



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS**



**COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA  
DOUTORADO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**USO DE GEOTECNOLOGIAS NO ESTUDO DA DEGRADAÇÃO DAS TERRAS  
NO MUNICÍPIO DE SUMÉ-PB**

**GEORGE DO NASCIMENTO RIBEIRO**

**CAMPINA GRANDE – PARAÍBA**

**ABRIL - 2014**

**GEORGE DO NASCIMENTO RIBEIRO**

**USO DE GEOTECNOLOGIAS NO ESTUDO DA DEGRADAÇÃO DAS TERRAS  
NO MUNICÍPIO DE SUMÉ-PB**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos para obtenção do título de “Doutor em Engenharia Agrícola”, Área de Concentração “Irrigação e Drenagem”.

**Orientador:** Dr. João Miguel de Moraes Neto

**CAMPINA GRANDE – PARAÍBA**

**ABRIL – 2014**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

R484u Ribeiro, George do Nascimento.

Uso de geotecnologias no estudo da degradação das terras no município de Sumé - PB. / George do Nascimento Ribeiro. – Campina Grande - PB: [s.n], 2014.  
123 f.

Orientador: Professor Dr. João Miguel de Moraes Neto.

Tese de Doutorado – Universidade Federal de Campina Grande; Centro de Tecnologia e Recursos Naturais; Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola.

1. Geoprocessamento. 2. Análise ambiental. 3. Índice de vegetação. I. Título.

CDU: 528.8(043)



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



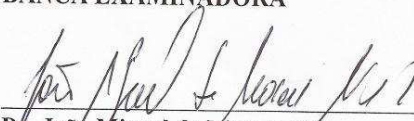
PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA TESE

GEORGE DO NASCIMENTO RIBEIRO

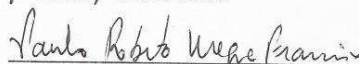
USO DE GEOTECNOLOGIAS NO ESTUDO DA DEGRADAÇÃO DAS TERRAS  
NO MUNICÍPIO DE SUMÉ-PB

BANCA EXAMINADORA

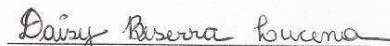
PARECER

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. João Miguel de Moraes Neto**  
Orientador - UAEA/UFCC


Aprovado

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. Paulo Roberto Megna Francisco**  
Examinador - IPEMA - Alagoa Nova/PB

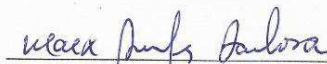
APROVADO

  
\_\_\_\_\_  
**Dr.ª Daisy Beserra Lucena**  
Examinadora - UFCG/CDSA

Aprovado

  
\_\_\_\_\_  
**Dr.ª Simone Mirtes Araújo Duarte**  
Examinadora - UFRPE/DCFL

aprovado

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. Marx Prestes Barbosa**  
Examinador - UAEA/UFCC

aprovado

ABRIL DE 2014

“Tudo o que a sua mão encontrar para fazer,  
faça-o com todo o seu coração”.

**Jesus de Nazaré**

A DEUS, fonte de toda minha  
inspiração.

À minha amada esposa, Iêda de  
Araújo P. Nascimento; à minha  
querida e amada mãe, Crizeleide  
Andrade do Nascimento e ao meu  
amado filho Cauã de Araújo  
Nascimento, luzes de minha vida.

**Dedico**

## AGRADECIMENTOS

A DEUS, por estar sempre presente em todos os momentos de minha vida principalmente nesta tão valiosa etapa.

Ao grande amigo Paulo Roberto Megna Francisco, que além dos inúmeros ensinamentos foi um anjo que caiu do céu, oportunamente e se tornou peça fundamental na execução deste trabalho.

Em especial ao Professor João Miguel de Moraes Neto, pela amizade, orientação, ensinamentos, confiança, dedicação, apoio educacional e moral, antes, durante e após a realização deste estudo.

Ao grande Professor Marx Prestes Barbosa, pela amizade, ensinamentos, oportunidades, sugestões e aulas extras, preponderantes para o êxito do trabalho.

À professora Daisy Lucena, não só pelas contribuições valiosas para a tese, mas também pela grande e verdadeira amizade.

À Professora Simone Mirtes, pelas contribuições que auxiliaram na confecção deste trabalho, além da amizade de longa data, conselhos valiosos e troca de experiências.

A meus irmãos, sobrinhos; a meu pai, José Estélio; a minha cunhada; a meus familiares, primos, tios, cunhado e sogra; a minhas avós queridas, “Vó Rosinha” e “Vó Nininha” (*in memorian*) e Eunice; a meus avôs, José Abdias, Abdon Abdias (*in memorian*).

Aos amigos e contemporâneos de curso; aos funcionários e colegas Maria de Fátima e Miguel que direta, ou indiretamente, contribuíram para a execução deste trabalho.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, pela colaboração e ensinamentos.

A todos os professores e funcionários da Unidade Acadêmica de Tecnologia do Desenvolvimento da Universidade Federal de Campina Grande, na pessoa da Professora Glauciane Coelho, pelo auxílio, entendimento e colaboração nos momentos oportunos.

Aos amigos de profissão e vida, professores Paulo Medeiros e Mérgia Ribeiro, pelos conselhos, amizade, horas de descontração que sempre me ajudaram a dirimir angústias, incertezas e tristezas.

Enfim, a todos de minha estima e consideração que, de alguma maneira, me auxiliaram, quer seja com palavras de carinho ou com apoio moral, para a conclusão da tese.

## SUMÁRIO

<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	ix
<b>ÍNDICE DE TABELAS</b> .....	x
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS</b> .....	xi
<b>RESUMO</b> .....	xii
<b>ABSTRACT</b> .....	xiii
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	01
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	03
2.1. Objetivo geral .....	03
2.2. Objetivos específicos .....	03
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	04
3.1. A degradação das terras: mundial, nacional e regional .....	04
3.2. Geotecnologias: o Sensoriamento Remoto e o Geoprocessamento em estudos ambientais .....	09
3.3. O Sistema de Informação Georreferenciada (SIG) .....	11
3.4. Processamento digital de imagens e <i>softwares</i> .....	15
3.5. Radar SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) .....	18
3.6. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN) .....	20
3.7. Índice de Degradação das Terras no Semiárido (IDTS) .....	23
3.8. Índice de Degradação da Vegetação (IDV) e Índice de Biomassa da Vegetação Lenhosa (IBVL) .....	24
<b>4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO</b> .....	27
4.1. Localização e descrição da área de estudo .....	27
4.2. Solos .....	32
4.3. Vegetação e Economia local .....	38
<b>5. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	40
5.1. Métodos e Material básico .....	40
5.2. Descrição da Metodologia .....	41
5.2.1. Trabalho de campo, laboratório e classificação da vegetação .....	41
5.2.2. Base de dados .....	44
5.2.3. Geração do índice de declividade .....	45
5.2.4. Processamento das imagens e geração do Índice de vegetação .....	45
5.2.5. Mapa de Detecção de Mudança .....	48
5.2.6. Índice de Degradação das Terras Semiáridas (IDTS) .....	48
5.2.7. Índice de Biomassa da Vegetação lenhosa (IBVL) e Índice de Degradação da Vegetação (IDV) .....	50

<b>6. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	53
6.1. Mapeamento da vegetação de caatinga .....	53
6.2. Análise dos histogramas de IVDN das imagens .....	60
6.3. Detecção de mudança .....	63
6.4. Índice de Degradação das Terras Semiáridas (IDTS) .....	69
6.5. Índice de Biomassa da Vegetação Lenhosa .....	77
6.6. Índice de Degradação da Vegetação Lenhosa .....	80
<b>7. CONCLUSÕES</b> .....	83
<b>8. RECOMENDAÇÕES</b> .....	84
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	85
<b>ANEXOS</b>	



