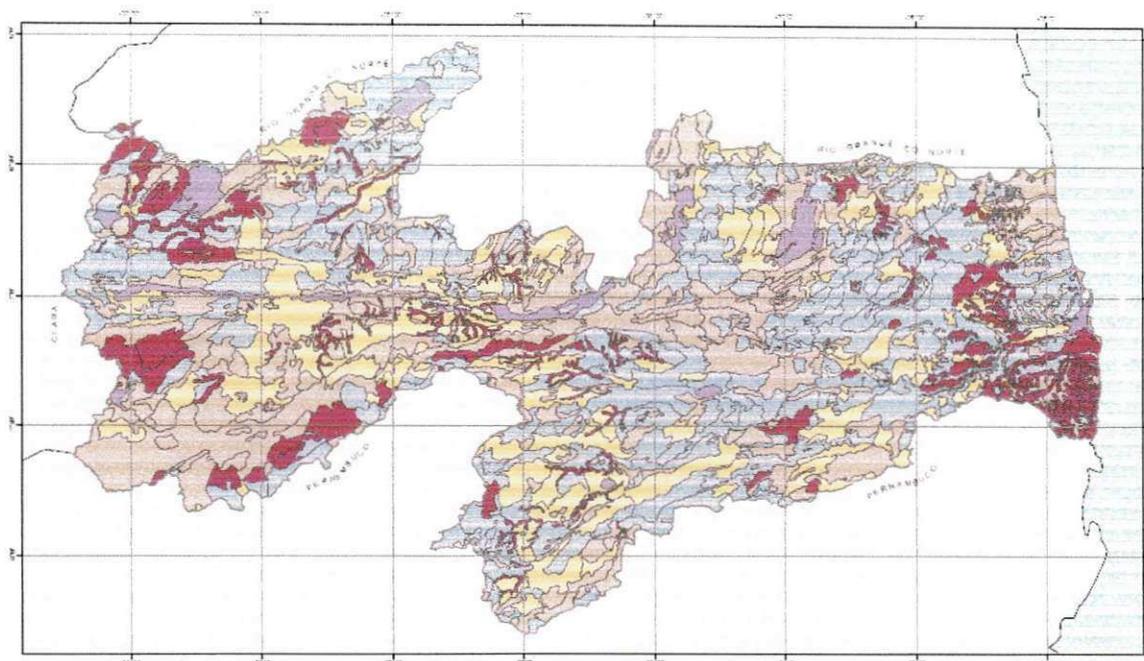


Figura 22. Mapa de classes de capacidade de uso estado da Paraíba.

Fonte: PARAÍBA (2006).

Conforme o mapa de Classes de Capacidade de Uso das Terras de PARAÍBA (2006) da Figura 22, foram encontradas na área de estudo as seguintes categorias e respectivas classes, conforme observamos na figura 23, sendo representadas por algarismos de I a VIII.

Terras próprias para lavouras: Terras profundas e isentas de pedras. Compreendem as classes I, II, III e IV, distintas com base no conjunto de práticas e medidas necessárias para uma agricultura racional permanente. Dentre essas, as classes encontradas na área foram:

Classe IV: define terras que se prestam somente para uma lavoura esporádica ou limitada. São áreas mais íngremes, mais susceptíveis à erosão, difíceis de drenar ou de outra forma qualquer menos apropriadas para cultivos contínuos. As áreas de relevo mais acidentado são mais indicadas para culturas permanentes ou silvicultura. As áreas mais planas e mal drenadas são propícias para o cultivo de arroz e/ou capineiras. As principais restrições relacionam-se com problemas de topografia, pedregosidade, erosão, profundidade efetiva e mecanização. Com uma área de 110 km².

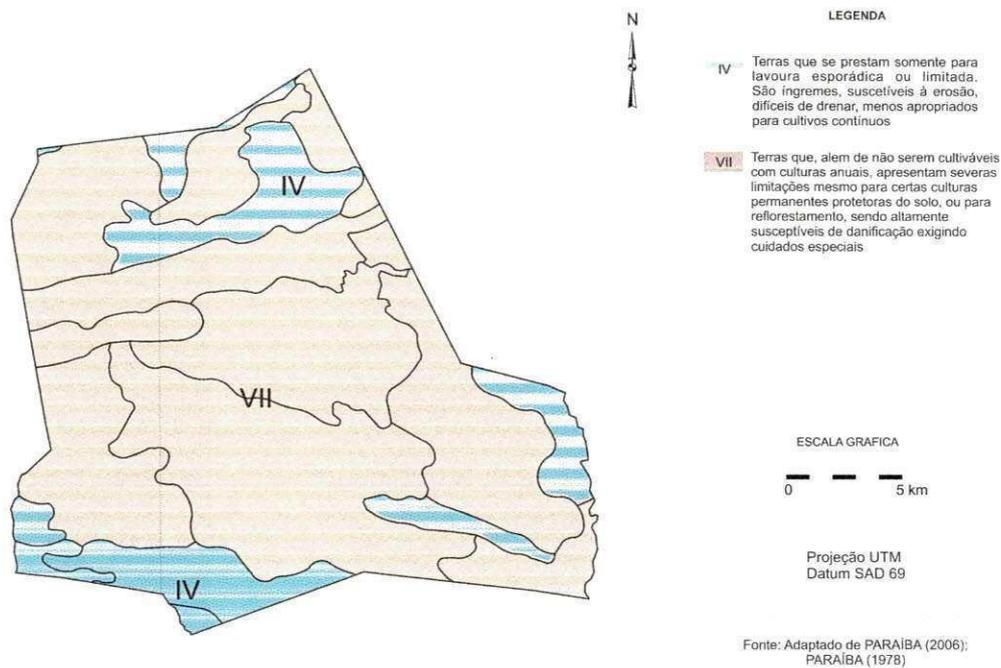


Figura 23. Mapa de classes de capacidade de uso das terras do município de Soledade.

Fonte: Adaptado de PARAÍBA (2006).

Terras Impróprias para Lavouras, mas apropriadas para Vegetação Permanente, em geral para Pastagem e Reflorestamento: nessa categoria estão incluídas as classes V, VI e VII. A classe encontrada na área foi:

Classe VII: compreende terras que, além de não serem cultiváveis com culturas anuais, apresentam severas limitações, mesmo para certas culturas permanentes protetoras do solo ou para reflorestamento, sendo altamente suscetíveis à erosão, exigindo cuidados especiais. São terras acidentadas, rasas, erodidas, pedregosas e/ou rochosas e com problemas de salinidade e/ou sodificação moderada e algumas com problemas de fertilidade muito baixa e drenagem imperfeita. Com uma área de 450,8 km².

4.1.7.1. Mapa de capacidade de uso do solo

As classes pedológicas e os tipos de terrenos foram enquadrados em Classes de Capacidade de uso do solo, com base no mapa de solos de PARAÍBA (2006,) em cujo seu Relatório constam as informações de cada polígono de solo, onde foram realizadas as interpretações, sendo representadas por algarismos de I a VIII.

As Classes de Capacidade de Uso consideradas foram as definidas por Lepsch (1983), sendo encontradas na área de estudo as seguintes categorias e respectivas classes, conforme observamos na figura abaixo:

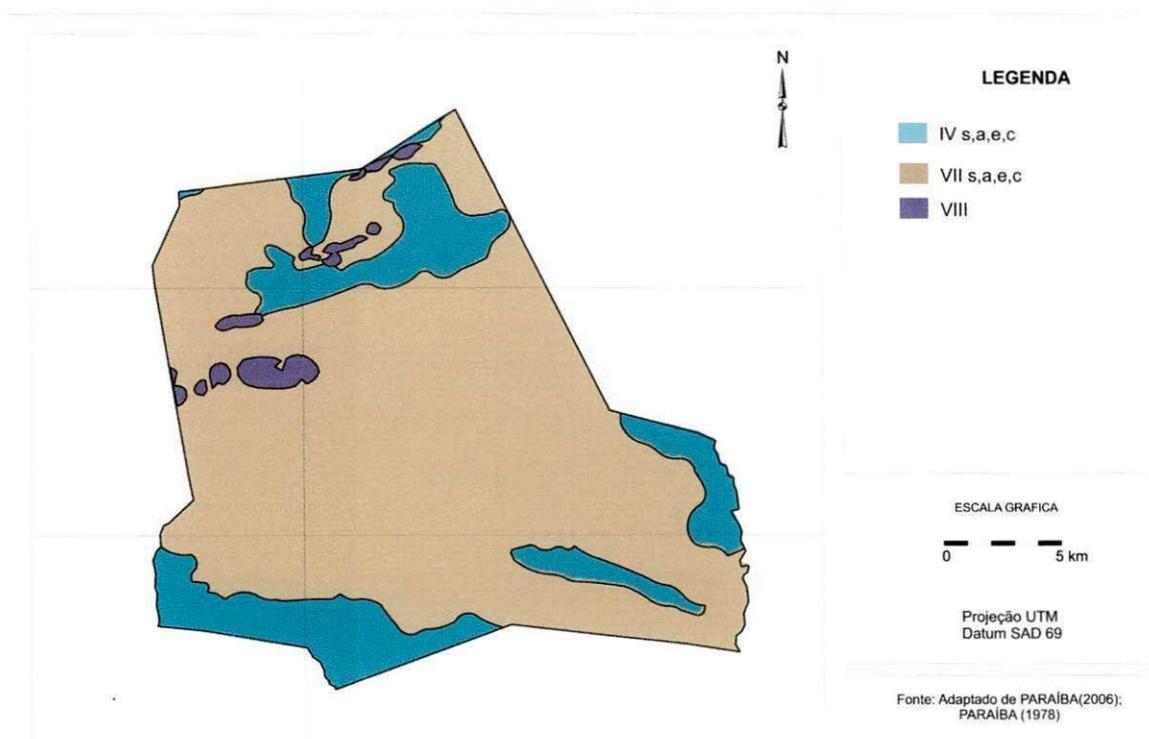


Figura 24. Mapa de classes de capacidade de uso do solo do município de Soledade.

Fonte: adaptado de PARAÍBA (2006).

Classe IV: terras cultiváveis apenas ocasionalmente ou em extensão limitada, com sérios problemas de conservação, com (s) limitações relativas ao solo; (c) limitações climáticas; (e) limitações pela erosão presente e/ou risco de erosão e (s) limitações relativas ao solo.

Classe VII: terras adaptadas em geral somente para pastagens ou reflorestamento, com problemas complexos de conservação com (s) limitações relativas ao solo; (c) limitações

climáticas; (e) limitações pela erosão presente e/ou risco de erosão e (s) limitações relativas ao solo.

Classe VIII: terras impróprias para cultura, pastagem ou reflorestamento, podendo servir apenas como abrigo e proteção da fauna e flora silvestre, como ambiente para recreação, ou para fins de armazenamento de água com (s) limitações relativas ao solo; (c) limitações climáticas; (e) limitações pela erosão presente e/ou risco de erosão e (s) limitações relativas ao solo.

4.1.8. Aptidão agrícola

Quanto à aptidão agrícola do município de Soledade, somente encontramos a ocorrência do grupo 5 nas áreas de relevo plano e suave ondulado; já nas áreas de maior altitude a classificação ficou enquadrada no grupo 6, conforme descrito abaixo na figura 25:

Do Grupo 5 - Aptidão Boa, Regular ou Restrita ou sem aptidão para silvicultura e/ou pastagem natural, consideradas como tipos de utilização dos níveis de manejo A e B. Foram encontrados para (5 n) a Aptidão Boa, Regular para pastagem natural numa área de 118,56 km, para (5 (n)) Aptidão Restrita para pastagem natural, numa área de 428,02 km².

Para o Grupo 6 - Sem Aptidão para uso agrícola, a não ser em casos especiais, indicado para preservação da flora e da fauna ou para recreação (6), sem aptidão Agrícola, a área encontrada foi de 14,22 km².

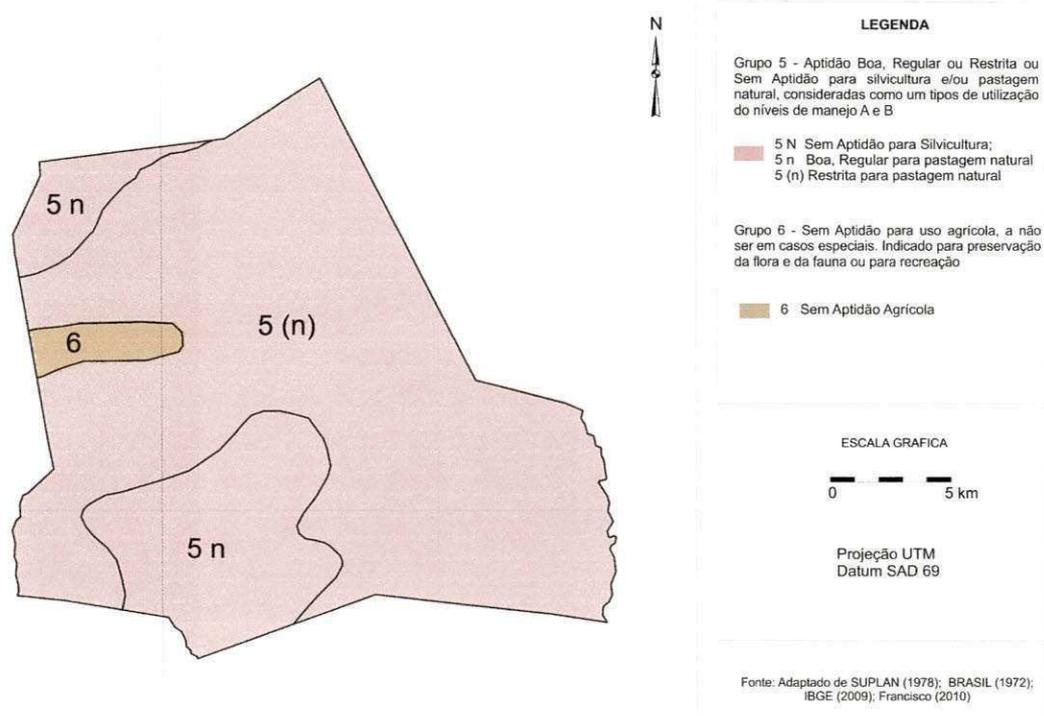


Figura 25. Mapa de aptidão agrícola do município de Soledade.

Fonte: Adaptado de BRASIL (1972); IBGE (2007); Francisco (2010).

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1. Material básico

Foram adquiridas imagens das bandas 5, 4 e 3 (R, G e B) do satélite Landsat 5-TM, através do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) das datas de 09/05/1987, 25/11/1996, 29/10/2009 e 24/05/2010, da órbita 215 ponto 65. As imagens foram selecionadas com base nos períodos característicos de disponibilidade e ausência de umidade, por permitir a separação das áreas ocupadas com cobertura daquelas onde a cobertura não se faz presente (e possibilitar o contraste entre os tipos variados de vegetação, solos), bem como permitir a diferenciação de corpos d'água e identificar as possíveis alterações na estrutura da vegetação.

Como material de apoio e referência, neste estudo foi utilizado o mapa de solos do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba (PARAÍBA, 2006), um arquivo digital da Malha Municipal Digital (IBGE, 2007), um mapa de aptidão agrícola, elaborado pela SUPLAN (1978) e uma imagem SRTM da área de estudo fornecido pela NASA (2012).

Contou também com as fontes de dados disponíveis, como trabalhos de campo, registros fotográficos e bibliografias disponíveis.

5.2. Equipamentos e programas

Foi utilizado um microcomputador, uma impressora, um aparelho GPS Garmim 76 para georreferenciar os alvos, e uma câmera digital para o registro dos pontos.

O programa Trackmaker versão 3.8 de avaliação foi utilizado para transferir os dados obtidos com o GPS para o SPRING versão 5.1.5, e, de forma auxiliar, utilizaram-se os módulos IMPIMA, SCARTA e IPLOT, com os quais se fez a leitura das imagens para a classificação e a elaboração dos mapas que foram editorados num programa gráfico.

Para a elaboração do índice NDVI foi utilizado o programa Erdas Imagine 8.5.

5.3. Metodologia

A metodologia utilizada está apresentada no fluxograma da figura 26 que apresenta os passos para elaboração desta pesquisa.

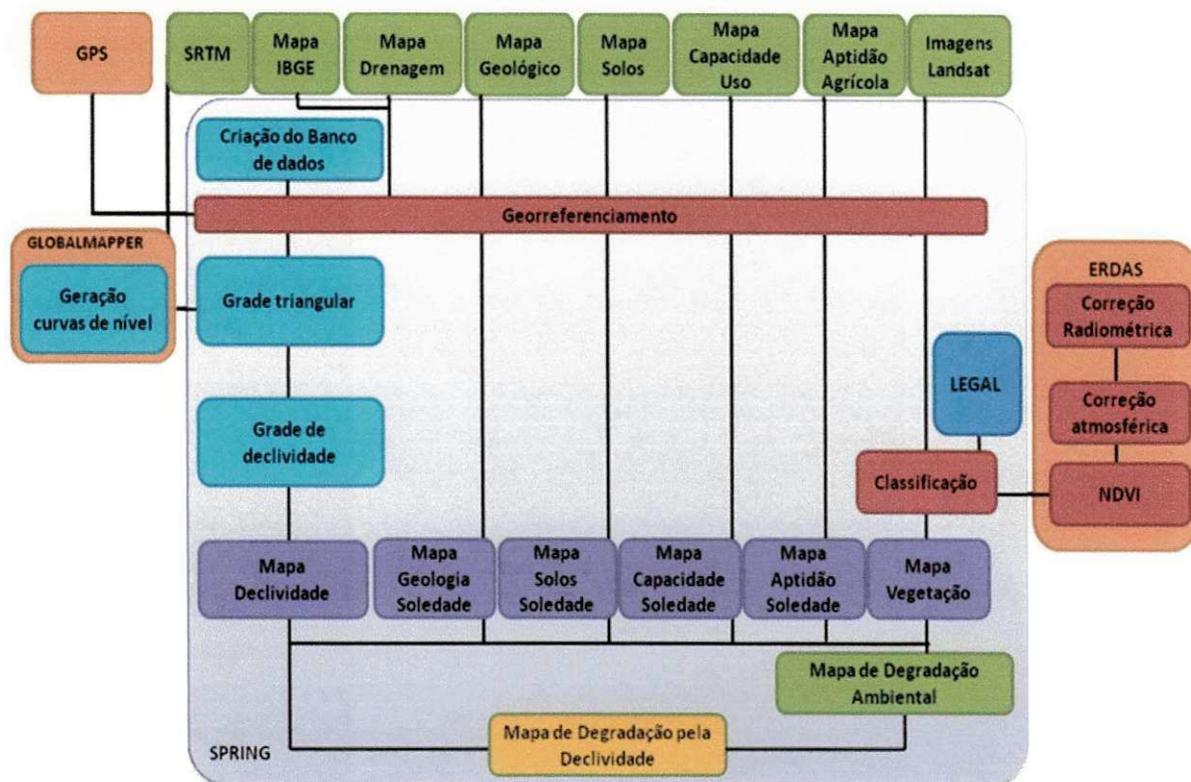


Figura 26. Fluxograma de trabalho.