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localização da área de estudo .....	27
Figura 2. Mapa de pluviosidade do município de Sumé-PB.....	28
Figura 3. Mapa de localização da bacia do Alto Paraíba .....	29
Figura 4. Mapa geológico da área de estudo.....	30
Figura 5. Mapa de altimetria da área de estudo.....	31
Figura 6. Mapa de classes de declividade da área de estudo.....	32
Figura 7. Mapa de solos da área de estudo .....	33
Figura 8. Fluxograma simplificado das etapas de trabalho .....	40
Figura 9. Espacialização dos pontos amostrais .....	42
Figura 10. Classificação das plantas quanto ao porte .....	43
Figura 11. Classificação das plantas quanto à classe .....	44
Figura 12. Classificação quanto à subclasse .....	44
Figura 13. Mapa de tipologias de vegetação de caatinga e cobertura e uso da terra do ano de 1987, em 06 de maio .....	53
Figura 14. Mapa de tipologias de vegetação de caatinga do ano de 2009, em 28 de outubro .....	54
Figura 15. Imagem representando a classe Arbórea subarbórea densa .....	56
Figura 16. Imagem representando a classe Subarbórea densa .....	57
Figura 17. Imagem representando a classe Arbustiva subarbórea densa .....	58
Figura 18. Imagem representando a classe Arbustiva subarbustiva aberta .....	58
Figura 19. Imagem representando a classe Subarbustiva arbustiva rala .....	59
Figura 20. Imagem representando a classe Subarbustiva arbustiva muito rala .....	59
Figura 21. Imagem representando a classe Solo exposto .....	60
Figura 22. Histograma da reflectância da imagem IVDN de 1987 .....	61
Figura 23. Histograma da reflectância da imagem IVDN de 2009 .....	61
Figura 24. Mapa de detecção de mudança .....	64
Figura 25. Áreas em processo de recuperação .....	65
Figura 26. Áreas com algarobais (Prosopis juliflora (sw) DC) ao longo da linha de drenagem .....	66
Figura 27. Áreas declivosas e de menor acesso antrópico .....	66
Figura 28. Áreas apresentando a classe de detecção de mudança DEGRADAÇÃO .....	67
Figura 29. Áreas apresentando a classe DEGRADAÇÃO com retirada de material energético .....	68
Figura 30. Imagem demonstrando a degradação das terras por retirada de solo para produção de cerâmicos .....	68
Figura 31. Mapa de risco de degradação de cobertura do solo de Sumé-PB .....	69

Figura 32. Mapa de classes de risco da relação declividade versus degradação .....	71
Figura 33. Mapa de classes de risco de degradação versus erodibilidade .....	73
Figura 34. Mapa dos níveis de degradação das terras, município de Sumé-PB .....	75
Figura 35. Imagem representando nível de degradação das terras Muito alto .....	76
Figura 36. Imagem representando nível de degradação Baixa das terras .....	77
Figura 37. Imagem demonstrando processos erosivos na região .....	80

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Classes de vegetação .....	43
Tabela 2. Classes de declividade .....	45
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 (TOM) .....	46
Tabela 4. Valores de IVDN utilizados na classificação da cobertura vegetal .....	47
Tabela 5. Parâmetros de Classes para composição do LEGAL .....	48
Tabela 6. Classes e valores de vegetação .....	49
Tabela 7. Classes e valores de erodibilidade .....	50
Tabela 8. Parâmetros para estimativa das classes de degradação das terras .....	50
Tabela 9. Classes de vegetação e correspondência entre valores de índice de biomassa da vegetação lenhosa (IBVL) e índice de vegetação por diferença normalizada (IVDN) .....	51
Tabela 10. Áreas de ocupação em km <sup>2</sup> e porcentagens das classes de vegetação e cobertura e uso da terra.....	55
Tabela 11. Estatística descritiva das imagens-índice IVDN.....	62
Tabela 12. Valores de áreas das classes de detecção de mudança .....	64
Tabela 13. Áreas de abrangência para classes de risco ao processo de degradação de cobertura do solo .....	70
Tabela 14. Áreas de abrangência para classes de risco da relação declividade versus degradação .....	72
Tabela 15. Áreas de abrangência para classes de risco da relação erodibilidade versus degradação .....	74
Tabela 16. Áreas de abrangência para os níveis de degradação das terras .....	75
Tabela 17. Dados da estimativa do volume da biomassa lenhosa .....	78
Tabela 18. Dados e estimativa da degradação da vegetação lenhosa .....	81

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

**AESA** - Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba  
**DNOCS** - Departamento Nacional de Obras Contra a Seca  
**DSG** - Departamento do Serviço de Geografia  
**EUPS** - Equação Universal de Perdas de Solo  
**FAO** - Food and Agriculture Organization  
**GIS** - Geographic Information System  
**GPS** - Global Position System  
**IA** - Índice de Aridez  
**IBGE** - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
**IBVL** - Índice de Biomassa da Vegetação Lenhosa  
**IDTS** - Índice de Degradação das Terras Semiáridas  
**IDV** - Índice de Degradação da Vegetação  
**IICA** - Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura  
**INPE** - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
**LANDSAT** - Land Remote Sensing Satellite  
**LA RED** - Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina  
**LEGAL** - Linguagem Espaço-Geográfica baseada em Álgebra  
**MMA** - Ministério do Meio Ambiente  
**MNT** - Modelo Numérico do Terreno  
**MDT** - Modelo Digital do Terreno  
**NASA** - National Aeronautics and Space Administration  
**NDVI** - Normalized Difference Vegetation Index  
**ONU** - Organização das Nações Unidas  
**PAN** - Programa Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca  
**PDI** - Processamento Digital de Imagens  
**SCARTA** - Software de Produção Cartográfica (módulo do SPRING)  
**SIG** - Sistema de Informações Geográficas  
**SPRING** - Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas  
**SRTM** - Shuttle Radar Topography Mission  
**SUDENE** - Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste  
**TM** - Thematic Mapper  
**UEPB** - Universidade Estadual da Paraíba  
**UFCG** - Universidade Federal de Campina Grande  
**UFPB** - Universidade Federal da Paraíba  
**UNCCD** - Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação  
**UNESCO** - Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura  
**VBVL** - Volume de Biomassa da Vegetação Lenhosa

**Uso de geotecnologias no estudo da degradação das terras no município de Sumé-PB.**  
RIBEIRO, GEORGE DO NASCIMENTO. 2014. Orientador: Dr. João Miguel de Moraes Neto.

## RESUMO

O sistema econômico atual, em decorrência de seus desmedidos apelos aquisitivos e possessivos, leva de forma desordenada o depauperamento dos recursos naturais. A desertificação tornou-se um grave problema global, especialmente nas regiões áridas, semi-áridas e sub-úmidas do mundo. A degradação das terras é um problema que afeta todas as regiões, não apenas as terras secas e países em desenvolvimento, cerca de um terço de todas as terras agrícolas ou é altamente ou moderadamente degradada. A Paraíba se encontra como líder do ranking dos estados que mais desmatam no Nordeste; em particular, a região do Cariri, é mapeada como grau de desertificação muito grave. Este trabalho objetivou o mapeamento da degradação das terras do município de Sumé-PB. Utilizou-se imagens de média resolução espacial e através do ERDAS e do SPRING realizou-se o geoprocessamento. Foi calculado a estimativa do Volume da Biomassa da Vegetação Lenhosa (VBVL) e o Índice de Degradação da Vegetação Lenhosa (IDVL) para estimativa de perda da biomassa. Também foi calculado o Índice de Degradação de Terras Semiáridas (IDTS). Através do processamento digital de imagens foi possível detectar a mudança da vegetação de caatinga. Por este trabalho pode-se concluir que o uso de geotecnologias possibilitou mapear, classificar e analisar satisfatoriamente a área de estudo. Através do IDVL, constatou-se que 45,64% da área está em processo de perda de biomassa de vegetação e que o VBVL foi de 369.970m<sup>3</sup>. Os resultados demonstram que os níveis alto e muito alto de degradação das terras estão associados à alta erodibilidade dos Luvisolos Crômicos vérticos e ao baixo nível de proteção da vegetação do solo da área. Os resultados demonstraram que ocorreram acréscimos nas áreas de abrangência das classes Arbórea subarbórea densa de 10,96%, na classe Subarbórea densa de 24,52%, e na classe Arbustiva subarbórea densa de 13,7%. Na detecção de mudança pode-se constatar que houve uma recuperação da vegetação para o período estudado.

**Palavras-chave:** geoprocessamento, análise ambiental, índice de vegetação

**Use of geotechnology in the study of land degradation in the municipality of Sumé-PB.** RIBEIRO, GEORGE DO NASCIMENTO. 2014. Adviser: Dr. João Miguel de Moraes Neto.

### **ABSTRACT**

The current economic system, due to its rampant acquisitive and possessive appeals, leads a disorderly manner depletion of natural resources. Desertification has become a serious global problem, especially in semi-arid, arid and sub-humid regions of the world. Land degradation is a problem that affects all regions, not just the dry lands and developing countries, about a third of all farmland or highly or moderately degraded. Paraíba is a leader in the ranking of the states that most deforestation in the Northeast, in special the Cariri, is mapped as a very serious degree of desertification. This study aimed at mapping the land degradation of the municipality of Sumé-PB. We used images of medium spatial resolution and by ERDAS and SPRING held geoprocessing. It was been calculated the estimated Volume of Biomass of Woody Vegetation (VBVL) and the Index of Degradation of Woody Vegetation (IDVL) estimated loss of biomass. Also, it was been calculated Index Degradation of Semiarid Lands (IDTS). Through digital processing of satellite images it was been detect the change in caatinga vegetation. For this study it can be concluded that the use of geotechnology was possible to map, classify and analyze satisfactorily the study area. Through IDVL, it was found that 45.64% of the area are in the process of biomass loss and degradation and that the VBVL was of 369.970m<sup>3</sup>. The results demonstrate that the high and very high levels of degradation of land are associated with high erodibility of Luvisols Chromic vertics and the low level of protection of ground vegetation of the area. The results showed that there were increases in arboreal the sub arboreal dense class of 10.96%, in sub arboreal dense class 24.52%, shrubby sub arboreal dense class and 13.7%. The detection of change can be seen that there was a recovery of vegetation for the study period.

**Keywords:** geoprocessing, environmental analysis, vegetation index

## 1. INTRODUÇÃO

Em decorrência de seus desmedidos apelos aquisitivos e possessivos, o sistema econômico atual leva, de forma desordenada, o depauperamento dos recursos naturais. Propondo atender às necessidades e anseios crescentes, esta própria sociedade amplia a interferência na natureza; desta feita, surgem tensões e conflitos quanto ao uso do espaço e dos recursos naturais, em virtude da tecnologia disponível (SILVA *et al.*, 2009a).

De acordo com o artigo 1 da United Nations (1994) “desertificação significa a degradação da terra nas zonas áridas, semiáridas e subúmidas secas, resultante de vários fatores, incluindo as atividades humanas e as variações climáticas”; já a “degradação da terra é a redução ou a perda da produtividade biológica ou econômica, bem como da complexidade das terras agrícolas irrigadas ou não, das pastagens, bosques e terras com vegetação nativa, em zonas áridas, semiáridas e subúmidas secas”.

A desertificação tornou-se um grave problema global, em especial nas regiões áridas, semiáridas e subúmidas do mundo. Além de interromper drasticamente o equilíbrio natural local e o ecossistema biológico, no geral reduz muito a capacidade produtiva dos recursos naturais escassos e basicamente frágeis nessas regiões (FAO, 1993).

A degradação das terras é um impasse que afeta todas as regiões, não apenas as terras secas e países em desenvolvimento em que cerca de um terço de todas as terras agrícolas ou é altamente ou moderadamente degradada. As terras áridas são mais vulneráveis a degradação natural e antrópica devido à pequena contenção de água no solo e é um dos principais motores de insegurança, que provocam a migração forçada e conflitos em todo o mundo (UNCCD, 2014a).

A degradação da terra e a desertificação não são problemas restritos ao Brasil; 33% da superfície terrestre, área esta onde moram cerca de 2,6 bilhões de pessoas, sofrem com as mesmas dificuldades. Particularmente na região Subsaara, na África, de 20% a 50% das terras estão degradadas; a degradação do solo também é severa na Ásia e na América Latina (MARENGO, 2008), tal como na Europa, América do Norte e Oceania.

De acordo com a UNCCD (2014b) sem a possibilidade de recuperar as terras degradadas e protegê-las, não se pode salvar o planeta dos impactos das mudanças climáticas, com o intuito de atender às demandas atuais e futuras de água, ocasionando tensões étnicas difusas ou fluxos de migração reversa.

Por suas características intrínsecas e históricas, o Nordeste Brasileiro vem sofrendo severos problemas de ordem ambiental, em que merecem destaque a degradação das terras,

caracterizada por depauperamento dos recursos solo-água-vegetação provocados sobretudo pela ação antrópica.

A Paraíba, além de possuir o maior percentual de áreas afetadas por processos de desertificação na categoria “muito grave”, é o estado que apresenta uma das maiores variabilidades espaciais nas chuvas (ARAÚJO *et al.*, 2009). Para a região do Cariri ocidental paraibano, de acordo com a AESA (2012), a pluviometria varia entre 500 até 700  $\text{mm ano}^{-1}$ , caracterizando-se como a segunda menor média entre as regiões geográficas do estado.

Com referência a classificação à desertificação, a região do Cariri paraibano é classificada como grau de desertificação muito grave apesar de ter havido uma utilização agropecuária menor, em virtude do êxodo rural provocado pelo declínio das atividades agrícolas tradicionais (algodão e gado bovino), a pressão sobre os recursos naturais da Caatinga continua forte (FRANCISCO *et al.*, 2013).

A falta de planejamento do uso da terra tem acarretado severos danos nos recursos naturais da região do cariri paraibano, onde se localiza o município de Sumé. Segundo Ab’Saber (1999), a região semiárida brasileira é uma região sob intervenção cujo planejamento estatal define projetos e incentivos econômicos de alcance desigual, mediante programas incompletos e desintegrados de desenvolvimento regional. Parte da bacia do rio Sucuru, uma das principais bacias formadoras do rio Paraíba, está compreendida no município em estudo; desta feita, é imperativo o estudo da degradação das terras e conservação da vegetação local.

Para compreender as mudanças do complexo interrelacionamento do meio ambiente terrestre em resposta à evolução natural e às atividades antrópicas, que são de caráter dinâmico, é necessário dispor de uma fonte de dados com agilidade temporal e espacial que satisfaça o lapso de tempo desta evolução. Daí decorre que o atendimento a esses objetivos pode ser, até certo nível, satisfeito, através de dados obtidos a partir de técnicas de sensoriamento remoto, especialmente aqueles coletados mediante sistema a bordo de satélites (RIBEIRO *et al.*, 2007).

Diante do exposto, a motivação deste projeto partiu da necessidade de se detectar e mapear a degradação das terras no tocante a região semiárida, especificamente no município de Sumé, cariri paraibano, em que a população é muito castigada pela irregularidade das chuvas e de ações que viabilizem o convívio com as condições precípua regionais.



## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo Geral**

Este projeto teve, como objetivo principal, estudar, com o uso de geotecnologias, a degradação das terras, no município de Sumé-PB.

### **2.2. Objetivos Específicos**

- Identificar e quantificar a cobertura vegetal por meio de imagens de satélite utilizando-se o IVDN (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) para monitoramento ambiental.
- Estimar e avaliar a degradação da biomassa da vegetação da caatinga por meio do Índice de Biomassa da Vegetação Lenhosa (IBVL).
- Detectar e mapear a dinâmica temporal de classes de vegetação da caatinga entre 1987 e 2009.
- Mapear a degradação das terras utilizando-se o Índice de Degradação das Terras Semiáridas (IDTS).