5.3.1. Coleta de dados

Para a realização deste trabalho foram realizadas viagens de campo para a seleção e a aquisição de dados para as quais foi utilizado um GPS, para o registro de coordenadas (georreferenciamento) e uma máquina fotográfica, para o registro de imagens.

Para a descrição da vegetação em campo, foi utilizada a metodologia de Chagas *et al* (2008), através da qual se classificou a vegetação, separando como rala, esparsa, transição e densa.

5.3.2. Base de dados

Para o processamento das imagens, foi criado uma base de dados no SPRING com a Projeção/Datum UTM/SAD-69. Para auxiliar o georreferenciamento foi importado um arquivo DXF da Drenagem, obtido na AESA (2011), um arquivo de Solos, Classes de Capacidade de Uso das Terras e o Geológico de PARAÍBA (2006).

5.3.3. Curvas de nível e mapa de declividade

Utilizando-se a imagem SRTM do quadrante 24-ZD, foram geradas as curvas de nível com equidistância de 10 metros e importadas ao banco de dados.

Para gerar a grade triangular, foram utilizadas as curvas de nível como amostra e em seguida foi realizado o fatiamento da grade triangular com seus valores de cotas, originando um plano de informação da categoria temática, sendo associada a uma classe temática previamente definida no esquema conceitual do banco de dados ativo (Francisco, 2010).

Para geração do mapa de declividade, foram estabelecidas as fatias (Quadro 1), em função dos valores de declividade em porcentagem, adaptados de Ramalho Filho & Beek (1995) e utilizado por Francisco (2010).

Quadro 1. Classes de declividade

Limites de Classe (%)	Classes de Declividade
0-3	Nulo
3-8	Ligeiro
8-13	Moderado
13-20	Forte
20-45	Muito Forte
> 45	Extremamente Forte

Fonte. Ramalho Filho & Beek (1995).

5.3.4. Mapa geológico

Nesta etapa foi importado para o banco de dados o arquivo Geológico de PARAÍBA (2006) do qual se recortou a área de estudo, tomando como base os limites do município, através da função recorte do SPRING. Após isso, foram introduzidas cores e classes de solos, sendo o mapa temático editorado e salvo no formato JPEG.

5.3.5. Mapa de solos

Foi importado para o banco de dados o arquivo do IBGE (2007) e o arquivo de Solos de PARAÍBA (2006) do qual se recortou a área de estudo, tomando como base os limites do município, através da função recorte do SPRING. Após isso foram introduzidas as cores e classes de solos, sendo o mapa temático editorado e salvo em formato JPG.

5.3.6. Mapa de capacidade de uso das terras

Nesta etapa foi importado ao banco de dados o arquivo de Classes de Capacidade de Uso das Terras de PARAÍBA (2006) e realizado seu recorte da área de estudo, tomando como base os limites do município, através da função recorte do SPRING. Após foi introduzido as cores e classes, sendo o mapa temático editorado e salvo no formato JPG.

5.3.7. Mapa de uso atual e cobertura vegetal

De forma auxiliar, foi importado ao banco de dados o arquivo de Uso Atual elaborado por PARAÍBA (2006).

5.3.8. Mapa de aptidão agrícola

Foi importado inicialmente ao banco de dados o arquivo Solos do BRASIL (1972) fornecido por Francisco (2010), no formato SPR, em seguida foi elaborado o mapa de Aptidão Agrícola, conforme BRASIL (1978) e realizado o recorte da área de estudo, tomando como base os limites do município, através da função recorte do SPRING. Após isso, o mapa temático foi editorado e salvo em formato JPG.

5.3.9. Processamento das imagens e geração do índice de vegetação

Nesta etapa foi realizada a importação das bandas 3, 4 e 5 da região de estudo para o módulo IMPIMA, que foram transformadas do formato TIFF para o formato GRIB e salvas em arquivo.

Após essa etapa, foi importado ao banco de dados e realizada sua correção geométrica (registro), utilizando-se o método polinomial de primeira ordem para ajustar a imagem, tomando-se como base digital as coordenadas de pontos de controle da rede de drenagem, distribuídos ao longo da área.

Para um melhor processamento, foi realizado o recorte das áreas, tomando como base o limite do município.

Numa etapa de pré-processamento, foi realizado o realce de contraste das imagens de satélite com ajuda do histograma, as quais foram exportadas no formato TIFF.

Para o cálculo da reflectância e a transformação dos valores de ND, que estão entre 0 e 255, para valores de IVDN, que estão entre -1 e 1, utilizou-se do programa Erdas Imagine e o subprograma Model Maker, com o objetivo de facilitar a transformação dos números digitais das imagens do satélite em valores de significado físico - reflectância. Sendo necessário, para tanto, apenas entrar com algumas informações referentes à imagem, como sensor, data da imagem, ângulo de elevação solar, conforme tabela 3. Por fim aplicou-se na imagem a correção atmosférica.

Tabela 3. Descrição das bandas do Mapeador Temático (TM) do Landsat 5, com os correspondentes intervalos de comprimento de onda, coeficientes de calibração (radiância mínima – a e máxima – b) e irradiancias espectrais no topo da atmosfera (TOA).

Bandas	Comprimento de Onda (μm)	Coeficientes de Calibração ($\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$)		Irradiância Espectral no Topo da Atmosfera ($\text{Wm}^{-2}\mu\text{m}^{-1}$)
		a	b	
1 (azul)	0,45 – 0,52	-1,52	193,0	1957
2 (verde)	0,52 – 0,60	-2,84	365,0	1826
3 (vermelho)	0,63 – 0,69	-1,17	264,0	1554
4 (IV-próximo)	0,76 – 0,79	-1,51	221,0	1036
5 (IV-médio)	1,55 – 1,75	-0,37	30,2	215,0
6 (IV-termal)	10,4 – 12,5	1,2378	15,303	-
7 (IV-médio)	2,08 – 2,35	-0,15	16,5	80,67

Fonte: Allen *et al.* (2002).

A etapa da calibração radiométrica, em que o número digital (ND) de cada pixel da imagem é convertido em radiância espectral, representa a energia solar refletida por cada pixel, por unidade de área, de tempo, de ângulo sólido e de comprimento de onda, medida ao nível do satélite Landsat (705 Km), para as bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7; para a banda 6. Essa radiância representa a energia emitida por cada pixel, e a calibração é efetivada segundo a equação (Markham & Baker, 1987):

$$L_{\lambda_i} = a_i + \left(\frac{b_i - a_i}{255} \right) \text{ND}$$

onde a e b são as irradiancias espectrais mínima e máxima ($\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$, Tabela 3); ND é a intensidade do pixel (número digital – número inteiro de 0 a 255); e i corresponde às bandas (1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7) do satélite Landsat 5 - TM.

A Etapa do cômputo da reflectância monocromática de cada banda (ρ_{λ_i}), definida como sendo a razão entre o fluxo da radiação solar refletido e o fluxo da radiação solar incidente, é obtida segundo equação:

$$\rho_{\lambda_i} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda_i}}{k_{\lambda_i} \cdot \cos Z_r \cdot d_r}$$

onde L_{λ_i} é a radiância espectral de cada banda, k_{λ_i} é a irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera ($Wm^{-2} \mu m^{-1}$, Tabela 3), Z é o ângulo zenital solar obtido no próprio catálogo da imagem e d_r é o quadrado da razão entre a distância média Terra-Sol (r_0) e a distância Terra-Sol (r), em determinado dia do ano (DSA), que é dado por:

$$d_r = 1 + 0,033 \cos(DSA \cdot 2\pi / 365)$$

onde DSA representa o dia sequencial do ano e o argumento da função \cos está em radianos.

O valor médio anual de d_r é igual a 1,00 e o mesmo varia entre 0,97 e 1,03, aproximadamente. Quando a área de estudo tem pequena declividade, o cosseno do ângulo de incidência da radiação solar é simplesmente obtido a partir do ângulo de elevação do Sol – E , que se encontra no cabeçalho da imagem, ou seja:

$$\cos z = \cos\left(\frac{\pi}{2} - E\right) = \text{sen}(E)$$

em que o argumento do \cos está em radiano.

O NDVI é obtido através da razão entre a diferença das refletividades do IV-próximo (ρ_{IV}) e do vermelho (ρ_V), pela soma das mesmas:

$$NDVI = \frac{\rho_{IV} - \rho_V}{\rho_{IV} + \rho_V}$$

onde ρ_{IV} e ρ_V correspondem, respectivamente, às bandas 4 e 3 do Landsat 5 – TM.

O NDVI é um indicador sensível da quantidade e da condição da vegetação verde. Seus valores variam de -1 a $+1$ e para superfícies com alguma vegetação, o NDVI varia de 0 e 1, já para a água e nuvens o NDVI geralmente é menor que zero.

5.3.9.1. Classificação de padrões de imagens

Para a classificação das imagens, foi importada a base de dados do SPRING e elaborada em seu subprograma LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico) a classificação das imagens de época úmida (Anexo 1), utilizando-se os dados da tabela 4 e a metodologia adaptada de Lourenço & Landim (2004), de acordo com os tipos a seguir:

Tabela 4. Valores de NDVI utilizados na seleção de classes de cobertura vegetal no período úmido

Classe	NDVI
Vegetação densa	> 0,60
Vegetação de transição	0,40 a 0,60
Vegetação esparsa	0,30 a 0,40
Vegetação rala	0,20 a 0,30
Solo exposto	0,0 a 0,20
Água	< 0,0

Fonte: Chagas *et al.* (2008).

Para a classificação das imagens de época seca (Anexo 2), foram utilizados os parâmetros para a classificação da vegetação, de acordo com os tipos da Tabela 5.

Tabela 5. Valores de NDVI utilizados na seleção de classes de cobertura vegetal no período seco

Classe	NDVI
Vegetação densa	> 0,35
Vegetação de transição	0,30 a 0,35
Vegetação esparsa	0,25 a 0,30
Vegetação rala	0,10 a 0,25
Solo exposto	0,0 a 0,10
Água	< 0,0

Fonte: Adaptado de Chagas *et al.* (2008).

As imagens classificadas permitem fazer uma quantificação das diferentes classes de vegetação, solo e água para o município estudado.

5.3.9.2. Mapas de índice de vegetação

A geração dos mapas foi realizada no SPRING, no módulo SCARTA, (gerando um arquivo final), e, após editorado num software para design gráfico, foram editados o título, tamanho, texto, escala, legenda e localização, os mapas temáticos foram salvos no formato JPG para impressão.

5.3.9.3. Mapa de degradação ambiental

Nesta etapa foi criado no SPRING, no subprograma LEGAL - Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico (Anexo 3), para gerar os mapas de degradação, conforme a Tabela 6, usando-se a seguinte nomenclatura: Manteve (áreas onde a vegetação local não sofreu alterações ao longo dos anos do estudo); Regeneração (áreas onde a vegetação local encontra-se em estágio de regeneração ao longo dos anos do estudo); Degradação (áreas onde a vegetação local foi degradada ao longo dos anos do estudo).

Tabela 6. Parâmetros de composição do LEGAL

Relação	Classes					
Classes	Densa	Transição	Esparsa	Rala	Solo exposto	Água
Densa	Manteve	Degradação	Degradação	Degradação	Degradação	Degradação
Transição	Regeneração	Manteve	Degradação	Degradação	Degradação	Degradação
Esparsa	Regeneração	Regeneração	Manteve	Degradação	Degradação	Degradação
Rala	Regeneração	Regeneração	Regeneração	Manteve	Degradação	Degradação
Solo exposto	Regeneração	Regeneração	Regeneração	Regeneração	Manteve	Degradação
Água	-	-	-	-	-	Manteve

A geração dos mapas foi realizada no módulo SCARTA, gerando um arquivo que, foi impresso, após editorado num programa gráfico, em que foram editados aspectos, como título, tamanho, texto, escala, legenda, localização.

5.3.9.4. Mapa de distribuição da vegetação

Nesta etapa, foi criado no SPRING no subprograma LEGAL - Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico (Anexo 5) para gerar os mapas de distribuição da vegetação em relação à declividade, de acordo com a Tabela 7.

A geração dos mapas foi realizada no módulo SCARTA, gerando um arquivo e, que, após editorado num programa gráfico, onde foram editados aspectos, como título, tamanho, texto, escala, legenda, localização, foi finalmente impresso.

Tabela 7. Parâmetros de composição do LEGAL

Classes	Nula	Ligeira	Moderada	Forte	Muito Forte	Extremamente Forte
Densa	D-N	D-L	D-M	D-F	D-MF	D-EF
Transição	T-N	T-L	T-M	T-F	T-MF	T-EF
Esparsa	E-N	E-L	E-M	E-F	E-MF	E-EF
Rala	R-N	R-L	R-M	R-F	R-MF	R-EF
Solo exposto	S-N	S-L	S-M	S-F	S-MF	S-EF
Água	A-N	A-L				

Legenda: D-N (vegetação densa na declividade nula); D-L (vegetação densa na declividade ligeira); D-M (vegetação densa na declividade moderada); D-F (vegetação densa na declividade forte); D-MF (vegetação densa na declividade muito forte); D-EF (vegetação densa na declividade extremamente forte); T-N (vegetação de transição na declividade nula); T-L (vegetação de transição na declividade ligeira); T-M (vegetação de transição na declividade moderada); T-F (vegetação de transição a na declividade forte); T-MF (vegetação de transição na declividade muito forte); T-EF (vegetação de transição na declividade extremamente forte); E-N (vegetação esparsa na declividade nula); E-L (vegetação esparsa na declividade ligeira); E-M (vegetação esparsa na declividade moderada); E-F (vegetação esparsa na declividade forte); E-MF (vegetação esparsa na declividade muito forte); E-EF (vegetação esparsa na declividade extremamente forte); R-N (vegetação rala na declividade nula); R-L (vegetação rala na declividade ligeira); R-M (vegetação rala na declividade moderada); R-F (vegetação rala a na declividade forte); R-MF (vegetação rala na declividade muito forte); R-EF (vegetação rala na declividade extremamente forte); S-N (solo exposto na declividade nula); S-L (solo exposto na declividade ligeira); S-M (solo exposto na declividade moderada); S-F (solo exposto na declividade forte); S-MF (solo exposto na declividade muito forte); S-EF (solo exposto na declividade extremamente forte); A-N (água na declividade nula); A-L (água na declividade ligeira).

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. Análise da pluviosidade nos anos de 1987, 1996, 2009 e 2010

Na Tabela da distribuição da pluviosidade (Tabela 8) podemos observar que o total anual de chuvas na época úmida foi mais expressivo no ano de 2010 (405,2 mm), em relação ao ano de 1987 (273,3 mm), enquanto que na época seca o total anual de chuvas foi mais expressivo no ano de 2009 (491,6 mm), em relação ao ano de 1996 (382 mm).

Tabela 8. Distribuição da pluviosidade no município de Soledade

POSTO	1987 (NDVI úmido)				1996 (NDVI seco)				2009 (NDVI seco)				2010 (NDVI úmido)			
	Mar	Abr	Mai	Anual	Set	Out	Nov	Anual	Ago	Set	Out	Anual	Mar	Abr	Mai	Anual
Soledade/Fazenda Pendência	200	35,2	2,5	273,3	0,2	0	0	382	19,4	0,2	0	491,6	31,6	37,4	45,2	405,2

Fonte: SUDENE (1990); AESA (2012).

6.1.1. Pluviosidade da época úmida

Nas figuras que se seguem podemos observar os índices pluviométricos nas datas que antecedem a coleta das imagens selecionadas para época úmida (05/1987 e 05/2010), as quais demonstram as características de disponibilidade e ausência de umidade na área de estudo:

Nas Figuras 27 (gráfico da pluviosidade de 1987) e 28 (gráfico da pluviosidade de 2010), que representam o NDVI úmido, podemos observar que a quantidade de chuva entra em declínio a partir do mês de abril no ano de 1987, enquanto que, no ano de 2010, as chuvas estão em ascensão a partir do mês de março. Deve-se observar que as duas imagens utilizadas no estudo desenvolvido foram registradas no mês de maio.