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. A degradação das terras: mundial, nacional e regional

Desastres de alta magnitude são aqueles que atingem grandes territórios e têm impacto importante na infraestrutura, população e produção, podendo ser notados em diferentes dimensões (LAVELL, 2003).

Nos anos 30 a comunidade científica observou um fenômeno ocorrido no meio oeste americano conhecido como *Dust Bowl*, ocasião em que uma intensa degradação dos solos afetou uma área de cerca de 380.000 km<sup>2</sup> atingindo os estados norte americanos de Oklahoma, Kansas, Novo México e Colorado, nos quais algumas regiões das Planícies Altas (*High Plains*) experimentaram condições persistentes de seca, durante quase oito anos. O início ao conjunto de pesquisas deu-se a partir deste evento através do qual o processo foi nomeado como sendo desertificação (PROJETO BRA 93/036, 1998).

A palavra “desertificação” foi mencionada, a primeira vez, pelo pesquisador francês Louis Lavauden, em 1927, e foi popularizada por Andre Aubreville, nos anos 40, depois de uma década de experiências relacionadas com a degradação da terra na Grande Planície Americana causada sobremaneira pelo desmatamento, exploração intensiva dos solos e nove anos de seca intensa, o que afetou a região nos anos de 1929 a 1936 (MATALLO JUNIOR, 2009).

Para Matallo Junior (2009), o *Dust Bowl* foi conhecido como o primeiro processo de desertificação nos tempos modernos em razão do uso inadequado dos recursos naturais, desmatamento e da criação extensiva de gado. Considera-se, também, a fonte de inspiração para os primeiros estudos científicos com relação à degradação da terra, no século XX.

Alguns termos, como desertização, arenização, desertos e seca são, muitas vezes, confundidos com a desertificação. Deserto é um processo geológico, um fenômeno de certa forma acabado e resultante da evolução de processos que alcançaram certa estabilidade final e que pode ser definida como um clímax ecológico, isto é, por uma espécie de equilíbrio homeostático natural. O termo desertização é utilizado para tratar os fenômenos socioeconômicos de crescente abandono de um território, província ou região, pela população que o habita, advindo como resultado, baixas densidades demográficas (PEREIRA e ALMEIDA, 2011).

Para Suertegaray (2005) por arenização se entende o processo de retrabalhamento de depósitos arenosos, pouco ou não consolidados, que acarreta, nessas áreas, uma dificuldade de fixação da cobertura vegetal devido à intensa mobilidade dos sedimentos

pela ação das águas e dos ventos; indica uma área de degradação relacionada ao clima úmido, cuja a diminuição do potencial biológico não desemboca em definitivo em condições de tipo deserto; ao contrário, a dinâmica dos processos envolvidos nesta degradação dos solos é fundamentalmente derivada da abundância de água.

De acordo com Sampaio *et al.* (2006), são múltiplos os fatores que originam a desertificação, somado à isso, são extremamente complexos, entrelaçados, com inúmeros mecanismos de retroalimentação, o que torna sua análise extremamente difícil, ante o que se torna necessário estabelecer a influência de cada um e seus efeitos combinados.

Observando o Artigo 1º da Convenção das Nações Unidas para o Combate à Desertificação (UNCCD) Matallo Junior (2009) reporta que a “desertificação significa a degradação da terra nas zonas áridas, semiáridas e subúmidas secas, resultante de vários fatores, incluindo as atividades humanas e as variações climáticas”.

No Brasil o problema da desertificação remonta ao período colonial e às tradicionais formas de ocupação da região semiárida e a incompatibilidade com as necessidades geradas por sua inserção aos mercados nacional e regional (PROJETO BRA 93/036, 1998).

De acordo com o Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca - PAN BRASIL (2005) os processos de desertificação na região semiárida brasileira começaram a ser formalmente identificados nos anos de 1970, discutidos e analisados pelo ecólogo pernambucano João Vasconcelos Sobrinho, nos quais relatava que nesse estado 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”, sendo este “um deserto atípico, diferenciado do típico deserto saariano, pela incidência de precipitações e natureza do solo mas com as mesmas implicações de inabitabilidade”.

Os problemas decorrentes da desertificação no semiárido são agravados por conta de seu quadro geoambiental vulnerável, em que os recursos de água, solo (perda de cobertura fértil) e geobotânico, são consumidos e exauridos vorazmente, sob dadas conjunturas políticas e econômicas aumentando, assim, a vulnerabilidade do homem às secas (BEZERRA, 2003).

Para o sertão nordestino, calcula-se que uma área com mais de 18.000 km<sup>2</sup> já se desertificou e outras 180.000 km<sup>2</sup> estão em processo de desertificação. Alguns estudos disponíveis relatam que a área afetada de forma muito grave é de 98.595 km<sup>2</sup>, correspondendo a 10% do semiárido e áreas afetadas de maneira grave atingem 81.870 km<sup>2</sup>, compreendendo a 8% do território; cerca de 393.897 km<sup>2</sup> de extensão de terra sofrem

degradação moderada (SILVA NETO, 2004).

Faz-se necessário entender, de acordo com Duque (1980), que ao avaliar os processos de degradação das terras no nordeste e sua consequente perda da capacidade produtiva não significa que se deva empregar o termo ‘desertificação’ mas este autor afirma que, em razão da degradação edáfica, não haverá um deserto físico com as características do Saara nem haverá diminuição de chuvas mas, sim, a formação de um deserto econômico.

A degradação das terras também pode desencadear um ciclo de degradação do meio ambiente, seu empobrecimento, migrações e conflitos e muitas vezes também colocar em instabilidade política os países e as regiões afetadas pelo risco a degradação (UNCCD, 2007).

Para Matallo Júnior (2001) a ideia de “degradação da terra” é, por si só, complexa, com diferentes componentes, como: degradação de solos, degradação da vegetação, degradação dos recursos hídricos e redução da qualidade de vida da população. Esses quatro componentes dizem respeito a grandes áreas de conhecimentos (físicos, biológicos, hídricos e socioeconômicos).

O estado da Paraíba ocupa o segundo lugar no ranking dos estados nordestinos com o maior número de municípios incluídos na área do semiárido. De acordo com os dados do Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca (BRASIL, 2005), pelo menos 150 municípios paraibanos (região semiárida), cerca de 67,26%, estão susceptíveis à desertificação, no qual cerca de 1,4 milhão de pessoas enfrentam este problema.

Segundo o Programa de Ação Estadual de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca no Estado da Paraíba PAE-PB (2011), a Microrregião do Cariri Ocidental paraibano apresenta 59,91% de sua área total (6.983,60km<sup>2</sup>), com Nível de desertificação Muito alto, figurando entre os maiores níveis de desertificação no estado e se encontram associadas à ocorrência de regimes de menor precipitação pluviométrica proporcionando maior vulnerabilidade ao uso mais intenso agropecuário das suas terras.

Entre os estados brasileiros a Paraíba é o que possui maior percentual de áreas afetadas pelo processo de desertificação na classe “muito grave”, levando-se em consideração o mapa de ocorrência de desertificação e áreas de atenção especial no Brasil, elaborado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2008).

O termo desertificação vem sendo utilizado de forma massificada pelas mídias causando distúrbio em seu entendimento até por parte da população científica. Faz-se necessário recorrer a este tema, de forma mais rápida e clara possível.

No Glossário de termos e conceitos da UNCCD e de acordo com o artigo 1, Matallo Junior (2009) reporta que “degradação da terra é a redução ou a perda da produtividade biológica ou econômica, tal como da complexidade das terras agrícolas irrigadas ou não, das pastagens, bosques e terras com vegetação nativa, em zonas áridas, semiáridas e subúmidas secas. A degradação de terra é ocasionada pelos sistemas de utilização da terra ou por um processo ou, ainda pela combinação de processos, incluídos os resultantes de atividades humanas e padrões de habitação, tais como: a erosão dos solos causada por ventos e/ou água; degradação das propriedades físicas, químicas, biológicas ou econômicas dos solos e perdas de longo prazo da vegetação nativa”.