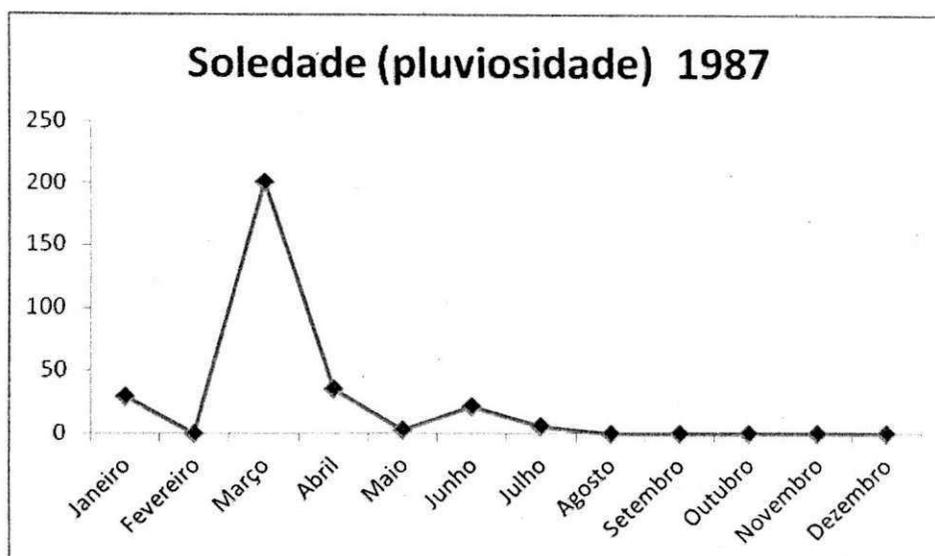


Figura 27. Pluviosidade de 1987. Fonte: SUDENE (1990).

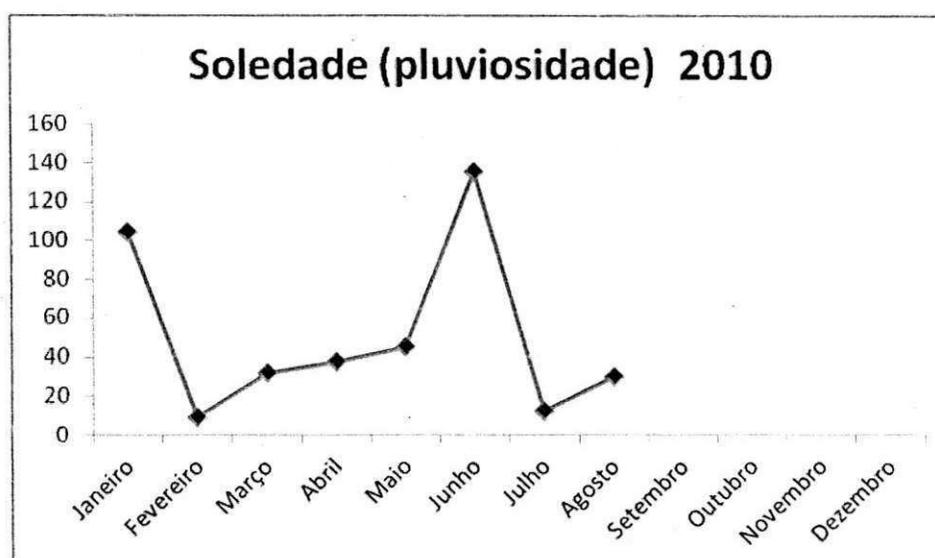


Figura 28. Pluviosidade de 2010. Fonte: AESA (2012).

6.1.2. Pluviosidade da época seca

Nas Figuras 29 (gráfico da pluviosidade de 1996) e 30 (gráfico da pluviosidade de 2009), que representam o NDVI seco, podemos observar que existiram algumas ocorrências de chuvas no trimestre que antecede a coleta da imagem de satélite da área de estudo, em ambos os anos. Observa-se que as imagens utilizadas para o NDVI seco foram coletadas em

meses diferentes: no ano de 1996 a coleta ocorreu no mês de novembro, enquanto que no ano de 2009 a coleta ocorreu no mês de outubro. Mesmo com a ausência de chuvas no momento da coleta de imagens no ano de 2009, o acumulado nos meses anteriores foi superior (491,6 mm), em relação ao ano de 1996 (382 mm). Por este motivo, pode-se notar na tabela 12, no comparativo, uma área maior ocupada por água na barragem de Soledade em 2009, como também pode-se observar, nas imagens classificadas do NDVI seco (Figuras 44 e 45), uma maior área ocupada por água do ano mencionado, na referida barragem.

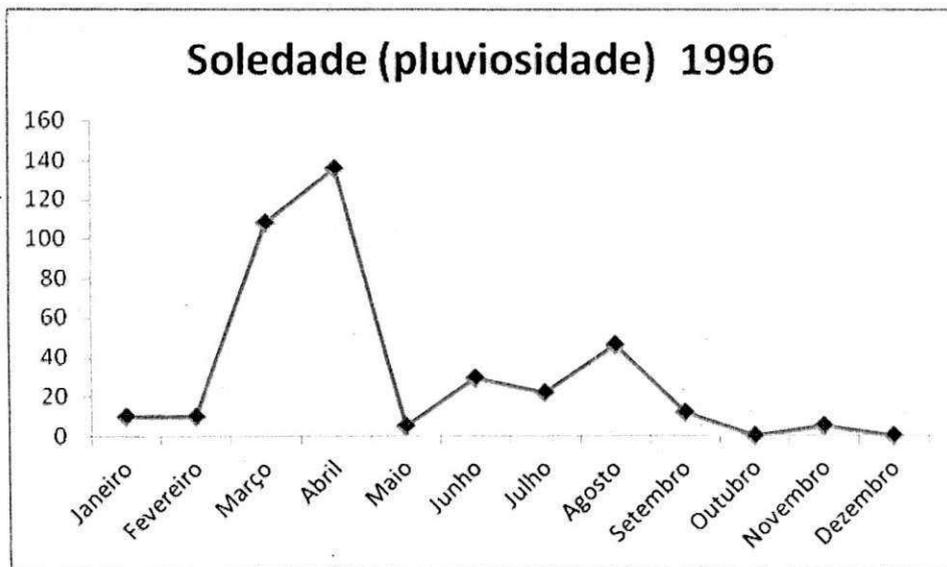


Figura 29. Pluviosidade de 1996. Fonte: AESA (2012).

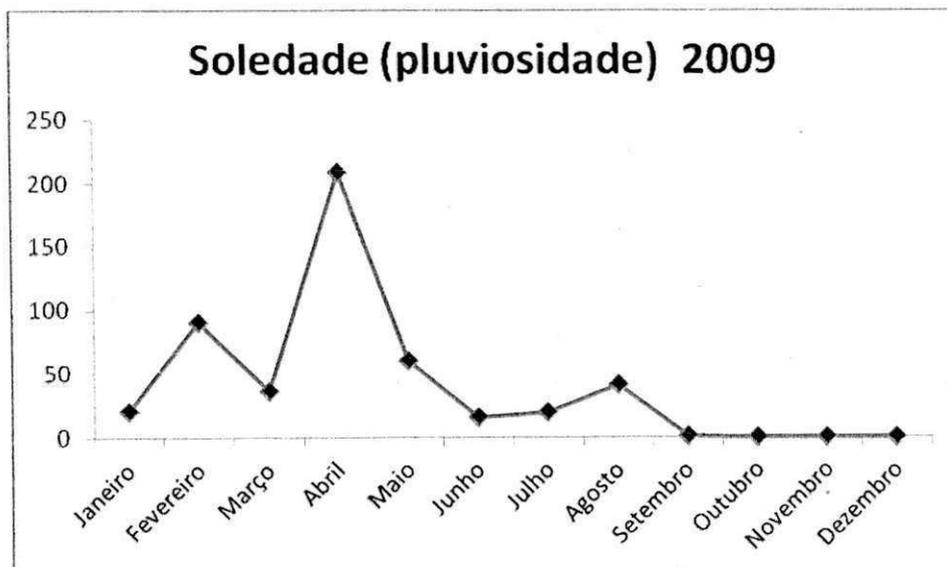


Figura 30. Pluviosidade de 2009. Fonte: AESA (2012).

6.2. Análise da produção agrícola

Observando-se a Tabela 9 e os gráficos das Figuras 31 a 35, nota-se a redução da área plantada, principalmente em 2010, onde o total chega a apenas 1,22 km². A partir de 2002 passa a inexistir a produção do sisal e do algodão. O feijão e o milho, que chegaram a ter uma área total plantada no ano de 1992 de 102,8km², tiveram diminuída sua área de plantação, em 2010, para 1,2 km². A redução da área plantada nos últimos 20 anos contribuiu diretamente para a recuperação da vegetação nas áreas de solo exposto, utilizados por estes tipos de culturas no ato do plantio/manejo e que, devido ao abandono da atividade, passaram a configurar na imagem do NDVI úmido de 2010 (Figura 42) e NDVI seco 2009 (Figura 45), na área de outros tipos de vegetações, principalmente na de transição e na densa (Tabelas 11 e 12).

Tabela 9. Principais culturas do município em km²

Culturas	1990	1992	1994	1996	1998	2000	2002	2004	2006	2008	2010
Sisal	25	18	3	0,2	0,1	0	0	0	0	0	0
Algodão	0,5	8	0	0,4	1,3	0,8	0	0	0	0,15	0
Herbáceo											
Feijão	45,2	51,8	15	9,8	25	45	20	25	20	12	0,6
Milho	0	51	20	7,88	25	45	20	25	20	12	0,6
Mandioca	0,5	2	0,1	0,09	0,1	0	4,09	0	0,2	0,2	0,02
Totais	71,2	130,8	38,1	18,37	51,5	90,8	44,09	50	40,2	24,35	1,22

Fonte: IBGE (2012).

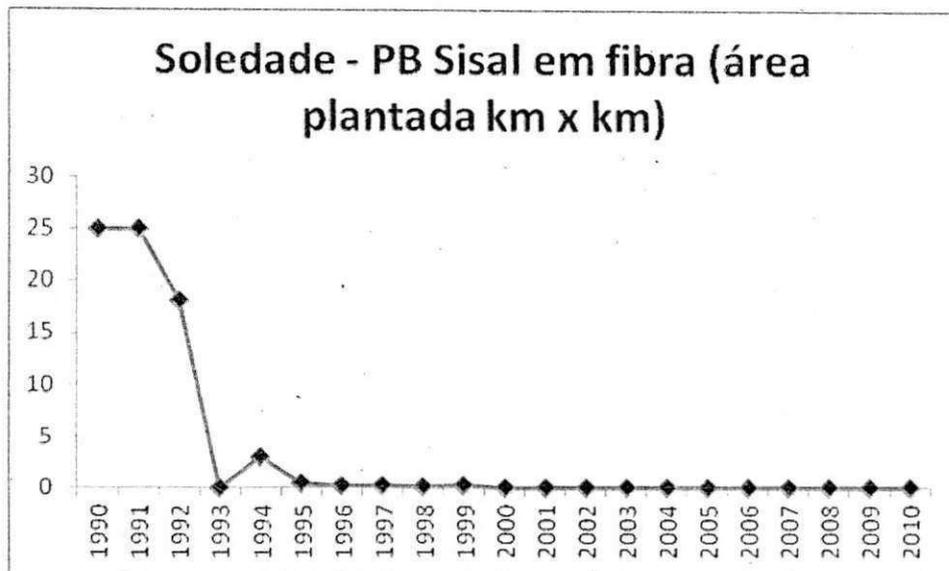


Figura 31. Área plantada com sisal (km²). Fonte: IBGE (2012).

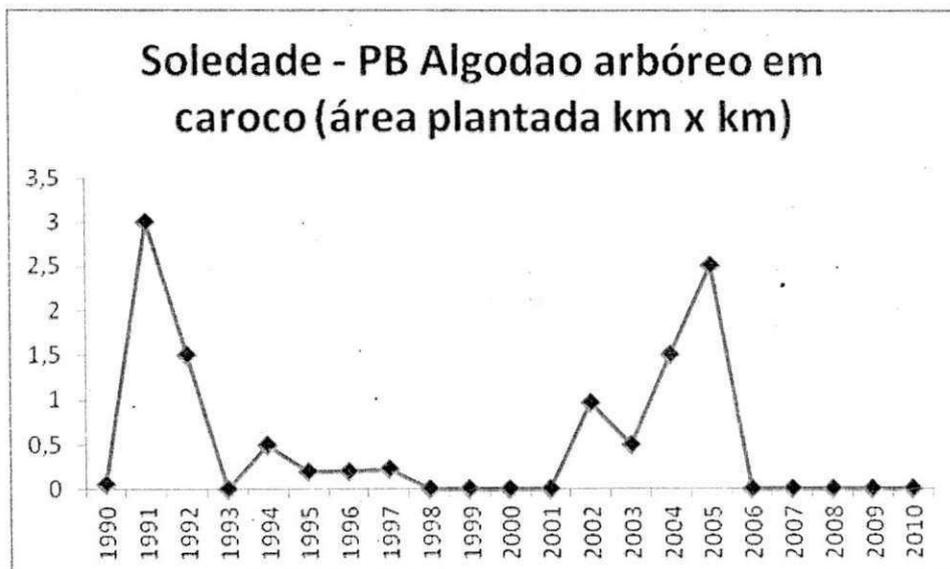


Figura 32. Área plantada com algodão herbáceo (km²). Fonte: IBGE (2012).

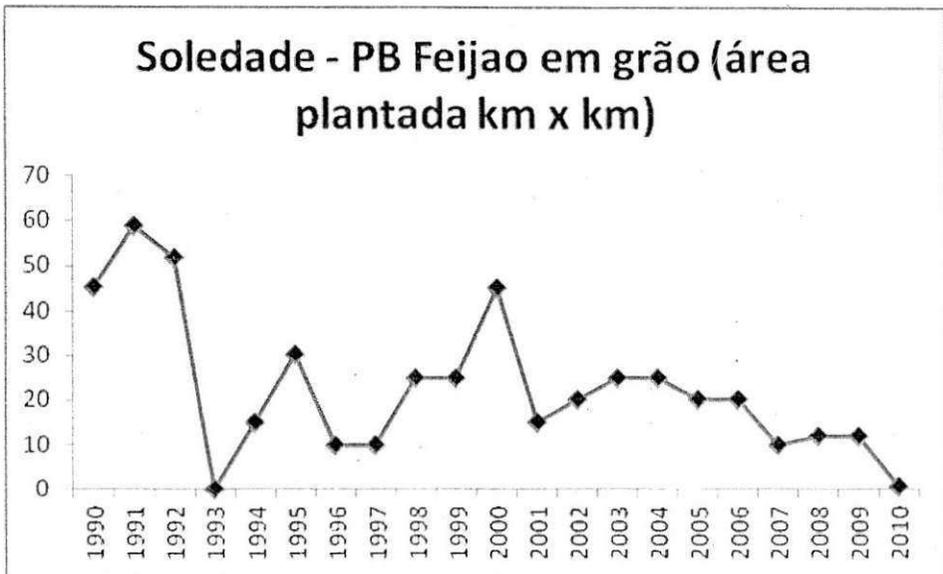


Figura 33. Área plantada com feijão em grãos (km²). Fonte: IBGE (2012).



Figura 34. Área plantada com milho em grão (km²). Fonte: IBGE (2012).

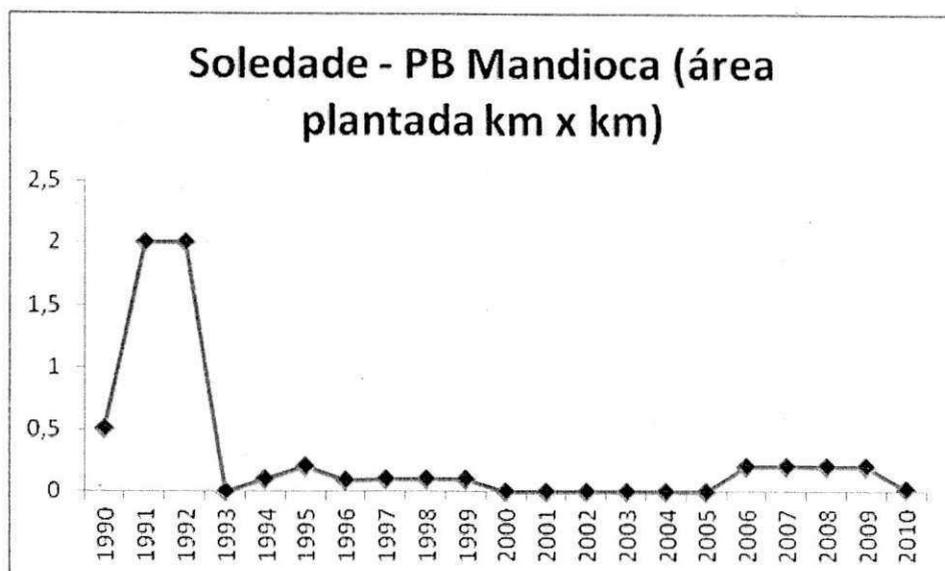


Figura 35. Área plantada com mandioca (km²). Fonte: IBGE (2012).

6.3. Análise da pecuária

Na Tabela 10 e nos gráficos das Figuras 36 a 38, observa-se que o rebanho bovino praticamente manteve-se ao longo dos últimos 30 anos, conforme o IBGE (2012). Em 1980 eram 9.232 cabeças e em 2010, 9.497 cabeças. No rebanho de caprinos e na avicultura (galinhas/frangos) houve um aumento significativo do quantitativo existente em 1980 (10000 cabeças de caprinos e 7481 galinhas/frangos) em relação a 2010 (17073 cabeças de caprinos e 78710 galinhas/frangos).

O maior acréscimo ao longo dos anos citados foi na avicultura (galinha/frangos). Este tipo de criação é instalado de forma intensiva em galpões, ocupando pequenas áreas e gerando renda para os produtores rurais em curto espaço de tempo, na forma de integração com grandes empresas de avicultura, em substituição a outras atividades, inclusive em detrimento à agricultura, que ocupa áreas maiores e que está exposta às necessidades hídricas de larga escala.

O aumento da avicultura também pôde ter contribuído para o abandono de áreas na agricultura e regeneração da vegetação, conforme observado na imagem do NDVI úmido de 2010 (Figura 42) e NDVI seco 2009 (Figura 45). O manejo do rebanho bovino e caprino é realizado de forma semiextensiva no município de Soledade.