De acordo com Oliveira *et al.* (2009) a degradação das terras no estado da Paraíba ocorre desde o nível baixo até o muito grave e indica os diferentes estágios de desenvolvimento do desastre do processo de desertificação que tem, como fatores principais, a ocorrência das secas severas e do uso e ocupação histórica e que, para combater a desertificação no semiárido é imprescindível que haja uma mudança radical de visão do problema e na estrutura organizacional, “enquanto perdurar o modelo de crescimento econômico e não de desenvolvimento sustentável, os problemas sociais e ambientais continuarão”.

Para Barbosa *et al.* (2005) no tocante ao processo desertificatório, o estado da Paraíba possui 67,87% de seu território comprometido com o processo da desertificação em diferentes níveis de degradação.

Segundo Alves *et al.* (2009) a Paraíba é o estado brasileiro com maior nível de degradação, segundo dados da Organização Não Governamental Internacional Greenpeace. O Ministério do Meio Ambiente (2008) admite que cerca de 80% dos municípios paraibanos estão numa área em que os índices pluviométricos são inferiores a 800 mm por ano, causando aproximadamente problemas a cerca e 1,5 milhão de pessoas.

Agravando ainda mais esses percentuais, estão os números do IBAMA, colocando a Paraíba como líder do ranking dos estados que mais desmatam no Nordeste. Segundo o relatório, o desmatamento corresponde, hoje, a cerca de 70% da mata nativa, número superior ao registrado em outros estados do Nordeste (ALVES *et al.*, 2009).

Para Silva Neto (2007) a degradação do meio-ambiente na região do Cariri ocidental paraibano está intimamente ligada à dinâmica das vulnerabilidades verificadas, onde predominam condições climáticas desfavoráveis e solos de reduzida aptidão agrícola, principalmente quando esses recursos naturais são explorados por métodos insustentáveis, do ponto de vista da sua conservação e preservação.

Utilizando técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento e efetuando o

mapeamento das áreas em risco ao processo de desertificação na região do Cariri paraibano, Souza (2008) relatou que houve um aumento de cerca de 14,6% nas áreas em processo de desertificação levando em consideração o ano de 1989 aos anos 2005/2006, em que os maiores índices ocorreram na parte do Cariri Ocidental. O autor relata, ainda, que as áreas nas quais o processo de desertificação está mais acentuado e concentrado, se localizam nas terras próximas às bacias hidrográficas do Alto Paraíba e da sub-bacia do rio Taperoá.

No tocante à pluviometria regional e de acordo com Souza *et al.* (2009), pode ser explicada a compreensão dos baixos índices pluviométricos pela localização dessa região, por estar situada no fim do percurso dos fluxos úmidos que se direcionam para o semiárido nordestino e em situação de sotavento, fazendo parte da diagonal mais seca do Brasil.

Trabalhando no município de Taperoá, PB, região de condições edafoclimáticas análogas às do estudo aqui proposto, Farias *et al.* (2012) revelaram algumas das principais atividades que aumentaram a degradação ambiental local, dentre elas as de maior impacto podem ser citadas a seguir: agropecuária e desmatamentos com a retirada de lenha para o fabrico de telhas e tijolos.

Alencar (2008) verificou estudando riscos e vulnerabilidades na bacia do rio Sucuru, Sumé-PB, altos riscos e vulnerabilidade da vegetação nativa da região à exploração predatória para atender à demanda energética de diversos setores colocando a região, assim, em estado de alerta. Verificou-se, também, que a retirada da vegetação ciliar trouxe muitos sedimentos das áreas adjacentes assoreando os corpos d'água e reduzindo sua capacidade de armazenamento.

Para Silva Neto (2004) a retirada da vegetação de caatinga no cariri ocidental paraibano, onde está inserido o município de Sumé-PB, para a introdução consorciada das culturas de subsistência e pastagens, visando dar suporte à pecuária, acelera o processo de degradação dos solos locais contribuindo para a formação de áreas desertificadas.

O município de Sumé-PB, de acordo com Moraes Neto (2003), apresenta características marcantes nos aspectos ambientais que dizem respeito à cobertura vegetal, ao uso da terra, aos níveis de erosão e à existência da matéria orgânica, além da densidade populacional, aspectos esses que influenciam diretamente na degradação ambiental.

A produção e a produtividade agrícola no município de Sumé-PB, segundo Moura *et al.* (2005), têm sido afetadas de maneira significativa pelas variações climáticas, juntamente com as práticas não conservacionistas do uso do solo agrícola exigindo estudos mais aprofundados das vulnerabilidades das terras agrícolas e dos riscos a desastres, frente às variações climáticas e à ação antrópica.

A densidade demográfica exerce pressão sobre os recursos naturais; conseqüentemente, é relevante no aumento dos riscos à degradação das terras; no município de Sumé-PB, a densidade demográfica na zona rural vem diminuindo devido, provavelmente, ao baixo desenvolvimento econômico e social, bastante relacionado com as condições de conservação dos recursos naturais e que teve, como uma das conseqüências, a desativação do perímetro irrigado de Sumé (MOURA, 2002).

De acordo com Evangelista e Vital (2013) a região de Sumé-PB, detém reservas vegetais que estão sendo consumidas indiscriminadamente para utilização em fornos e caldeiras e para a fabricação de carvão por processos rudimentares; contudo, existem ainda áreas preservadas.

### **3.2. Geotecnologias: o sensoriamento remoto e o geoprocessamento em estudos ambientais**

Segundo Lillesand e Kiefer (1994) o Sensoriamento Remoto é a ciência e a arte de se obter informações sobre um objeto, área ou fenômeno, por meio de análise de dados adquiridos por um sistema que não está em contato com este objeto, área ou fenômeno sob investigações.

Conceituando o sensoriamento remoto, Moreira (2004) o defini como sendo a utilização conjunta de sensores e equipamentos para processamento de dados, equipamentos de transmissão de dados, aeronaves e espaçonaves, dentre outros, com o objetivo de estudar o ambiente terrestre através do registro e da análise das interações entre radiação eletromagnética e as substâncias componentes do planeta terra, em suas mais diversas manifestações.

As técnicas de sensoriamento remoto se constituem em uma ferramenta poderosa para o estudo e pesquisa dos inúmeros problemas científicos relacionados com os recursos naturais, visto que, através de sua principal característica, a repetitividade supre o problema do mapeamento em intervalos curtos de tempo, resolvendo a questão de atualização de mapas ambientais (VELOSO JUNIOR, 2003).

Uma das ferramentas mais significantes para o monitoramento das mudanças de cobertura e uso do solo é oriunda das imagens de satélites, caso em que regiões semiáridas, as condições climática, edáfica e de degradação da paisagem, exercem influência relevante na resposta espectro-textural da cobertura e no uso do solo, quando observados em dados sensoriados (MALDONADO, 2001).

O geoprocessamento pode ser definido como um conjunto de técnicas e

metodologias de armazenamento, processamento, automação e utilização de imagens para tomada de decisões (PONTES, 2002). O autor reporta ser costume dizer que geoprocessamento é uma tecnologia interdisciplinar que permite a convergência de diferentes disciplinas científicas para o estudo de fenômenos ambientais e urbanos.

Pontes (2002) ressalta que, na verdade, o geoprocessamento é uma das vertentes evolutivas do sensoriamento remoto que veio suprir, pode-se assim dizer, a carência de organização e sobreposição de dados referentes a uma região especificamente estudada. Esta técnica é, hoje, de ampla utilização, haja vista que permite associar vários itens a uma mesma projeção mostrando verdadeiras inter-relações entre atividades de análise em um mesmo espaço físico (compreenda-se tal tipo de análise como vegetação, ocupação humana, organização urbana, rural, hidrografia etc.).