Tabela 10. Principais rebanhos/avicultura do município

Rebanhos/Avicultura	1980 (cabeças)	1985 (cabeças)	1990 (cabeças)	1995 (cabeças)	2000 (cabeças)	2005 (cabeças)	2010 (cabeças)
Bovino	9232	16309	5300	3726	3571	5342	9497
Caprino	10000	13783	6700	1530	13486	14250	17073
Galinhas/Frangos	7481	5948	10809	1810	7975	25556	78710
Totais	26713	36040	22809	7066	25032	45148	105280

Fonte: IBGE (2012).

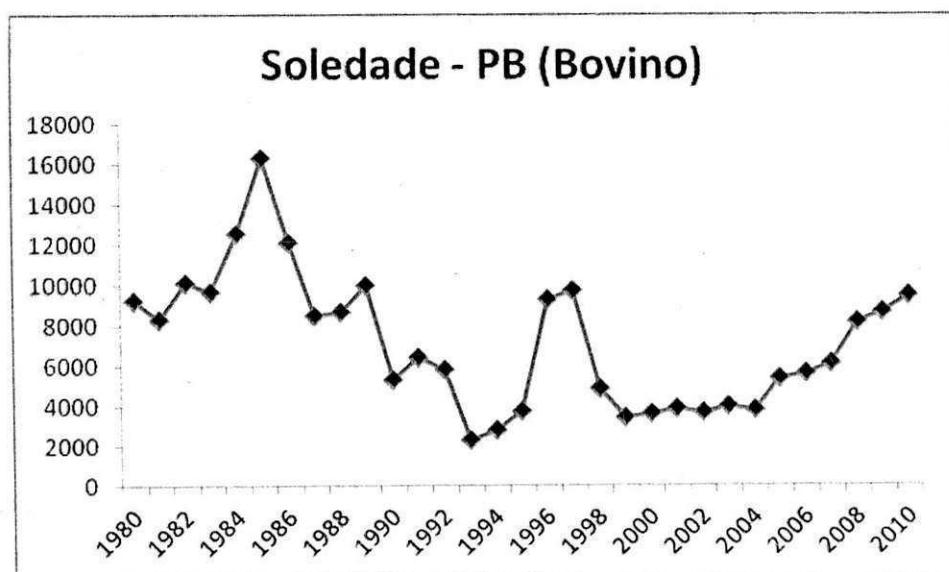


Figura 36. Rebanho bovino (cabeças). Fonte: IBGE (2012).

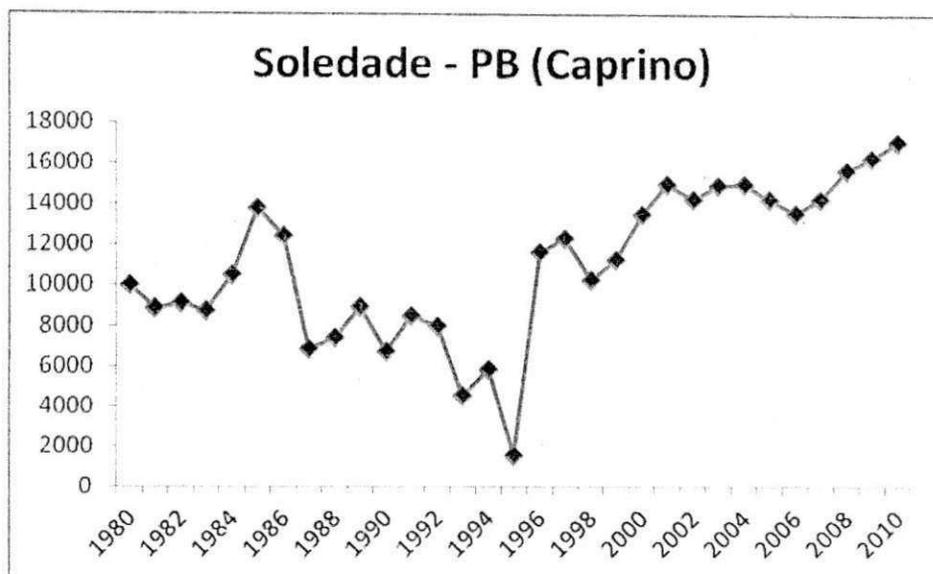


Figura 37. Rebanho caprino (cabeças). Fonte: IBGE (2012).

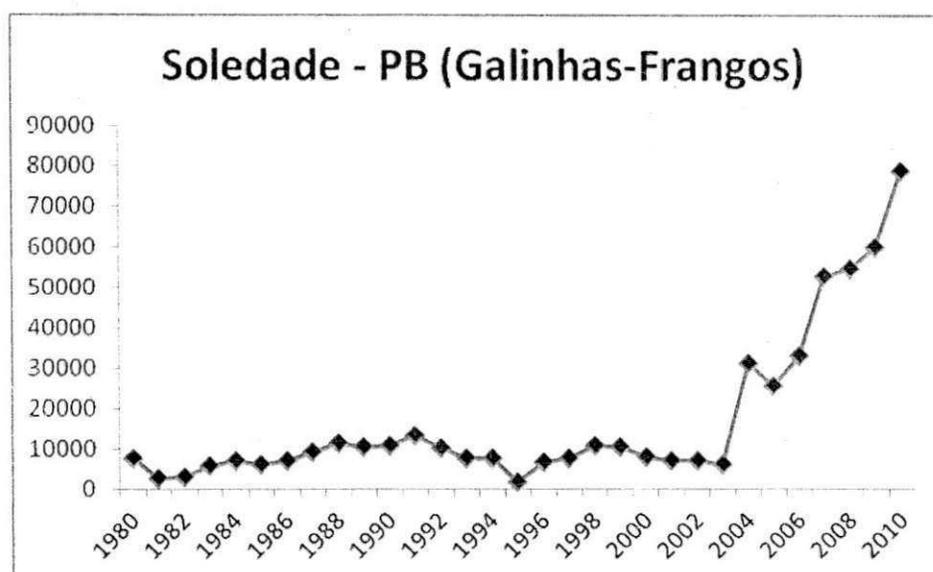


Figura 38. Avicultura (galinhas/frangos). Fonte: IBGE (2012).

6.4. Mapa de declividade e curvas de nível

O relevo apresenta-se distribuído com declividade Nula em 382,01 km², Ligeira em 148,15 km², Moderada em 22,54 km², Forte em 4,77 km², Muito Forte em 3,18 km², e

Extremamente Forte em $0,15 \text{ km}^2$, perfazendo um total de $560,8 \text{ km}^2$. Na figura 39, temos o mapa de isolinhas (curvas de nível) com a distribuição das altitudes de 10 em 10 metros.

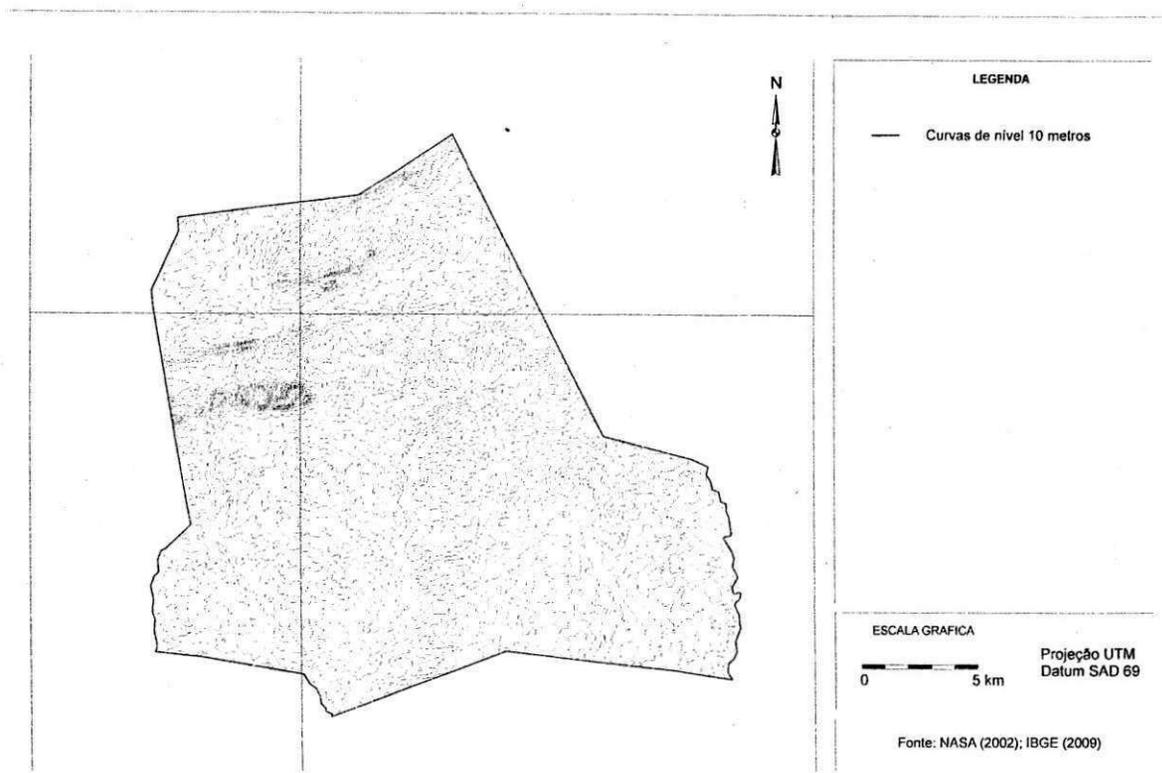


Figura 39. Mapa das curvas de nível da área de estudo.
Fonte: Adaptado de NASA (2010) e IBGE (2007).

6.5. Mapa de drenagem

Na área de estudo foi encontrado 373,2 km de drenagem (figura 40). O município encontra-se inserido na Bacia do Rio Taperoá, sendo banhado pelo Rio Soledade, que é temporário, permanecendo com o leito seco a maior parte do ano. Para atenuar o problema de falta d'água, alguns açudes foram construídos, sendo o de Soledade o maior deles. Foi construído pelo antigo IFOCS entre 1912-1933 e possui capacidade máxima de $27.058.000 \text{ m}^3$.

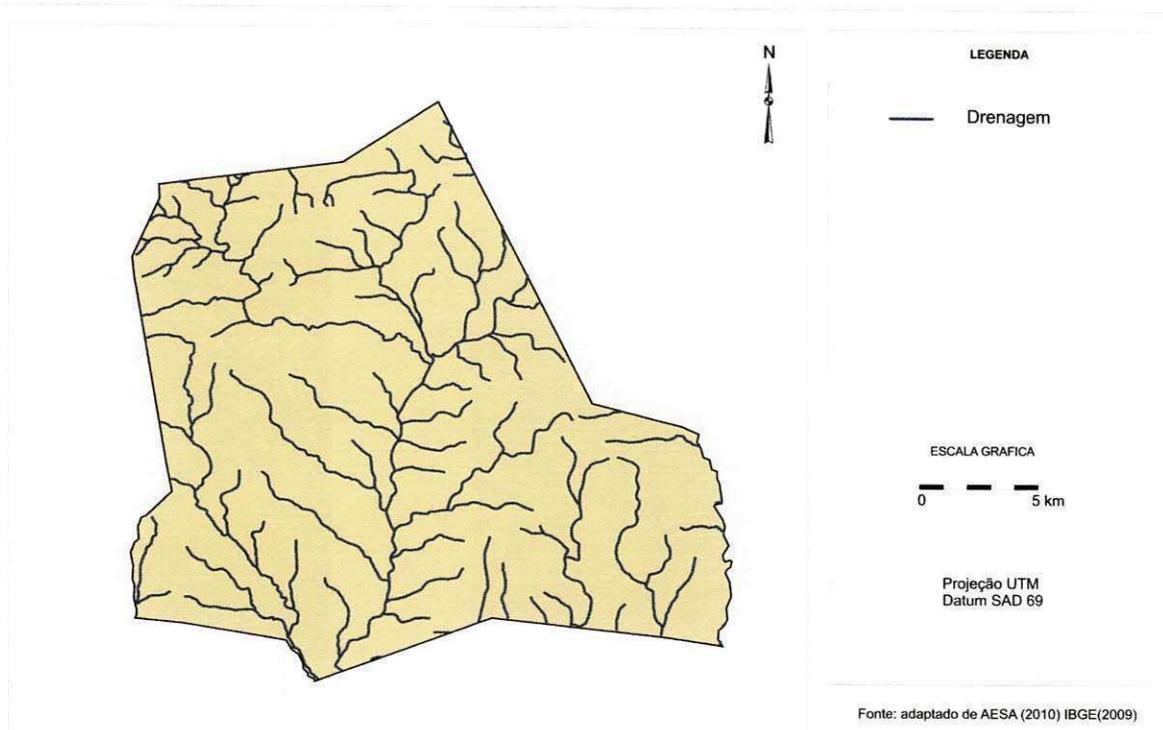


Figura 40. Mapa de drenagem do município de Soledade.
 Fonte: Adaptado de NASA (2010) e IBGE (2007).

6.6. Mapas de cobertura vegetal e uso da terra

6.6.1 Período úmido

No mapa de cobertura vegetal do ano de 1987 (Figura 41), observa-se que a classe solo exposto apresenta uma área de 193,56 km² representando 34,51% da área total; a classe de vegetação rala apresenta 195,2 km², equivalendo a 34,81%; a classe esparsa, com 160,7 km² representa 28,65%; a classe transição conta com 11,2 km², equivalendo a 2% e a classe densa, com 0,05 km², representa 0,01% da área total de 560,8 km².

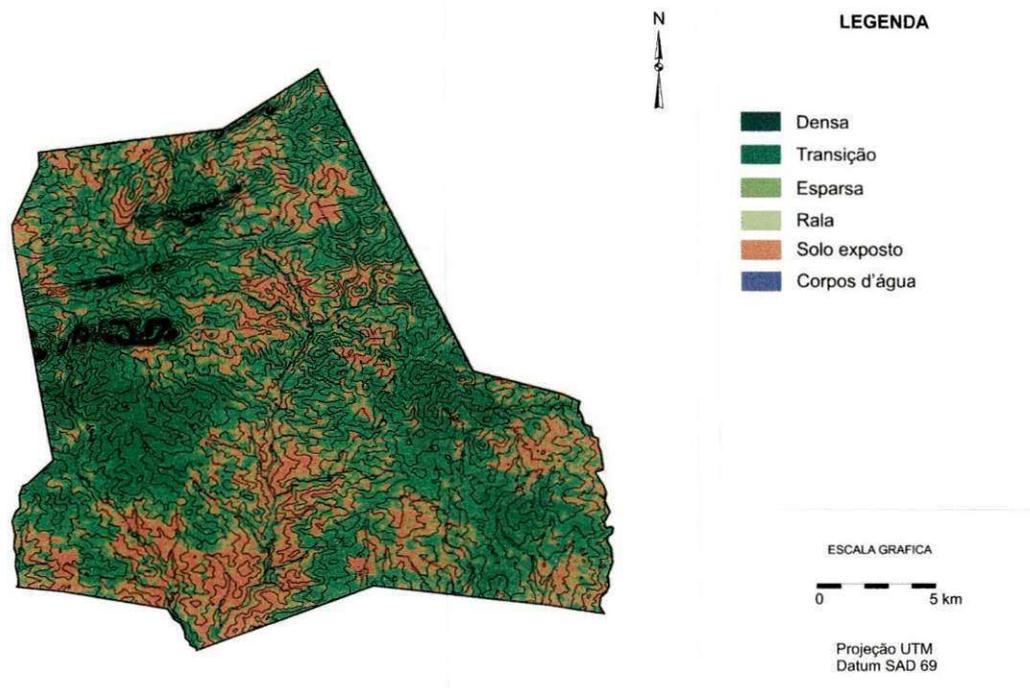


Figura 41. Mapa de cobertura vegetal do município de Soledade - maio de 1987.

No mapa de vegetação do ano de 2010 (Figura 42), observa-se que a classe solo exposto conta com uma área de 17,84 km², representando 3,19% da área total; a classe de vegetação rala apresenta 35,77 km², correspondendo a 6,38%, a classe esparsa, com 217,83 km², representa 38,84%; a classe transição conta com 249,81 km², equivalendo a 44,54% e a classe densa, com 36,5 km², representa 6,51%, da área total de 560,8 km².

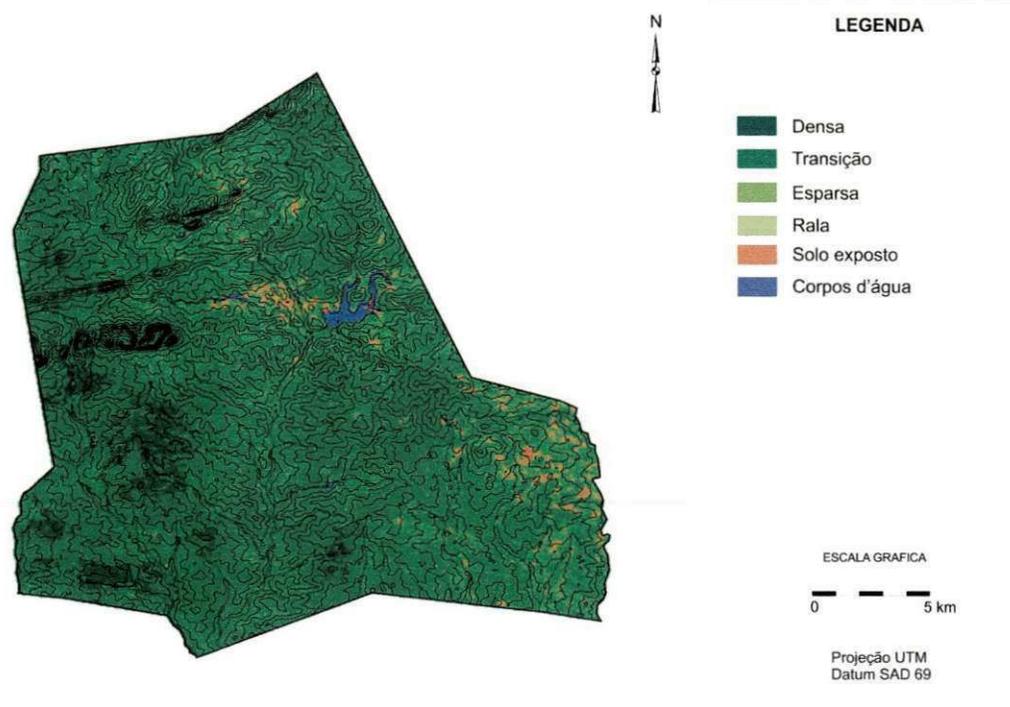


Figura 42. Mapa de cobertura vegetal do município de Soledade - maio de 2010.

Ao analisarmos a tabela 11, que representa os valores das diferentes classes de vegetação na época úmida, no período compreendido entre os anos de 1987 e 2010 (Figuras 41 e 42), podemos observar que ocorreram acréscimos na vegetação densa de 6,5% com 36,45 km², na vegetação de transição de 42,54% com 238,61 km² e na vegetação esparsa de 10,19% com 57,13 km². Já na vegetação rala ocorreu o fenômeno inverso: a área de cobertura desta classe de vegetação reduziu em 28,43%, correspondendo a 159,43 km², como também a classe de solo exposto em 31,32%, representando 175,12 km². Quanto à classe corpos d'água, no caso do açude de Soledade e dos demais mananciais hídricos do município, estes tiveram um acréscimo de área de 0,52%, demonstrando, assim, que na data da imagem utilizada de 09/05/1987 a ocorrência de chuvas, no período anterior a sua captura pelo satélite, foi menor do que no período anterior à coleta da imagem de 24/05/2010.

A redução na área de solo exposto pode ser explicada pelo abandono das terras agricultáveis, que, em 1987, tinham como carro chefe as culturas do sisal e do algodão arbóreo, segundo o IBGE, e que, em 2010, passaram a configurar principalmente com a pecuária, tendo como principais atividades a caprinocultura e a bovinocultura (semiextensiva e extensiva) (IBGE, 2012).

Ao longo dos 23 anos, analisando-se a evolução temporal das imagens utilizadas, observa-se que a classe de vegetação esparsa e a de transição foram as que apresentaram maior acréscimo de área (2010). As áreas que antes (1987) representavam solos expostos e com vegetação rala foram abandonados e entraram em um processo de regeneração. Pode-se observar, na Figura 43, um típico exemplo de casa abandonada pelos seus moradores na zona rural do município de Soledade, PB.



Figura 43. Casa abandonada na área de estudo (S 07°04'54,9"; W 36°20'22,8").

Tabela 11. Áreas das classes de vegetação e água da época úmida

Relação de Classes	1987 (km ²)	%	2010 (km ²)	%	1987 Vs. 2010 (km ²)	%
Densa	0,05	0,01	36,5	6,51	+36,45	+6,5
Transição	11,2	2	249,81	44,54	+238,61	+42,54
Esparsa	160,7	28,65	217,83	38,84	+57,13	+10,19
Rala	195,2	34,81	35,77	6,38	-159,43	-28,43
Solo Exposto	193,56	34,51	17,84	3,19	-175,72	-31,32
Água	0,09	0,02	3,05	0,54	+2,96	+0,52
Área Total	560,8	100	560,8	100	0	0

6.6.2 Período seco

No mapa de vegetação do ano de 1996 (Figura 44), observa-se que a classe solo exposto conta com uma área de 13,93 km², representando 2,48% da área total, a classe de vegetação rala apresenta 374,72 km², com 66,81%; a classe esparsa, com 102,92 km², representa 18,36%; a classe transição conta com 41,15 km², equivalendo a 7,34% e a classe densa, com 27,99 km², representa 4,99% da área total de 560,8 km².

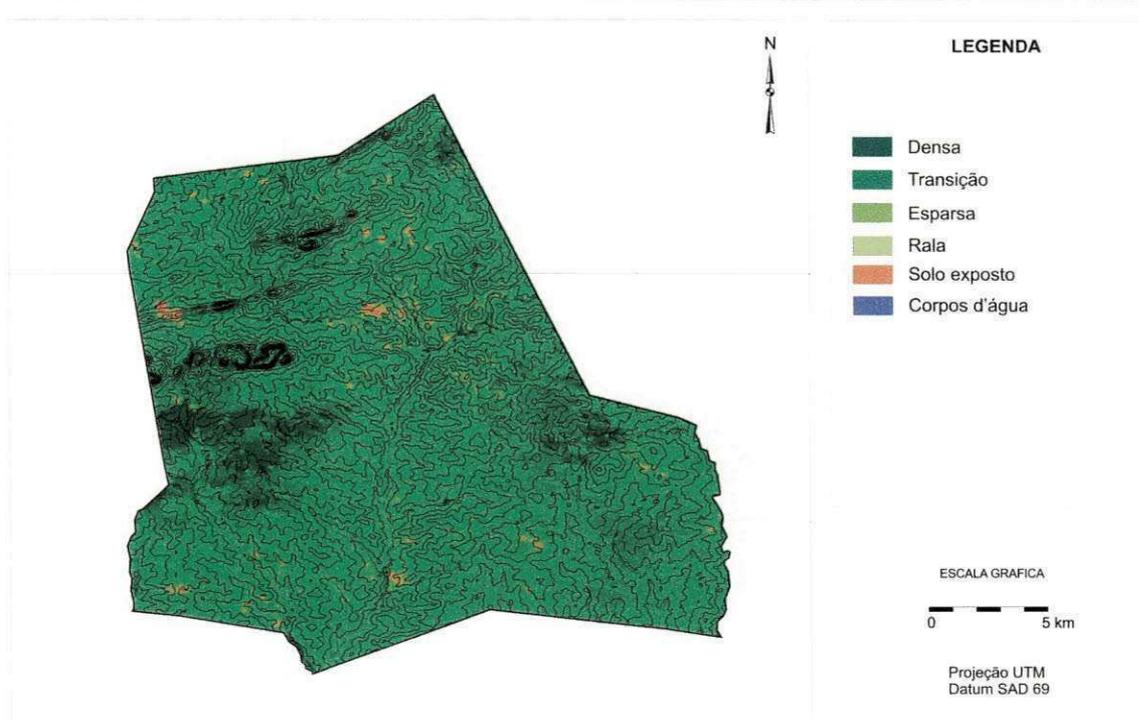


Figura 44. Mapa de cobertura vegetal do município de Soledade - novembro de 1996.

No mapa de vegetação do ano de 2009 (Figura 45), observa-se que a classe solo exposto conta com uma área de 4,34 km², representando 0,8% da área total; a classe de vegetação rala apresenta 44,29, km² com 7,91%; a classe esparsa, com 217,84 km², representa 38,89%; a classe transição conta com 228,79 km², equivalendo a 40,8% e a classe densa, com 61,88 km², representa 11,05% da área total.

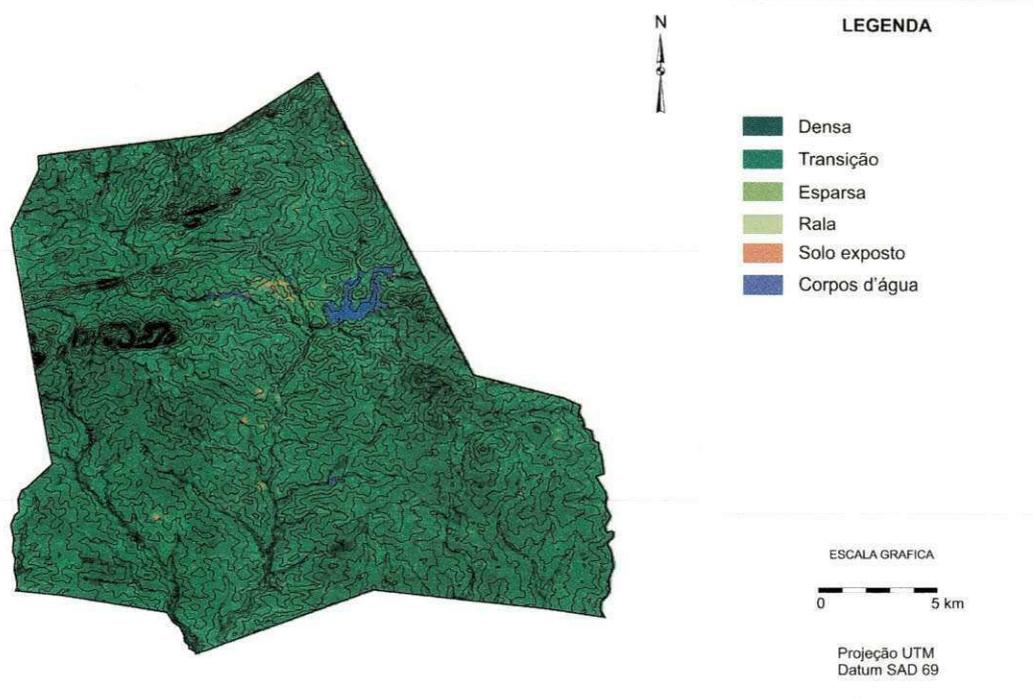


Figura 45. Mapa de cobertura vegetal do município de Soledade - outubro de 2009.

Na tabela 12 podemos observar a distribuição das classes de vegetação. Comparando-se as áreas do ano de 1996, em relação às áreas de 2009, observamos um aumento na classe esparsa de 20,53% da área total; na classe de transição, um aumento de 33,46% e na classe de vegetação densa observa-se um aumento de 6,06%. Nas classes de vegetação rala e solo exposto, houve uma diminuição das áreas de 58,9% e 1,68%, respectivamente.

Tabela 12. Área das Classes de vegetação e água da época seca

Classes de Vegetação	1996 (km²)	%	2009 (km²)	%	1996 Vs. 2009	%
Densa	27,99	4,99	61,88	11,05	+33,89	+6,06
Transição	41,15	7,34	228,79	40,8	+187,64	+33,46
Esparsa	102,92	18,36	217,84	38,89	+114,92	+20,53
Rala	374,72	66,81	44,29	7,91	-330,43	-58,9
Solo Exposto	13,93	2,48	4,34	0,8	-9,59	-1,68
Água	0,09	0,02	3,66	0,55	+3,57	+0,53
Área Total	560,8	100	560,8	100	0	0

Ao analisarmos a Tabela 12, que representa os valores das diferentes classes de vegetação na época seca no período compreendido entre os anos de 1996 e 2009 (Figuras 44 e 45), pode-se observar que, assim como na análise em relação à época úmida, também ocorreram acréscimos na vegetação densa de 6,06%, representando 33,89 km²; na vegetação de transição, de 33,46% com 187,64 km² e na vegetação esparsa, de 20,53%, representando 114,92 km². Já na classe de vegetação rala, igualmente à análise da época úmida, a área de cobertura desta classe de vegetação e o solo exposto reduziram em 58,9% com 330,43 km² e 1,68% com 9,59 km², respectivamente. Quanto à quantidade de água do açude de Soledade e demais mananciais hídricos do município, estes tiveram um acréscimo de 0,53%, no período compreendido entre as duas imagens classificadas de 25/11/1996 a 28/10/2009.

Os resultados do aumento de algumas classes das áreas de vegetação, observados neste trabalho, são condicionados por algumas variáveis, como o abandono da agricultura na região causadas pela falta de incentivo e financiamentos públicos, fenômenos climáticos, como a seca e a conseqüente migração para os centros urbanos. Observa-se, na Figura 46, a seca que atinge a área de estudo. Já no mês de junho as terras estão sem nenhuma cultura implantada, em virtude da falta de chuva.



Figura 46. Terras sem atividade agrícola no município de Soledade, PB (S 07°05'17,73"; W 36°25'22").

Pôde-se constatar ainda na área de estudo a falta de cobertura vegetal nas áreas que se encontravam degradadas, contribuindo para uma maior susceptibilidade à erosão eólica (deslocamento de partículas por saltação) e hídrica (formação de sulcos e arrasto de resíduos resultantes), afetando diretamente as propriedades físicas e químicas do solo.

Na Figura 47 o carro-pipa está transportando água para abastecer cisternas dos moradores. Esta é uma evidência da escassez de chuvas e dificuldades de sobrevivência e sustentabilidade da população rural na área de estudo. Pode-se notar o quadro de estresse hídrico em que a vegetação nativa se encontra.



Figura 47. Carro-pipa transportando água para moradores da zona rural do município de Soledade, PB.

6.6.3. Análise das imagens-índice

Na análise estatística descritiva da imagem-índice de NDVI dos anos estudados (Tabela 13), observamos os valores médios, mínimos e máximos encontrados.

Tabela 13. Estatística descritiva

Descrição	Valores			
	1987	2010	1996	2009
Número de Pontos	623624	623624	623624	623624
Número de Pontos Válidos	623624	623624	623624	623624
Média	0,23258176	0,40614441	0,23258176	0,3017496
Variância	0,00375879	0,01599037	0,00375879	0,0030573
Desvio Padrão	0,06130899	0,12645302	0,06130899	0,0552926
Coefficiente de Variação	0,26360188	0,31134990	0,26360188	0,1832400
Coefficiente de Assimetria	1,25768016	-0,22209870	1,25768020	-0,772441
Coefficiente de Curtose	6,22901947	3,31188044	6,22901950	16,761853
Valor Mínimo	-0,40549520	-0,49916450	-0,40549520	-0,3908010
Quartil Inferior	0,18987231	0,31483865	0,18987231	0,2759836
Mediana	0,22088133	0,40398446	0,22088133	0,3017647
Quartil Superior	0,26115519	0,49986073	0,26115519	0,3278126
Valor Máximo	0,68278807	0,74333787	0,68278807	0,7813193

6.7. Mapa de degradação ambiental

Na classificação da degradação da área pesquisada na época úmida de 1987 a 2010, no mapa de degradação (Figura 48), pode-se observar que a vegetação da classe Recuperação (vegetação que se encontra em processo de regeneração) possui uma área de 467,86 km², na classe Manteve (áreas onde a vegetação local não sofreu alterações ao longo dos anos do estudo). Na área é de 78,96 km² na classe Degradação (áreas onde a vegetação local foi degradada ao longo dos anos do estudo) a vegetação apresenta-se com um total de área de 13,98 km² (Tabela 14).

DEGRADAÇÃO (ÚMIDO) DO MUNICÍPIO DE SOLEDADE

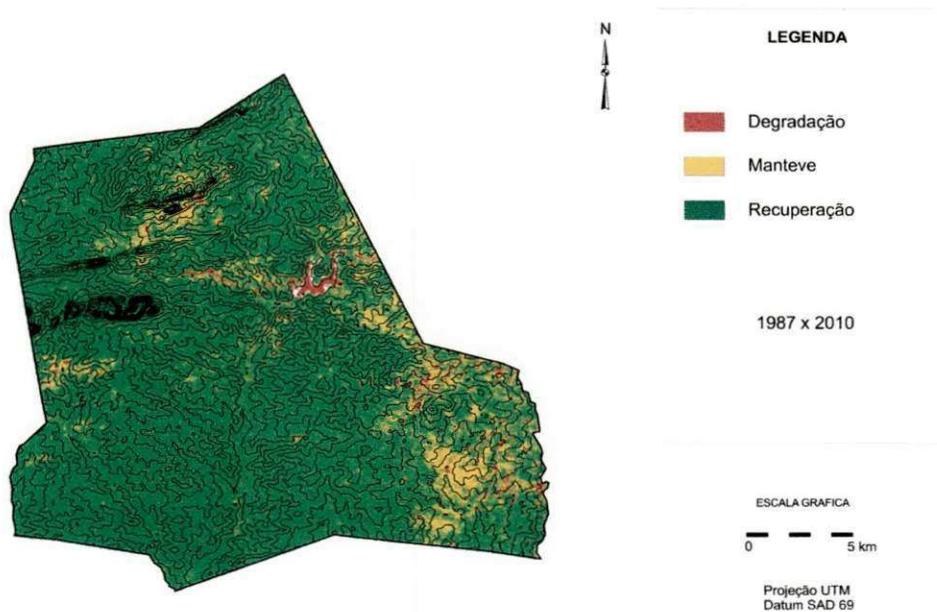


Figura 48. Mapa de degradação da época úmida do município de Soledade, PB. 1987 Vs 2010.

Tabela 14. Classes de degradação da época úmida

Classes	Área (km ²)
Degradação	13,98
Manteve	78,96
Recuperação	467,86
Total	560,80

Após o cruzamento dos mapas temáticos através do LEGAL - Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico, comprova-se o que já foi constatado com o resultado do NDVI, o de que grande parte da vegetação realmente passou por um processo de regeneração ao longo dos anos. Mesmo com estes resultados, ainda podem-se constatar nas Figuras 49, 50 e 51 áreas degradadas, fruto do manejo inadequado dos solos na área de estudo.