Neste contexto, o termo geoprocessamento denota a disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica e que vem influenciando, de maneira crescente, as áreas de cartografia, análise de recursos naturais, transportes, comunicações, energia e planejamento urbano e regional. As ferramentas computacionais para geoprocessamento, chamadas Sistemas de Informação Geográfica (SIG), permitem realizar análises complexas ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados georeferenciados (GONÇALVES, 2004; PONTES, 2002). Para Fernandes (1997) a característica principal do geoprocessamento é sua faculdade de armazenar, recuperar e analisar mapas num ambiente computacional.

Calheiros (2000) afirma que o desenvolvimento econômico-tecnológico, responsável pela aceleração de problemas e induzido pela avalanche de dados e informações espaciais, necessita e permite o uso constante de tecnologias estruturadas em geoprocessamento. De acordo com o autor com o advento do geoprocessamento e das tecnologias do Sensoriamento Remoto, “este desenvolvimento adquiriu novo perfil tornando-se viável a manipulação do grande volume de dados disponíveis tratados por diferentes procedimentos computacionais, levando à utilização de tecnologias que propiciam a análise integrada e georreferenciada dos fenômenos ambientais”.

Câmara et al (2000), reporta que a tecnologia atual de Geoprocessamento ainda enfatiza a representação de fenômenos espaciais no computador de forma estática; no entanto, um conjunto significativo de fenômenos espaciais, tais como escoamento de água da chuva, planejamento urbano e dispersão de sementes, entre outros, é inerentemente dinâmico e as representações estáticas utilizadas em SIG não os capturam de forma adequada; deste modo, um dos grandes desafios da Ciência da Informação Espacial é o desenvolvimento de técnicas e abstrações capazes de representar adequadamente



fenômenos dinâmicos.

Para Amorim (2007) as geotecnologias são representações eletrônicas-computacionais do espaço, formas de conhecimento e pensamento acerca do espaço, que nos possibilitam interessantes incursões epistemológicas e ontológicas, antropológicas e psicossociais, acerca do olhar, do ver e do pensar, o espaço.

Para a junção de informações diversas, não só de solos e vegetação, mas também como de recursos hídricos, infraestrutura, ocupação humana, análise sócioeconômica regionais entre outras práticas, exige-se o cruzamento de informações no qual pode ser utilizados sistemas de geoinformação (RIBEIRO, 2006).

Na tentativa de minimizar os impactos ambientais provocados pelo homem, Montebelo *et al.* (2005) trabalharam em áreas de preservação permanente (APPs) objetivando analisar o uso e cobertura do solo existentes culminando em dados de risco de erosão presente nessas áreas, através de técnicas de geoprocessamento podendo, assim, fornecer informações para elaboração de planos diretores, contribuindo para o Planejamento Ambiental da área, tanto quanto para a composição de uma base de dados georreferenciados.

Novas técnicas no tratamento de dados de satélite são necessárias quando se trabalha com alta heterogeneidade como é o caso da caatinga (MALDONADO e CARVALHO, 2003). Através do processamento digital de imagens de satélite em séries temporais e do cruzamento com dados descritivos pode-se avaliar e mapear a evolução de processos desertificatórios e indicadores sócioeconômicos na área de Xingó (FREIRE *et al.*, 2003).

### **3.3. O Sistema de Informação Georreferenciada (SIG)**

De acordo com Gonçalves (2004), os Sistemas de Informação Georreferenciadas (SIG), compreendem ferramentas computacionais para geoprocessamento. O SIG seria, então, um poderoso elenco de ferramentas para coletar, armazenar, recuperar, transformar e exibir dados espaciais referenciados ao mundo real.

O termo Sistemas de Informação Georreferenciadas (SIG), também conhecido em inglês como *Geoprocessing Information System* (GIS) é aplicado a sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos e recuperam informações não apenas com base em suas características alfanuméricas mas também através de sua localização espacial. Um SIG pode ser utilizado como ferramenta para a produção de mapas, como suporte para análise espacial de fenômenos, como uma base de dados geográficos, com

funções de armazenamento e recuperação de informação espacial.

Alves (1999) reporta que o SIG pode ser definido como um conjunto organizado de equipamentos de computação, programas aplicativos e dados georreferenciados, projetados para capturar, armazenar, manipular, analisar e apresentar, visualmente, todas as formas de informações geográficas, para um objetivo ou aplicação específica, ou seja, é um sistema usado para agregar valor a dados espaciais ou geográficos. A característica principal dos SIG's é a capacidade que têm de gerar representações cartográficas relativas as regiões de interesse integrando as informações (GONÇALVES, 2004).

Para Pontes (2002), SIG é uma base de dados digitais de propósito especial no qual um sistema de coordenadas espaciais comum é o meio primário de referência. Os SIG's se caracterizam por serem instalados em computadores possibilitando a codificação dos dados geográficos que são capazes de: entrada dos dados a partir de mapas, fotografias aéreas, imagens de satélites levantamentos de campo e outras fontes; armazenamento, recuperação e busca de dados; transformação de dados, análise e modelagem, incluindo estatística espacial e comunicação dos dados através de mapas, relatórios e planos.

O SIG integra, em um única base de dados, as informações espaciais provenientes do relatório de levantamento de solos, imagens de satélite ou de radar, mapas geológicos, geomorfológicos, planialtimétricos, climáticos e mapas de vegetação. Em função de seus objetivos e necessidades, cada sistema implementa esses componentes de forma distinta, mas todos os subsistemas citados devem estar presentes em um SIG.

De acordo com Câmara *et al.* (2000) em países como os Estados Unidos, em que a Geografia Quantitativa é a visão dominante, os SIGs são apresentados como as ferramentas fundamentais para os estudos geográficos, nos quais são representados pelas superfícies, que no computador correspondem a grades regulares e malhas triangulares e as redes, representadas por matrizes de interação espacial.

Uma base de dados geográficos é composta por conjuntos de planos de informação, um conjunto de geo-objetos e um conjunto de objetos não-espaciais em que não se faz restrição sobre escala dos dados nem sobre a continuidade espacial dos planos de informação que compõem o banco (GONÇALVES, 2004).

A tecnologia de SIG evoluiu de maneira muito rápida a partir da década de 70. Como este desenvolvimento foi motivado desde o início por forte interesse comercial, não foi acompanhado de um correspondente avanço nas bases conceituais da geoinformação; como resultado, o aprendizado do Geoprocessamento tornou-se singularmente dificultado (CÂMARA *et al.*, 2000).

Nunes *et al.* (2002) reportam que os recursos na área de sensoriamento remoto

oferecem a possibilidade de monitoramento contínuo de fenômenos espaciais. Os SIGs permitem o armazenamento e a manipulação de todo e qualquer tipo de informação georreferenciada; assim, há agilidade na obtenção dos dados, além de outras vantagens, que são inúmeras relacionando-se com a utilização de métodos tradicionais. Do ponto de vista da tecnologia, desenvolver um SIG significa oferecer o conjunto mais amplo possível de estruturas de dados e algoritmos capazes de representar a grande diversidade de concepções do espaço.

De acordo com Câmara e Medeiros (1998), em resumo, as características dos SIGs são de integrar, em uma única base de dados, as informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados de censo e cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno; oferecer mecanismos para combinar as várias informações através de algoritmos de manipulação e análise e para consultar, recuperar, visualizar e “plotar” conteúdo de dados georreferenciados.

Trabalhando com SIGs, Azambuja Madruga (2004) determinou a cobertura florestal nativa e plantada no estado do Rio Grande do Sul em escala 1:250.000, determinando sua espacialização, classificando-as por categoria de tamanho, de função e de propriedade, calculando o total de estoque disponível, tratamentos silviculturais necessários para cinco anos, intensidade de cortes e ocorrência de danos por incêndios e pragas.

As técnicas de geoprocessamento foram essenciais para a geração de um mapa de uso da terra recomendado no estudo proposto por Silva Brito (2003) na bacia hidrográfica do ribeirão Bom Jardim, na região do triângulo mineiro; para a geração dos mapas utilizou-se das técnicas de sobreposição de mapas temáticos armazenados no sistema de geoprocessamento SPRING 5.2.4.

Utilizando o geoprocessamento na análise de áreas de conflito do uso da terra na microbacia hidrográfica do Arroio Ituzinho, Salbego *et al.* (2002) elaboraram os mapas temáticos permitindo determinar as áreas que apresentam conflitos em relação ao uso da terra concluindo que as técnicas de geoprocessamento utilizadas se mostraram eficientes, apresentando rapidez e confiabilidade.

Em estudo da precisão de resultados obtidos no levantamento de áreas florestais dos povoamentos naturais e implantados da área de abrangência da carta sistemática de Cachoeira do Sul - RS, obtida através de técnicas de geoprocessamento, Bolfe *et al.* (2002), utilizaram sistemas de informações geográficas e sistemas de posicionamento global.

Rubert *et al.* (2002) estudaram o uso de geoprocessamento na determinação de

áreas de conflitos de uso da terra no município de Nova Esperança - RS, e concluíram que as técnicas de geoprocessamento proporcionaram as condições básicas para a identificação das áreas de conflito e diagnóstico da paisagem do município, sendo de fundamental importância para a elaboração de propostas corretivas das condições do meio físico, alteradas pelo uso inadequado.

Rossato *et al.* (2002), pesquisaram o uso da terra no Município de Pinhal Grande - RS, cujo objetivo foi o mapeamento do uso da terra através do geoprocessamento e do sensoriamento remoto identificando e quantificando as diferentes classes de uso.

No estudo da evolução do uso da terra em Botucatu-SP, Campos *et al.* (2004), demonstraram que o Sistema de Informações Geográficas que foi utilizado para as análises, mostrou-se eficiente para auxiliar na identificação e no mapeamento das áreas com uso da terra facilitando o processamento dos dados. Em estudo realizado no município de Cedro-PE, verificando mudanças na cobertura vegetal regional, Sousa (2003) demonstrou que a utilização de SIG e do sensoriamento remoto foram ferramentas indispensáveis para o acompanhamento das mudanças na cobertura vegetal na região de estudo.

Moura (2006) constatou, utilizando tecnologias do geoprocessamento, que os fatores das mudanças climáticas se apresentaram como secundários no processo da degradação/desertificação do município de Prata, cariri paraibano caracterizando este processo como um desastre não natural que está sendo construído socialmente.

Segundo Barbosa e Santos (2002) com relação à vulnerabilidade ecológica para o município de Sumé ela está diretamente relacionada com a educação. Para atender às suas necessidades básicas sem ter uma base educacional e cultural forte, a população local destrói o meio ambiente, sobretudo pelo desmatamento predatório, causando erosão dos solos, e em contrapartida, assoreamento dos rios e açudes; os desmatamentos indiscriminados são o principal fator da desertificação.

Conforme Moraes Neto (2003) foi possível verificar, por meio de geotecnologias, diversos núcleos de desertificação nos municípios paraibanos de Sousa, Sumé e Picuí destacando-se que, neste último, a degradação das terras é tão crítica que não existe uma área que possa ser representada pelo nível de degradação muito baixo, prevalecendo os níveis moderado grave e muito grave. Silva (2002) encontrou no município de Picuí-PB, o valor de 48,45% para os níveis de degradação grave e muito grave; já para os municípios de Sousa e Sumé existem áreas com níveis de degradação muito baixos porém bastante pequenas, prevalecendo os níveis moderados.

Garcia (2004) reporta que para os municípios de Souza, Sumé e Picuí, há uma altíssima vulnerabilidade social, econômica, tecnológica e a seca, com índice de

vulnerabilidade superior a 45%, configurando uma situação de extrema pobreza da população observada através dos índices de rendimento; em média, 75% dos homens e 50% das mulheres possuem renda de até um salário mínimo.

Quanto às condições em que se encontram os solos, os municípios do cariri paraibano de Boa Vista, Cabaceiras, São João do Cariri e São Domingos do Cariri se mostraram com estágios de desertificação de moderado a severo em valores próximos a 70%, 67%, 84% e 75% respectivamente (SOUSA, 2007). O autor ainda retrata que as famílias rurais dos municípios estão bastante vulneráveis, com índices acima de 45%, indicando o alto grau de insegurança, um dos grandes obstáculos ao desenvolvimento sustentável. A limitação da infraestrutura hídrica potencializa a vulnerabilidade às secas.

Para Duarte (2008) a lenha é o recurso natural mais utilizado nos domicílios rurais no cariri paraibano, para cozinhar e também por indústrias de diferentes portes, instaladas nas proximidades das cidades e na área urbana, em virtude de se tratar de uma fonte de energia barata.

Alencar (2004) observou, trabalhando com geoprocessamento nos municípios de Amparo e Ouro Velho, no Cariri Paraibano que, para sobreviver, a população se volta para a natureza desmatando a caatinga, região onde os solos são facilmente erodidos. Os recursos hídricos observados possuem baixa capacidade de armazenamento e em geral estão em um estágio de degradação grave visto que os leitos dos rios se encontram bastante assoreados.

### **3.4. Processamento digital de imagens e *softwares***

Apesar do ser humano ter a capacidade de distinguir uma gama muito grande de padrões, dificilmente é capaz de processar o enorme volume de informações presente em uma imagem de satélite. Por esta limitação faz-se necessário a utilização do processamento digital de imagens que tem, por objetivo, facilitar a extração de informações a partir de imagens constituindo-se em um estágio preparatório, embora quase sempre obrigatório, da atividade de interpretação das imagens de sensoriamento remoto (CROSTA, 1993).

Para o INPE (2006) as técnicas voltadas para a análise de dados multidimensionais adquiridos por diversos tipos de sensores, recebem o nome de processamento digital de imagens, ou seja, é a manipulação de uma imagem por computador de modo que a entrada e a saída do processo são imagens. Não obstante, se usa para melhorar o aspecto visual de certas feições estruturais para o analista humano e para fornecer outros subsídios para sua interpretação, inclusive gerando produtos que possam, posteriormente, ser submetidos a

outros processamentos.

O Processamento digital de imagens pode ser dividido, de acordo com o INPE (2006), em três etapas: pré-processamento, realce e classificação.

- Pré-processamento: refere-se ao processamento inicial de dados brutos para calibração radiométrica da imagem, correção de distorções geométricas e remoção de ruído.
- Realce: visa melhorar a qualidade da imagem, permitindo uma discriminação melhor dos objetos presentes na imagem.
- Na classificação são atribuídas classes aos objetos presentes na imagem.

Essencialmente, existem dois métodos de classificação de imagens multiespectrais, que são: o método de classificação não supervisionado (*unsupervised classification*) e o método de classificação supervisionado (*supervised classification*) que podem ser utilizados separadamente, de acordo com a necessidade do trabalho (Moreira, 2004).

A classificação não supervisionada usa um algoritmo de “*clustering*”, que analisa os pixels “desconhecidos” da base de dados e os divide em um número de classes espectralmente distintas baseado em seu próprio agrupamento natural, sendo possível identificar o tipo de cobertura representada por cada classe espectral usando-se vários tipos de informações, como imagens coloridas e fotográficas, mapas e dados de reconhecimento de campo (AVERY e BERLIN, 1985).

Na classificação supervisionada o analista identifica inicialmente, várias “áreas de treinamento” na imagem, representativas das classes desejadas. A criação das classes resulta do agrupamento de “pixels mais parecidos”, mediante a comparação dos pixels da cena com os pixels da classe de interpretação gerada pelo computador (HEPNER, 1990).