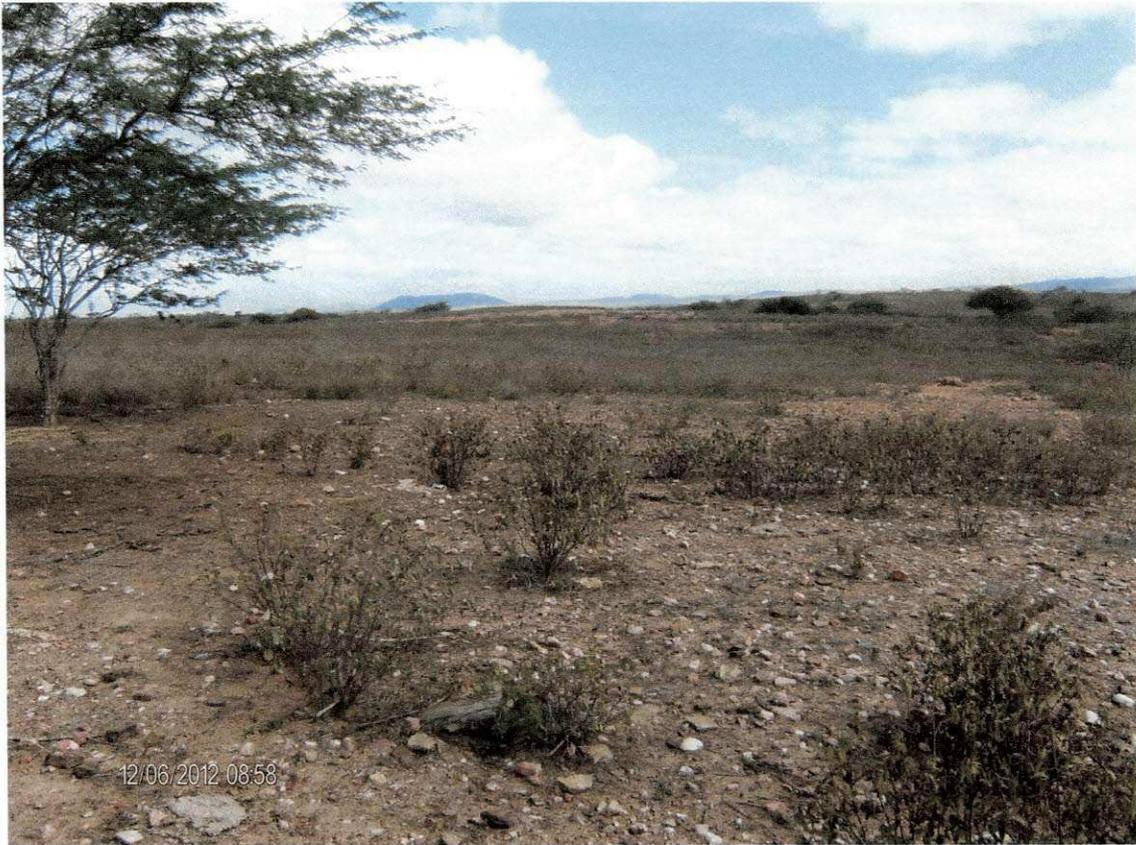


Figura 49. Área degradada em relevo com declividade ligeira a moderada (S 07°04'54,8"; W 36°20'22,8").



Figura 50. Área degradada em relevo com declividade ligeira (S 07°04'44,6"; W 36°20'02,1").



Figura 51. Área degradada em relevo com declividade ligeira (S 07°03'00,4"; W 36°21'37,9").

Na classificação da degradação da época seca no mapa de degradação (Figura 52), pode-se observar que a vegetação da classe Recuperação (vegetação que se encontra em processo de regeneração) abrange uma área de 426,58 km²; na classe Mantive (áreas onde a vegetação local não sofreu alterações ao longo dos anos do estudo) a área foi de 94,83 km², e da classe Degradação (áreas onde a vegetação local foi degradada ao longo dos anos do estudo) a área foi de 39,39 km², constatando-se, assim, que, igualmente à degradação no período úmido, houve uma regeneração da vegetação na área de estudo. No quantitativo da área da classe Degradação, no período seco. Temos um quantitativo maior em relação ao período úmido, devido à falta de cobertura vegetal herbácea, que se desenvolve temporariamente no período chuvoso, o qual estava em estágio de dormência devido ao estresse hídrico.

DEGRADAÇÃO (SECO) DO MUNICÍPIO DE SOLEDADE

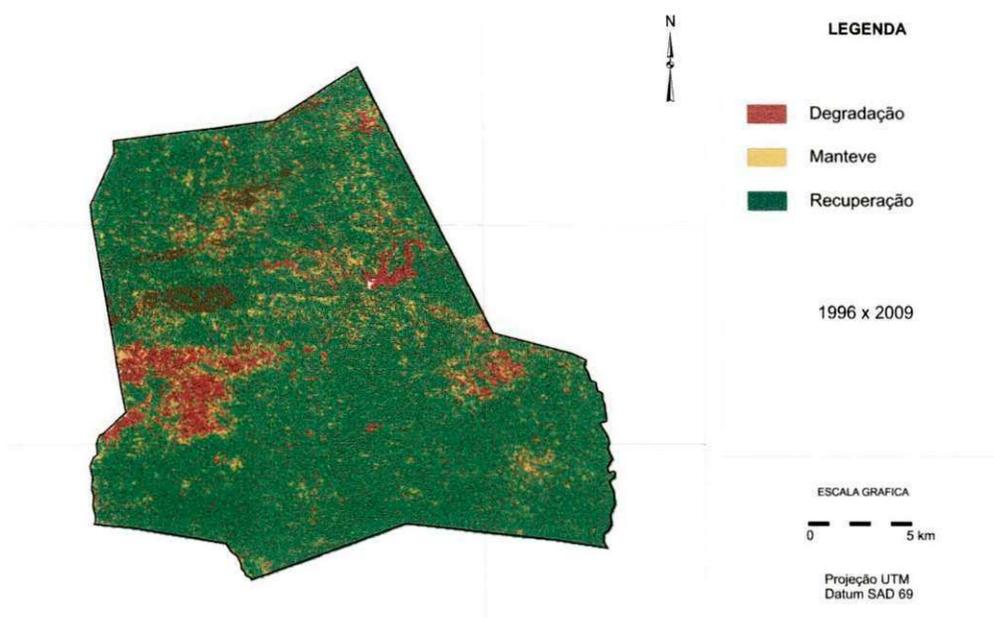


Figura 52. Mapa de degradação da época seca do município de Soledade, PB. 1996 Vs 2009.

Tabela 15. Classes de degradação da época seca

Classes	Área (km ²)
Degradação	39,39
Manteve	94,84
Recuperação	426,57
Total	560,80

6.8. Análise da degradação ambiental para as diferentes classes de declividade

No mapa de distribuição da vegetação pela declividade (Figura 53), observa-se que as classes de vegetação estão distribuídas, na sua maioria, nas classes nula, com 382,01 km² e ligeira, com 148,15 km², totalizando 530,16 km², o que corresponde a 94,53% da área total (Tabela 16). Esta distribuição corrobora com a topografia da área de estudo que, em sua maioria, é plana (Figura 40 - mapa de curvas de nível da área de estudo). Nas classes de

declividade moderada, forte, muito forte e extremamente forte totaliza-se uma área de 30,64 km² representando 5,47% do total da área.

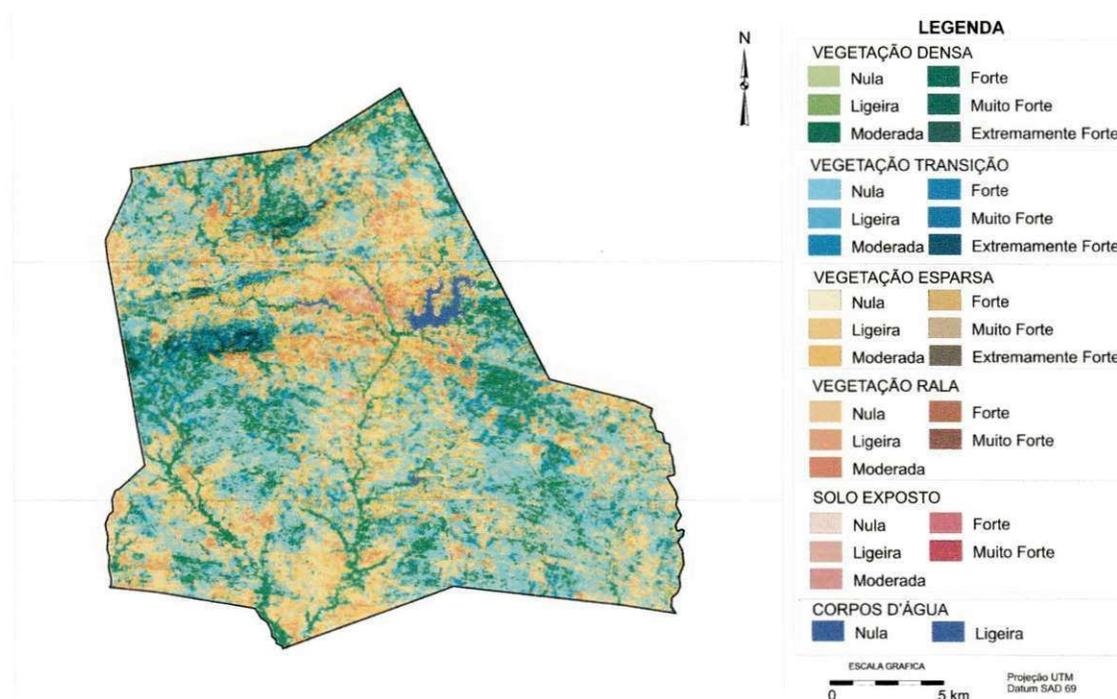


Figura 53. Mapa de distribuição da vegetação na declividade.

A classe (D-N) de vegetação Densa está, na sua maioria, distribuída na classe nula, com 43,06 km², que, conforme observado no trabalho de campo, são as Algarobas (*Prosopis juliflora (sw) DC*), espécie exótica e outras espécies nativas como a Jurema (*Mimosa tenuiflora (willd.) Poir*), Marmeleiro (*Croton sonderianus Muell. Arg.*), Aroeira (*Myracrodruon urundeuva Allemão*), Umburana (*Amburana cearensi.*), Umbuzeiro (*Spondias tuberosa*), Catingueira (*Caesalpinia pyramidalis*), Pereiro (*Aspidosperma pyrifolium*), além das cactáceas localizadas na drenagem e nas margens de riachos com solos úmidos durante todo o ano, propiciando melhores condições de permanência dessas espécies na área. Na classe (D-L) de declividade ligeira, a vegetação densa encontra-se numa área de 15,04 km² e, nas classes (D-M) moderada, (D-F) forte, (D-MF) muito forte e (D-EF) extremamente forte, encontra-se distribuída com um total de 3,7 km². A distribuição da vegetação nessas classes se dá principalmente em solos mais rasos com declividade mais acentuada: os Neossolos Litólicos Eutróficos sem uso agrícola. Estas áreas estão classificadas com aptidão agrícola enquadradas no grupo 6 (Figura 25) e capacidade de uso dos solo VIII (Figura 24). As

espécies predominantes são as nativas nestas formas de relevo, não existindo a ocorrência das Algarobas (*Prosopis juliflora* (sw) DC). Na figura 54, podemos observar a vegetação nativa densa, ocorrendo em uma declividade forte e extremamente forte, contrapondo o que, na maioria das vezes, se espera em um estudo de campo. O comum é que, na maioria das vezes, as áreas com relevo mais íngreme possuam uma degradação mais acentuada devido à falta ou baixa ocorrência de cobertura vegetal, contribuindo, assim, para um aumento na erosão provocado pelo impacto da gota de chuva e deslocamento de água da chuva, através de ravinas e canais que se formam e arrastam partículas dos horizontes superficiais dos solos.



Figura 54. Vegetação densa em relevo com declividade forte e extremamente forte ao fundo (S 07°04'23,2"; W 36°24'24,4").

Na Figura 55, para fins comparativos, observa-se no local de relevo plano a suave ondulado uma vegetação esparsa/rala com degradação grave, inclusive com constatação da ocorrência de voçoroca, provocada pela erosão dos horizontes superficiais dos solos. Nestas áreas, o que se espera é uma menor susceptibilidade à erosão, devido ao relevo, que não contribui significativamente para a cinética da água da chuva, gerando o arrasto de partículas.



Figura 55. Vegetação esparsa/rala em relevo com declividade nula a ligeira
(S 07°07'33,43"; W 36°19'39,65").

Na Figura 56, observa-se a ocorrência de vegetação densa, tendo como principal ocorrência a algaroba (*Prosopis juliflora* (sw) DC), espécie exótica da área de estudo, presente em área de aluvião, com relevo de declividade nula e degradação baixa.

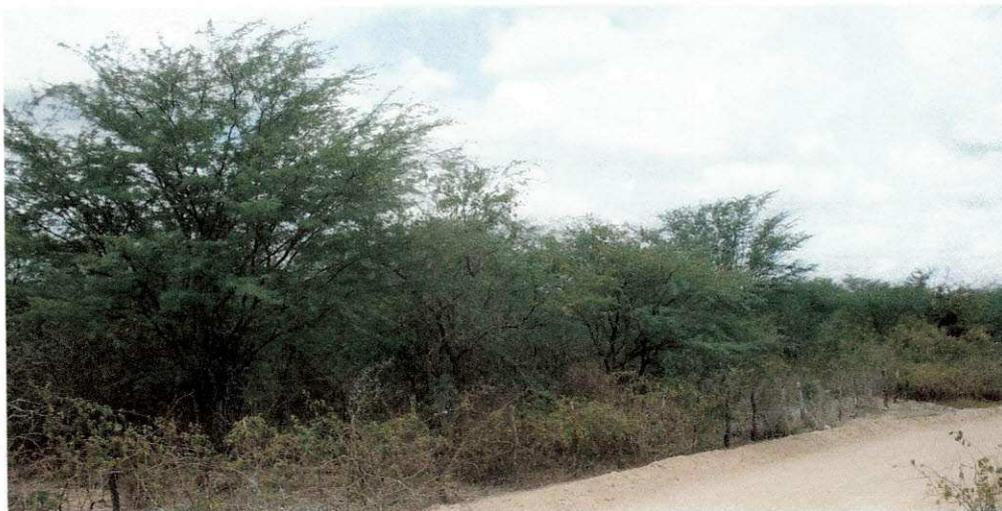


Figura 56. Vegetação densa em relevo com declividade nula (Algarobal)
(S 07°07'44,6"; W 36°23'06,2").

Na Figura 57, apresenta-se vegetação densa ao fundo, tendo como principal ocorrência a algaroba (*Prosopis juliflora* (sw) DC), presente em área de aluvião, com relevo de declividade nula a ligeira e degradação baixa.



Figura 57. Vegetação densa em declividade nula a ligeira (Algarobal)
(S 07°00'10,88"; W 36°26'49,40").

Na Figura 58, pode-se observar a ocorrência de vegetação densa, nativa, com presença de Jurema (*Mimosa tenuiflora* (willd.) Poir), Aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão), Umburana (*Amburana cearensi.*), Umbuzeiro (*Spondias tuberosa*), Catingueira (*Caesalpinia pyramidalis*), Pereiro (*Aspidosperma pyrifolium*), Cumaru (*Dipteryx odorata*) e cactáceas. Esta área é uma APA (Área de Preservação Ambiental) particular, em declividade nula e degradação baixa.



Figura 58. Vegetação densa em relevo com declividade nula (S 07°06'00,7"; W 36°26'48,4").

Tabela 16. Distribuição da vegetação pela declividade em km²

Classes	Nula	Ligeira	Moderada	Forte	Muito Forte	Extr. Forte	Total
Densa	43,06	15,04	2,62	0,63	0,44	0,01	61,8
Transição	154,82	58,96	9,74	2,96	2,04	0,11	228,63
Esparsa	147,92	59,7	8,36	1,06	0,61	0,03	217,68
Rala	29,98	12,4	1,68	0,11	0,09	0	44,26
Solo exposto	2,75	1,19	0,14	0,01	0	0	4,09
Água	3,48	0,86					4,34
Total	382,01	148,15	22,54	4,77	3,18	0,15	560,8

A classe de vegetação Transição está distribuída na classe (T-N) de declividade nula, com 154,82 km². Na classe (T-L) de declividade ligeira, a vegetação encontra-se numa área de 58,96 km² e, nas classes (T-M) moderada, (T-F) forte, (T-MF) muito forte e (T-EF) extremamente forte, a vegetação encontra-se distribuída com um total de 14,85 km². Nesta classe de vegetação, destacam-se as espécies nativas, dentre elas o Pinhão-Bravo (*Jatropha curcas*), Aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão), Juazeiro (*Ziziphus joazeiro* Mart.; *Rhamnaceae*), Jurema (*Acacia Jurema* mart.) e cactáceas, conforme figura 59, que representa uma área de relevo de declividade ligeira.



Figura 59. Vegetação de transição em relevo com declividade ligeira (S 07°05'18,5"; W 36°21'55,4").

A classe de vegetação Esparsa, na sua maioria, está distribuída na classe (E-N) de declividade nula com 147,92 km². Na classe (E-L) de declividade ligeira, a vegetação encontra-se numa área de 59,7 km² e nas classes (E-M) moderada, (E-F) forte, (E-MF) muito forte e (E-EF) extremamente forte, a vegetação encontra-se distribuída com um total de 70,45 km². Conforme observado no trabalho de campo registrado na Figura 60, em que se observa onde ocorre um relevo com declividade ligeira, as espécies do Marmeleiro (*Croton sonderianus* Muell. Arg.), Pereiro (*Aspidosperma pyrifolium* Mart.), Catingueira (*Caesalpinia pyramidalis*), Pinhão-Bravo (*Jatropha curcas*) e cactáceas são os principais representantes desta classe de vegetação na área de estudo.



Figura 60. Vegetação esparsa em relevo com declividade ligeira (S 07°04'55,38"; W 36°21'51,6").

Na Figura 61, a vegetação esparsa ocorre em relevo com declividade nula. Nesta forma de relevo temos o maior quantitativo de área desta classe de vegetação. No solo observa-se a presença de pedras no horizonte superficial e matéria orgânica em decomposição. São áreas em estágio de regeneração. Espécies como o Marmeleiro (*Croton sonderianus* Muell. Arg.), Pereiro (*Aspidosperma pyriforme* Mart.), Catingueira (*Caesalpinia pyramidalis*), Pinhão-Bravo (*Jatropha curcas*) e cactáceas são os principais representantes desta classe vegetacional, como ocorre em áreas com declividade ligeira.



Figura 61. Vegetação esparsa em relevo com declividade nula (S 07°08'50,4"; W 36°24'33,3").

A classe de vegetação rala está distribuída na classe (R-N) de declividade nula, com 29,98 km². Na classe (R-L) de declividade ligeira, está distribuída com um total de 12,4 km² e, nas classes (R-M) moderada, (R-F) forte, (R-MF) muito forte e (R-EF) extremamente forte ocupa uma área total de 1,88 km². As espécies predominantes neste tipo de vegetação são o Marmeleiro (*Croton sonderianus* Muell. Arg.), e o Pinhão-Bravo (*Jatropha curcas*) além das cactáceas. Nas Figuras 62 e 63 observa-se esta classe de vegetação em uma declividade ligeira e com ocorrência de muitas pedras nos horizontes superficiais do solo.



Figura 62. Vegetação rala em relevo com declividade ligeira (S 07°04'30,1"; W 36°21'55").



Figura 63. Vegetação rala em declividade ligeira (S 07°04'30,1"; W 36°21'55").

A classe de solo exposto (S-N; S-L; S-M; S-F) conta com uma área de 4,09 km² e sua principal ocorrência dá-se nos relevos com declividades nula e ligeira. Nas Figuras 64 e 65 observa-se um exemplo de degradação grave em relevo com declividade ligeira a moderada, alta pedregosidade no horizonte superficial e ocorrência de solo exposto. Percebe-se a presença de gramíneas. Trata-se de área de pecuária extensiva.



Figura 64. Solo exposto em declividade ligeira a moderada (S 07°04'46,7"; W 36°19'32,5").



Figura 65. Solo exposto em declividade ligeira a moderada (S 07°04'46,7"; W 36°19'32,5").

Na Figura 66, observa-se a ocorrência de solo exposto em declividade nula, pouca matéria orgânica no horizonte superficial. É possível observar a ocorrência de barriguda, ou paineira-branca (*Ceiba glaziovii*) e Pinhão-Bravo (*Jatropha curcas*). Ocorre ainda erosão laminar, degradação grave e alta densidade populacional nas imediações. Trata-se de área de pecuária extensiva. Foi constatado, no momento do levantamento de campo, que, em todas as áreas com solo exposto, a atividade econômica predominante era a pecuária extensiva (caprinocultura ou bovinocultura).

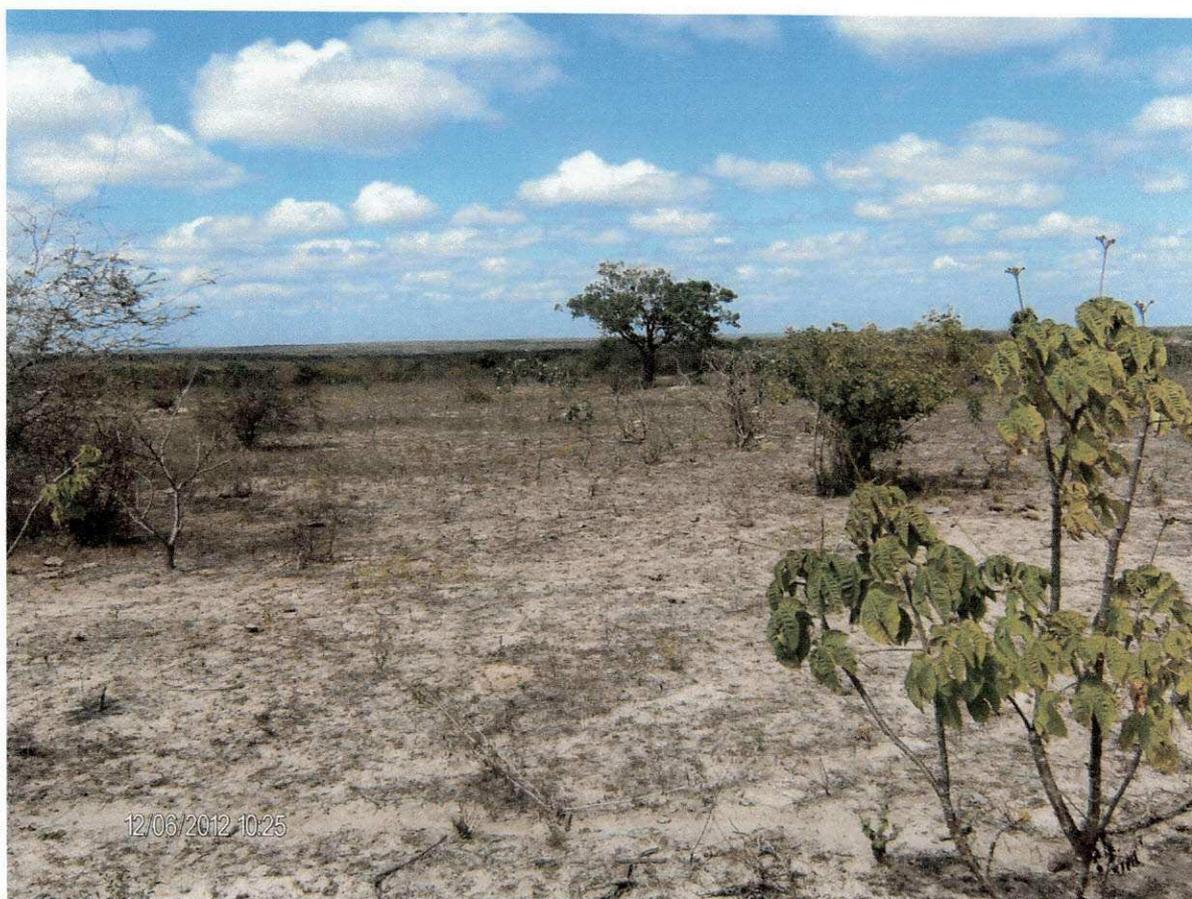


Figura 66. Solo exposto em declividade nula (S 07°05'17,73"; W 36°25'22").

Os corpos d'água (A-N; A-L) com 4,34 km² ocorrem predominantemente nos relevos nulo e ligeiro, no percurso do rio Soledade e afluentes, tendo como principal representante a barragem de Soledade.

7. CONCLUSÕES

Por este trabalho pode-se concluir que:

1. Na correlação da declividade com a degradação, pôde-se observar que nas áreas com declividades mais íngremes (forte e extremamente forte) não ocorreu degradação, a vegetação é densa, protegendo, assim, o solo da erosão, enquanto que, nas áreas de declividades mais planas (nula e ligeira), constatou-se a ocorrência de áreas degradadas, com solos expostos, susceptíveis à erosão hídrica e eólica.
2. Através do uso do NDVI, pode-se concluir que houve uma regeneração natural da vegetação local, pois os resultados demonstram, na classe de vegetação esparsa, transição e densa, que houve um aumento de 20,53% 33,46% e 6,06%, respectivamente.
3. As classes de vegetação estão distribuídas na sua maioria, em classes de declividade nula e ligeira, totalizando 530,16 km², o que corresponde a 94,53% da área total.
4. As classes de declividade moderada, forte, muito forte e extremamente forte totalizam 3,7 km² apresentam-se nos solos Neossolos Litólicos Eutróficos.
5. As classes de vegetação esparsa e de transição ocorrem principalmente nas classes de declividades nula e ligeira.
6. No relevo com declividade nula a ligeira foi encontrado a ocorrência de voçoroca e solo exposto com degradação grave.
7. Nas classes de declividade muito forte e extremamente forte não existe ocorrência de solo exposto. São áreas abandonadas pela agropecuária, devido principalmente à ocorrência de solos rasos e afloramentos rochosos, classificados com classe de capacidade de uso VIII.

8. A vegetação densa ocorre nas classes de declividade mais fortes e abrange uma maior área nas declividades nula e ligeira, onde ocorrem os Neossolos Quartzarênicos órtico típico, associado ao Planossolo Nátrico órtico.

9. A aptidão agrícola grupo 6 (sem aptidão para uso agrícola) ocorre no relevo extremamente forte e está relacionada à ocorrência de vegetação densa.

10. A algaroba (*Prosopis Juliflora*) é a principal espécie vegetal presente nas áreas de declividades nula e ligeira.

11. Houve, ao longo dos anos, uma redução na área utilizada pela agricultura com presença de cultura do sisal e do algodão e houve ainda um aumento significativo da área utilizada pela pecuária extensiva e semi-extensiva de rebanho de caprinos e na avicultura.

12. Com a utilização das técnicas de geoprocessamento, do sensoriamento remoto e desenvolvimento da linguagem algébrica, pode-se chegar a resultados satisfatórios dos recursos naturais com rapidez e precisão.

8. REFERÊNCIAS

AESA. Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. **Dados Sobre Perímetro e Geoprocessamento**. 2006. Disponível em: <http://geo.aesa.pb.gov.br/>. Acessado em 10-maio-2011.

AESA - Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. João Pessoa, 2012.
<<http://geo.aesa.pb.gov.br>> Acesso: 20 de maio de 2012.

AESA PERH-PB. **Plano estadual de recursos hídricos: resumo executivo e atlas**. Brasília. Consórcio TC/BR Concremat, 2006.

ALLEN, R. G., TREZZA, R., TASUMI M. **Surface energy balance algorithms for land**. Advance training and users manual, version 1.0, pp.98, 2002.

AMBIENTE BRASIL. **Desertificação ameaça 170 municípios da Paraíba**. Disponível em: <<http://www.ambientebrasil.com.br/>>. Acessado em: 11/04/2011.

ASSAD, E. D., SAND, E. C. **Sistema de informações geográficas: aplicação na agricultura**. Planaltina: EMBRAPA – CPAC, 1993. 274p.

BARBOSA, M. P.; PEREIRA, D. D.; ARAÚJO, A. E. **Programa de ação estadual de combate a desertificação. Termo de Referência**. UFCG: Campina Grande, 2005. 20p.

BATISTA, P. T. **O meio ambiente, as cidades, as árvores urbanas e a SBAU**. Sociedade Brasileira de Arborização Urbana. Disponível em: http://www.sbau.com.br/arquivos/materiais_paulo_tarso.htm. Acesso em: 06 fev. 2011.

BEEK, K. J. **Land evaluation for agricultural development: some explorations of land-use systems analysis with particular reference to Latin America**. Wageningen: International Institute for Land Reclamation and Improvement, 1978. 333p. (ILRI Publication, 23).

BENNEMA, J; BEEK, K. J; CAMARGO, M. N. **Um sistema de classificação de capacidade de uso da terra para levantamento de reconhecimento de solos**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura/FAO, 1964. 49p.

BLOMGREN, S. A. digital elevation model for estimating flooding scenarios at the Falsterbo Peninsula. **Environmental Modelling e Software**, v. 14, p. 579-587, 1999.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Geologia, Mineração e Transporte Mineral. CPRM. Serviço Geológico do Brasil. Brasília, 2008.

BRASIL. Ministério da Agricultura. **Levantamento Exploratório-reconhecimento de Solos do Estado da Paraíba. II Interpretação para Uso Agrícola dos Solos do Estado da Paraíba**. Rio de Janeiro: MA/CONTAP/USMD/Brasil, 1972 670p. il. (MA. Boletim Técnico,15. Série Pedologia,8).

BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica. **Aptidão agrícola dos solos do Sul do Estado de Mato Grosso**. Rio de Janeiro, 1971. 72p. (Brasil. Ministério da Agricultura-DNPEA-DPP. Boletim Técnico, 19).

BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica. **Mapa esquemático dos solos das regiões Norte, Meio-Norte e Centro-Oeste do Brasil: texto explicativo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA - Centro de Pesquisas Pedológicas, 1975. 553p. (Brasil. Ministério da Agricultura-DNPEA-DPP. Boletim Técnico, 17).

BRASIL. Ministério da Agricultura. Secretaria Nacional de Planejamento Agrícola. SUPLAN. *Mapa de Aptidão Agícola das terras – Estado da Paraíba*, 1978.

BRASIL NETO, F. T. *Potencial produtivo e degradação das terras das sub-bacias hidrográficas Olho D'Água e Jardim, Areia - PB*. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água), Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2001, 68p.

CÂMARA, G.; SOUZA, R. C. M.; GARRIDO, J. **SPRING: integrating remote sensing and GIS by object – orientend data modeling**. Computer & Graphics, v. 20, n. 3, p. 395-403, 1996.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. de. **Geoprocessamento para projetos ambientais**. 2.ed. INPE. São José dos Campos, 1998. 194p.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M.; D'ALGE, J. C. 2 ed. (ver. e amp.) **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos, INPE, 2001.

CAMARGO, M. N; KLAMT, E; KAUFFMAN, J. H. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v. 12, n. 1, p. 11-33, 1987.

CAMPOS, M. C. C & QUEIROZ, S. B. Reclassificação dos perfis descritos no Levantamento Exploratório - Reconhecimento de solos do estado da Paraíba. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v.6 nº1, UEPB, 2006.

CARVALHO, C. M. *Avaliação da desertificação no sudoeste do estado do Piauí-PI, através de técnicas de sensoriamento remoto*. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto), São José dos Campos. INPE, 2007. 98p.

CARVALHO, A. de P. *Estudo da degradação ambiental na bacia do açude de Soledade - PB*. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 2010. 232p.

CAVALCANTE, F. de S; DANTAS, J. S; SANTOS, D; CAMPOS, M. C. C. Considerações sobre a utilização dos principais solos no estado da Paraíba. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia** - Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal de Garça/Faef Ano IV, Número 08, Dezembro de 2005.

CHAGAS, M. das G. SANTOS das; GALVÍNCIO, J. D.; PIMENTEL, R. M. DE M. Avaliação da dinâmica espectral da vegetação de caatinga em Arcoverde, Pernambuco. **Revista de Geografia**. UFPE/DCG-NAPA, Recife, v. 25, nº 2, 2008.

DAELS, L.; ANTROP, M. **The extraction of soil informations from remote sensing documents**. Ghent, Belgium, 1977. p. 123-190. (Pedologie, 27).

DEY, B. Some applications of remote sensing in agriculture resource with reference to India. In: Collins, W. J. & Genderen, J. L. (ed). **Remote sensing applications in developing countries**. England, Remote Sensing Society, 1978. p. 35-42.

DUARTE, S. M. A. *O desastre da desertificação no município de Taperoá, Estado da Paraíba, Brasil*. Tese (Doutorado em Recursos Naturais). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2008.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 412p.

FARIAS, L. C. de. *Diagnóstico físico-conservacionista das terras em confrontação com a percepção comunitária – Bacia hidrográfica Vaca Brava, Areia - PB*. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solos e Água). Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2006.

FAO. **A Framework for land evaluation**. Wageningen: International Institute for Land Reclamation and Improvement, Roma, Itália, 1977. 87p. (ILRI Publication, 22).

FERNANDES, M. F. *Avaliação da aptidão agrícola da terra de parte do setor leste da bacia do rio Seridó, usando sensoriamento remoto e geoprocessamento*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1997. 186p.

FREIRE, O. **Apontamentos de edafologia**. Piracicaba: 2. ed. 1984. 317p.

FRANCISCO, P. R. M. *Classificação e mapeamento das terras para mecanização do Estado da Paraíba utilizando sistemas de informações geográficas*. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solos e Água). Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2010.

FRANCISCO, P. R. M. **Aptidão agrícola dos assentamentos do estado da Paraíba**. Relatório Técnico – INCRA-SR18. João Pessoa, 2011a.

GOVERNO DO ESTADO DA PARAÍBA. Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia e do Meio Ambiente. Agência Executiva de Gestão de Águas do Estado da Paraíba, AESA. 2011.

GONÇALVES, J. L.de G.; HARENDRA, S. T. Integração de sensoriamento remoto e sig na classificação de capacidade de da terra para planejamento regional numa parte do microrregião brejo paraibano do Brasil. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Curitiba: INPE. 2011. Anais...9158p.

HOPPE, P.; ULBRICHT, K. A. Application of digital image processing module of Landsat scenes for their improved Nd geological evolution. In: **Earth observation from space Nd management of planetary resource**. Paris, European Space Agency, 1978. p. 237-241.

IBGE. **Manual Técnico de Pedologia**. 2 ed. Rio de Janeiro, 2007.

IBGE. *Anais eletrônicos*. <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/painel/painel.php?codmun=250310#>. Acesso em: 26 de jan. 2012.

IBGE. *Anais eletrônicos*. <http://seriesestatisticas.ibge.gov.br/series.aspx?vcodigo=PA01&sv=83&t=lavoura-temporaria-area-plantada#P1>. Acesso em 15 de jun. 2012.

IBGE. *Anais eletrônicos*.<http://seriesestatisticas.ibge.gov.br/series.aspx?vcodigo=PPM01&sv=59&t=efetivo-dos-rebanhos-por-tipo-de-rebanho>. Acesso em 15 de jun. 2012.

INPE. *Folheto explicativo do Instituto de Pesquisas Espaciais sobre sensoriamento remoto*. 1986.

IICA. Instituto Interamericano de Cooperação com a Agricultura. **Desertificação no Brasil**. Disponível em: <<http://www.iicadesertification.org.br/lendo.php?sessão=MTA3>> Acessado em: 21/04/2011.

LEPSCH, L. F. et al. **Manual para Levantamento Utilitário do Meio Físico e Classificação de Terras do Meio Físico e Classificação de Terras no Sistema de Capacidade de Uso**. 4. Ed. SBCS, Campinas, 1983. 175p.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W. **Remote sensing and image interpretation**. 3 edition. New York: Jonh Wiley & Sons, Inc. 1994. 748p.

LIMA, R. C. C. et al. Avaliação do processo de desertificação no semiárido paraibano utilizando geotecnologias. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Curitiba: INPE. 2011. Anais...p 6874.

LOURENÇO, R. W.; LANDIM, P. M. B. Estudo da variabilidade do “Índice de Vegetação por Diferença Normalizada/NDVI” utilizando krigagem indicativa. **Holos Environment**, 4:38-55, 2004.

MARKHAM, B. L.; BARKER, J. L. **Thematic mapper bandpass solar exoatmospherical irradiances**, Int. Journal of Remote Sensing , v. 8, n. 3, p. 517-523, 1987.

MMA. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Mapa das áreas susceptíveis à desertificação no Brasil**. Secretaria de Recursos Hídricos. Universidade Federal da Paraíba. 2007.

MORAES NETO, J. M. de. *Gestão de Riscos a Desastres ENOS (El Nino Oscilação Sul) no Semiárido Paraibano: uma análise comparativa*. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) Universidade Federal de Campina Grande, 2003.

MORALES, C.; PARADA, S. **Pobreza, desertificación y degradación de los recursos naturales**. Santiago de Chile. Naciones Unidas, 2005.

NASA/JPL. SRTM. Disponível em <<http://www.jpl.nasa.gov/srtm>>. Acesso em: 03 mar. 2010.

NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda. 2 ed., 1992. 308p.

ÖZDAMAR, L.; DEMIRHAN, M.; ÖZPINAR, A. A comparison of spatial interpolation methods and a fuzzy areal evaluation scheme in environmental site characterization. **Computers, Environment and Urban Systems**, v.23, p.399-422, 1999.

PALIMARKA, J. H.; WALDER, W. Integration of spacial and relational database within a geographic information system. In: Proc. Of intl. Workshop on geographic information system, 1, 1987, Beijing, China. Anais... p. 332 - 341.

PARAÍBA. Governo do Estado da Paraíba. Secretaria do Estado da Ciência e Tecnologia e do Meio Ambiente, SECTMA. Agência Executiva de Gestão e Águas do Estado da Paraíba, 2006.

PRADO, H. do. **Manual de classificação de solos do Brasil**. 3. ed. Jaboticabal, FUNEP, 1996, 196p.

PRADO, H. do. **Solos Tropicais - potencialidades, limitações, manejo e capacidade de uso**. 2. ed. Jaboticabal, FUNEP, 1998.

PEREIRA, L. C; LOMBARDI NETO, F. **Avaliação da aptidão agrícola das terras: proposta metodológica**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2004. 36p.

QUEIROZ, J. S. **Na assesment of indigenous soil classification used in the caatinga region of Ceará state, northeast Brazil**. *Agricultural Systems*, v.39, p. 289-305, 1992.

QUEIROZ, J. E. R. **Princípios físicos e comportamento espectral de alvos de sensoriamento remoto**. Programa de suporte técnico à gestão de recursos hídricos - ABEAS. Curso de Especialização em Sensoriamento Remoto e SIG. Módulo 4. Brasília - DF. 1996. 31p.

RABUS, B.; EINEDER, M.; ROTH, A.; BAMLER, R. The shuttle radar topography mission – a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 57, p. 241-262, 2003.

RAMALHO FILHO, A.; PEREIRA, E.G.; BEEK, K.J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. 2. ed. rev. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, 1983. 57p.

RAMALHO FILHO, A. & BEEK, K. J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. 3. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1995. 65p.

RAMALHO FILHO, A.; PEREIRA, L. C. Aptidão Agrícola das Terras do Brasil- Potencial de Terras e Análise dos Principais Métodos de Avaliação. EMBRAPA SOLOS. Outubro, 1999.

RANZINI, G. **Manual de levantamento de solos**. 2. ed. Editora Edgard Blucher Ltda. São Paulo, 1969, 128p.

RESENDE, M; CURTI, N; REZENDE, S. B. de; CORRÊA, G. F. **Pedologia**: base para distinção de ambientes. Viçosa: NEPUT, 1995. 304p.

ROSA, R. A. **Introdução ao sensoriamento remoto**. Uberlândia. Ed. Universidade Federal de Uberlândia, 1990. 136p.

SÁ, I. B. Monitoramento Ambiental: a degradação no trópico semiárido do nordeste brasileiro. Anais do I Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto. Aracaju, 2002.

SÁ, I. I. S. Uso do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (Iv_{dn}) para Caracterização a Cobertura Vegetal da Região do Araripe Pernambucano. **Revista Brasileira de Geografia Física**. Recife. v. 01. p.28-38, 2008.

SANTOS, R. F. dos. Ensino-aprendizagem de solos com agricultores e agricultoras de Mata Redonda, Remígio - PB a partir de levantamento utilitário. Areia - PB. 2001. (Dissertação de Mestrado).

SCHENKEL, C. S.; MATALLO JÚNIO, H. **Desertificação**. Brasília. UNESCO, 2003.

SERAFIM, E. C. da S. *Estudo do uso da terra e da cobertura vegetal na região de Sumé, através de sensoriamento remoto*. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Agronomia), Universidade Federal da Paraíba, Areia. 2000. 39p.

SILVA, E. P. da. *Levantamento integrado dos recursos naturais renováveis de parte da microrregião homogênea de Sousa - PB, utilizando-se técnicas de sensoriamento remoto e sistema de informação geográfica*. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Agronomia), Universidade Federal da Paraíba, Areia. 1999. 64p.

SILVA, M. P. Capacitação de professores do ensino fundamental em educação ambiental: uma proposta em avaliação. **XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental**, 2001.

SOUSA, R. F. de; MOTTA, J. D; GONZAGA, E. N; FERNANDES, M. F; SANTOS, M. J. dos. Aptidão agrícola do Assentamento Venâncio Tomé de Araújo para a Cultura do Sorgo (*Sorghum bicolor* - L. Moench). **Revista de Biologia e Ciências da Terra**. v.3, n.2, 2003.

SUDENE. Superintendencia do Desenvolvimento do Nordeste. DPG-PRN-HME. Dados pluviométricos mensais do Nordeste – Estado da Paraíba. Série Pluviométrica 5. Recife, 1990.

TEOTIA, H. S.; COSTA FILHO, J. F.; SANTOS, J. R.; SILVA JUNIOR, E. B.; SOUSA, C. L.; SERAFIM, E. C. S. Análise multitemporal da cobertura vegetal do semiárido da Paraíba (Região de Depressão do Alto Piranhas) para planejamento regional através de sensoriamento remoto e geoprocessamento. Areia-PB: UFPB/CCA, **Relatório Técnico**. 110 p. 1999.

TROTTER, C. M. Remotely-sensed data a information source for geographical information system in natural resource management: a review. *International (J. of Geographic Information System. v.5, n.2. p. 225-239, 1991.*

UNEP – United Nations Environment Programme – *Status of Desertification and Implementation of the United Nations Plan of Action to Combat Desertification (DRAFT REPORT)*, NAIROB, 1991.

VALERIANO, M. M. **Modelos digitais de elevação de microbacias elaborados com krigagem**. São José dos Campos: INPE: Coordenação de Ensino, Documentação e Programas Especiais (INPE-9364-RPQ/736). 54p. 2002.

VALERIANO, M. M. Modelo digital de variáveis morfológicas com dados SRTM para o território nacional: o projeto TOPODATA. Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Goiânia, 2004.

VALERIANO, M. M; KUPLICH, T. M; STORINO, M; AMARAL, B. D; MENDES JÚNIOR, J. N; LIMA, D. J. **Modeling small watersheds in Brazilian Amazonia with SRTM-90m data (corrected proof available on-line)**. Computers e geosciences, Amsterdam, Holanda, 2006.

VENEZIANI, P.; ANJOS, C. E. **Metodologia de Interpretação de Dados de Sensoriamento Remoto e Aplicação em Geologia**. INPE. São José dos Campos, 1982.

ZIMMERMANN, C. C. **Análise da ocupação predial em terrenos de marinha utilizando técnicas de sensoriamento remoto**. Florianópolis: UFSC, 1993. 127 p.

ANEXOS

ANEXO 1. LEGAL época úmida

```
{
Tematico t ("classificadasfinal");
Imagem i ("24_mai_2010");
i = Recupere (Nome = "ndvi2010");
t = Novo (Nome = "2010erdas", ResX=30, ResY=30, Escala = 50000);
t = Atribua (CategoriaFim = "classificadasfinal")
{
"densa" :(i>=0.600),
"transição" :(i>=0.400 && i<0.600),
"esparsa" :(i>=0.250 && i<0.400),
"rala" :( i>=0.150 && i<0.250),
"solo exposto" :(i>=0 && i<0.150),
"agua" :(i<=0)
};
}
```

ANEXO 2. LEGAL época seca.

```
{
Tematico t ("classificadasfinal");
Imagem i ("28_outubro_2009");
i = Recuperere (Nome = "ndvi2009");
t = Novo (Nome = "2009erdas", ResX=30, ResY=30, Escala = 50000);
t = Atribua (CategoriaFim = "classificadasfinal")
{
"densa" :(i>=0.350),
"transição" :(i>=0.300 && i<0.350),
"esparsa" :(i>=0.250 && i<0.300),
"rala" :( i>=0.150 && i<0.250),
"solo exposto" :(i>=0.03 && i<0.150),
"agua" :(i<=0.03)
};
}
```

ANEXO 3. LEGAL degradação época úmida

```
{
Tematico t1 ("classificadas"), t2 ("classificadas"), t3 ("degradação");
t1 = Recuperere(Nome="1987");
t2 = Recuperere(Nome="2010");
t3 = Novo(Nome="1987x2010",ResX=30,ResY=30,Escala=25000);
t3 = Atribua(CategoriaFim="degradação")

{ "Manteve":(t1.Classe == "agua" && t2.Classe == "agua") ||
(t1.Classe == "solo-exposto" && t2.Classe == "solo-exposto") ||
(t1.Classe == "rala" && t2.Classe == "rala") ||
(t1.Classe == "aberta" && t2.Classe == "aberta") ||
(t1.Classe == "aberta" && t2.Classe == "aberta") ||
```



```

(t1.Classe == "densa" && t2.Classe == "agua") ||
(t1.Classe == "densa" && t2.Classe == "densa") ||
(t1.Classe == "densa" && t2.Classe == "densa") ||
(t1.Classe == "densa" && t2.Classe == "aberta") ||
(t1.Classe == "densa" && t2.Classe == "aberta") ||
(t1.Classe == "densa" && t2.Classe == "rala") ||
(t1.Classe == "densa" && t2.Classe == "solo-exposto") ||
(t1.Classe == "densa" && t2.Classe == "agua") ||
(t1.Classe == "densa" && t2.Classe == "densa") ||
(t1.Classe == "densa" && t2.Classe == "aberta") ||
(t1.Classe == "densa" && t2.Classe == "aberta") ||
(t1.Classe == "densa" && t2.Classe == "rala") ||
(t1.Classe == "densa" && t2.Classe == "solo-exposto") ||
(t1.Classe == "densa" && t2.Classe == "agua") ||
(t1.Classe == "densa" && t2.Classe == "aberta") ||
(t1.Classe == "densa" && t2.Classe == "aberta") ||
(t1.Classe == "densa" && t2.Classe == "rala") ||
(t1.Classe == "densa" && t2.Classe == "solo-exposto") ||
(t1.Classe == "densa" && t2.Classe == "agua") ||
(t1.Classe == "aberta" && t2.Classe == "Arbustiva-subarbustiva-aberta") ||
(t1.Classe == "aberta" && t2.Classe == "Subarbustiva-arbustiva-rala") ||
(t1.Classe == "aberta" && t2.Classe == "solo-exposto") ||
(t1.Classe == "aberta" && t2.Classe == "agua") ||
(t1.Classe == "aberta" && t2.Classe == "rala") ||
(t1.Classe == "aberta" && t2.Classe == "solo-exposto") ||
(t1.Classe == "aberta" && t2.Classe == "agua") ||
(t1.Classe == "rala" && t2.Classe == "solo-exposto") ||
(t1.Classe == "rala" && t2.Classe == "agua") ||
(t1.Classe == "solo-exposto" && t2.Classe == "agua")
}; }

```

ANEXO 4. LEGAL degradação época seca

```

{
Tematico t1 ("classificadasfinal"), t2 ("classificadasfinal"), t3 ("degradação");
t1 = Recuperar(Nome="1996erdas33");
t2 = Recuperar(Nome="2009erdas");
t3 = Novo(Nome="1996x2009erdas",ResX=30,ResY=30,Escala=25000);
t3 = Atribua(CategoriaFim="degradação")
{
"Manteve":(t1.Classe == "agua" && t2.Classe == "agua") ||
(t1.Classe == "solo exposto" && t2.Classe == "solo exposto") ||
(t1.Classe == "rala" && t2.Classe == "rala") ||
(t1.Classe == "esparsa" && t2.Classe == "esparsa") ||

```

```

(t1.Classe == "transição" && t2.Classe == "transição") ||
(t1.Classe == "densa" && t2.Classe == "densa"),
"Melhorou":(t1.Classe == "agua" && t2.Classe == "rala") ||
(t1.Classe == "agua" && t2.Classe == "esparsa") ||
(t1.Classe == "agua" && t2.Classe == "transição") ||
(t1.Classe == "agua" && t2.Classe == "densa") ||
(t1.Classe == "solo exposto" && t2.Classe == "rala") ||
(t1.Classe == "solo exposto" && t2.Classe == "esparsa") ||
(t1.Classe == "solo exposto" && t2.Classe == "transição") ||
(t1.Classe == "solo exposto" && t2.Classe == "densa") ||
(t1.Classe == "rala" && t2.Classe == "esparsa") ||
(t1.Classe == "rala" && t2.Classe == "transição") ||
(t1.Classe == "rala" && t2.Classe == "densa") ||
(t1.Classe == "esparsa" && t2.Classe == "transição") ||
(t1.Classe == "esparsa" && t2.Classe == "densa") ||
(t1.Classe == "transição" && t2.Classe == "densa") ||
(t1.Classe == "densa" && t2.Classe == "densa"),
"Piorou":(t1.Classe == "densa" && t2.Classe == "transição") ||
(t1.Classe == "densa" && t2.Classe == "esparsa") ||
(t1.Classe == "densa" && t2.Classe == "rala") ||
(t1.Classe == "densa" && t2.Classe == "solo exposto") ||
(t1.Classe == "densa" && t2.Classe == "agua") ||
(t1.Classe == "transição" && t2.Classe == "esparsa") ||
(t1.Classe == "transição" && t2.Classe == "rala") ||
(t1.Classe == "transição" && t2.Classe == "solo exposto") ||
(t1.Classe == "transição" && t2.Classe == "agua") ||
(t1.Classe == "esparsa" && t2.Classe == "rala") ||
(t1.Classe == "esparsa" && t2.Classe == "solo exposto") ||
(t1.Classe == "esparsa" && t2.Classe == "agua") ||
(t1.Classe == "rala" && t2.Classe == "solo exposto") ||
(t1.Classe == "rala" && t2.Classe == "agua")
};
}

```

ANEXO 5. LEGAL distribuição da vegetação

```

{
Tematico t1 ("classificadasfinal"), t2 ("declividade_soledade"), t3 ("declividade-vegetação");
t1 = Recuperar(Nome="2009erdas");
t2 = Recuperar(Nome="Soledade");
t3 = Novo(Nome="VegxDecl", ResX=30, ResY=30, Escala=25000);
t3 = Atribua(CategoriaFim="declividade-vegetação")
{
"densa-nula":(t1.Classe == "densa" && t2.Classe == "Nula"),
"densa-ligeira":(t1.Classe == "densa" && t2.Classe == "Ligeira"),
"densa-moderada":(t1.Classe == "densa" && t2.Classe == "Moderada"),

```

```

"densa-forte":(t1.Classe == "densa" && t2.Classe == "Forte"),
"densa-muito forte":(t1.Classe == "densa" && t2.Classe == "Muito Forte"),
"densa-extr forte":(t1.Classe == "densa" && t2.Classe == "Extremamente Forte"),
"transição-nula":(t1.Classe == "transição" && t2.Classe == "Nula"),
"transição-ligeira":(t1.Classe == "transição" && t2.Classe == "Ligeira"),
"transição-moderada":(t1.Classe == "transição" && t2.Classe == "Moderada"),
"transição-forte":(t1.Classe == "transição" && t2.Classe == "Forte"),
"transição-muito forte":(t1.Classe == "transição" && t2.Classe == "Muito Forte"),
"transição-extr forte":(t1.Classe == "transição" && t2.Classe == "Extremamente Forte"),
"esparsa-nula":(t1.Classe == "esparsa" && t2.Classe == "Nula"),
"esparsa-ligeira":(t1.Classe == "esparsa" && t2.Classe == "Ligeira"),
"esparsa-moderada":(t1.Classe == "esparsa" && t2.Classe == "Moderada"),
"esparsa-forte":(t1.Classe == "esparsa" && t2.Classe == "Forte"),
"esparsa-muito forte":(t1.Classe == "esparsa" && t2.Classe == "Muito Forte"),
"esparsa-extr forte":(t1.Classe == "esparsa" && t2.Classe == "Extremamente Forte"),
"rala-nula":(t1.Classe == "rala" && t2.Classe == "Nula"),
"rala-ligeira":(t1.Classe == "rala" && t2.Classe == "Ligeira"),
"rala-moderada":(t1.Classe == "rala" && t2.Classe == "Moderada"),
"rala-forte":(t1.Classe == "rala" && t2.Classe == "Forte"),
"rala-muito forte":(t1.Classe == "rala" && t2.Classe == "Muito Forte"),
"rala-extr forte":(t1.Classe == "rala" && t2.Classe == "Extremamente Forte"),
"solo exposto-nula":(t1.Classe == "solo exposto" && t2.Classe == "Nula"),
"solo exposto-ligeira":(t1.Classe == "solo exposto" && t2.Classe == "Ligeira"),
"solo exposto-moderada":(t1.Classe == "solo exposto" && t2.Classe == "Moderada"),
"solo exposto-forte":(t1.Classe == "solo exposto" && t2.Classe == "Forte"),
"solo exposto-muito forte":(t1.Classe == "solo exposto" && t2.Classe == "Muito Forte"),
"solo exposto-extr forte":(t1.Classe == "solo exposto" && t2.Classe == "Extremamente
Forte"),
"agua-nula":(t1.Classe == "agua" && t2.Classe == "Nula"),
"agua-ligeira":(t1.Classe == "agua" && t2.Classe == "Ligeira"),
"agua-moderada":(t1.Classe == "agua" && t2.Classe == "Moderada"),
"agua-forte":(t1.Classe == "agua" && t2.Classe == "Forte"),
"agua-muito forte":(t1.Classe == "agua" && t2.Classe == "Muito Forte"),
"agua-extr forte":(t1.Classe == "agua" && t2.Classe == "Extremamente Forte")
};
}

```