Para Moreira (2004), existem alguns fatores que contribuem para o êxito da análise das imagens de satélites que são basicamente: a época de obtenção das imagens de satélite, tipo de produto, bandas espectrais, escala das imagens e experiência do fotointérprete.

Vários são os *softwares* utilizados para a análise e estudo de imagens de satélites. O *software* ERDAS é um programa utilizado para diversas atividades no sensoriamento remoto, em que uma delas é a elaboração de mapas temáticos, confeccionados por meio de imagens de satélites. O sistema ERDAS se constitui num sistema misto ou integrado por manter ou recuperar rapidamente e a um custo baixo, grande quantidade de informações (Alves, 1999).

O ERDAS é um dos *softwares* mais completos para processamento e análise de imagens, por possuir avançadas ferramentas para modelagem espacial e tratamento de

novas informações. Além disto, é possível visualizar seus resultados em 2D, 3D, filmes e composição de mapas. Suporta vários workflows, que permitem: processamento multi-core e distribuído, modelagem espacial, classificação de Imagens, ortorretificação, entre outros tipos de tratamento (SCCON, 2013).

Veloso Junior (2003) concluiu, trabalhando com o software ERDAS, que este é um programa que facilita o levantamento dos recursos naturais de uma região, poupando tempo, dinheiro e pessoal especializado.

Ribeiro (2006) constatou, trabalhando na região do Agreste paraibano, que o uso do *software* ERDAS facilitou no levantamento dos recursos naturais da referida região, principalmente solos e usos da terra, à qual o trabalho se propunha.

Rodrigues *et al.* (2001) obtiveram, efetuando a classificação supervisionada da imagem de satélite LANDSAT-TM/5, e se utilizando das bandas 3, 4 e 5, o mapa de uso atual da terra no município de Botucatu-SP.

No Brasil, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, em São José dos Campos-SP, desenvolveu um Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING), de aquisição livre, atualizado e de fácil compreensão, que utiliza um modelo de dados orientados para estudos ambientais e cadastrais (LOPES, 2002).

Para o INPE (2012) o SPRING é um SIG no estado-da-arte com funções de processamento de imagens, análise espacial, modelagem numérica de terreno e consulta a bancos de dados espaciais.

O SPRING trabalha em ambiente UNIX e Windows que administra tanto dados vetoriais como dados matriciais (*raster*) realizando e unificando a integração de dados num SIG; este promove um ambiente de trabalho através da combinação de menus e janelas com uma linguagem espacial facilmente programável pelo usuário (CÂMARA *et al.*, 1996).

Esta linguagem programável é chamada LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico) e realiza operações algébricas de mapas, seja em sentido matemático quanto cartográfico e espacial; possuindo uma interface direta com tabelas de uma base de dados relacional podendo, assim, gerar novos dados (CÂMARA *et al.*, 1996).

Para o INPE (2006) o LEGAL é uma ferramenta que possibilita a realização de análises espaciais através de álgebra de mapas. A análise espacial utiliza os atributos espaciais e não espaciais das entidades gráficas armazenadas na base de dados espaciais para fazer simulações sobre os fenômenos do mundo real.

A álgebra de mapas, implementada através do LEGAL, possui uma linguagem de

consulta e manipulação espacial que realiza operações sobre dados dos tipos: mapa temático, modelo numérico de terreno (MNT) e imagem (INPE, 2012).

A estrutura de um programa em LEGAL é constituída de uma lista de sentenças que descreve um procedimento, isto é, um conjunto de ações sobre dados espaciais, que faça sentido no contexto de alguma disciplina de Sistemas de Informação Geográfica. Tais sentenças em LEGAL são estruturadas em quatro grupos: declarações de variáveis; instanciações de variáveis; operações da álgebra de mapas e comandos de controle (INPE, 2006).

Câmara (1995) reporta que a programação em LEGAL tem, como objetivo, prover um ambiente geral para análise geográfica incluindo operações de manipulação, de consulta espacial e de apresentação. Há outros sistemas que possibilitam o tratamento dessas classes de operações de forma separada fazendo com que o usuário mude de ambiente muitas vezes durante uma seção de trabalho; em LEGAL, o usuário tem todas essas funcionalidades numa mesma linguagem e há a possibilidade de expressar um procedimento completo por meio de um programa em LEGAL.

Segundo Câmara (1995) a linguagem LEGAL é utilizada para se fazer o cruzamento entre planos de informação, além de ponderar um ambiente geral para análise geográfica, com operadores espaciais sobre geo-campos e geo-objetos existentes no banco de dados do SPRING, introduzidas pelo modelo conceitual. Nesse tipo de programação são utilizados esquemas conceituais definindo especializações das classes do modelo de dados.

A grande maioria dos SIGs oferece operações de álgebra de mapas através de linguagens de comandos; no caso de um programa escrito em LEGAL, o importante é que o usuário desenvolva um modelo de análise no qual sua sequência de operações deve ser corretamente armazenada para posterior execução (LUCENA *et al.*, 1999) além do que essa recuperação ou alteração de informação se dá de forma facilitada.

### **3.5. Radar SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*)**

O radar SRTM é um projeto articulado entre as Norte-americanas Agência de Inteligência Geoespacial Nacional (NGA) e a Administração Nacional da Aeronáutica e do Espaço (NASA) com o objetivo de projetar e produzir dados topográficos digitais para 80% da superfície da terra, para uma cobertura de toda a área da terra compreendida entre as coordenadas 60° norte e 56° sul, com dados pontuais localizados aproximadamente a cada 30 metros em uma grade de latitude/longitude, com acurácia vertical absoluta de



dados de elevação que será de 16 metros, correspondente a 90% de confiança (USGS, 2008).

De acordo com a USGS (2004), o Radar SRTM foi lançado a bordo do ônibus espacial *Endeavour* em fevereiro de 2000, no qual durante 11 dias se obtiveram dados de altimetria estereoscópica de 80% da superfície terrestre gerando imagens com resolução espacial (nos dados fontes) de um arco, segundo para os Estados Unidos e três arcos segundo para o restante do mundo, com uma amplitude de grade 30 metros para o (SRTM 1) e 90 metros para o (SRTM 3). Consiste em um sistema de radar especificamente modificado.

Para a NASA (2005) o radar SRTM é um projeto internacional encabeçado pelas NGA e NASA cujo objetivo principal é obter dados de elevação por radar em uma escala quase global para gerar o mais completo banco de dados digital topográfico de alta resolução da Terra. Segundo a USGS (2004), participam também, deste projeto internacional a Agência Espacial Italiana (ASI) e o Centro Aeroespacial Alemão (DLR).

Conforme Crepani e Medeiros (2005) a Agência Espacial Norte-Americana (NASA) obteve, por meio da SRTM, os dados altimétricos da superfície terrestre através da técnica de interferometria. Tais dados são espacializados em malha de pontos a cada 90 metros; ainda são disponíveis em meio eletrônico permitindo efetuar a modelagem do relevo da superfície terrestre, quando se faz uso de aplicativos de SIG.

Como base para o mapeamento geomorfológico, os dados SRTM compreendem uma importante ferramenta para a distinção das diferentes unidades de relevo e setores da paisagem (VITAL *et al.*, 2010). Neste caso, para a representação de uma superfície real são indispensáveis a elaboração e a criação de um modelo digital ou numérico do terreno, que pode estar representado por equações analíticas ou uma rede/grade de pontos de modo a transmitir, ao usuário, as características espaciais do terreno.

Segundo Vital *et. al.* (2010) a outra importante aplicação dos dados do SRTM é para a estimativa de perdas do solo, sobretudo no que concerne à identificação de um dos fatores mais importantes da Equação Universal de Perdas do Solo (EUPS) o fator topográfico (LS) que considera a relação entre o comprimento da encosta e sua declividade.

Por meio de geoprocessamento possibilitam, também, gerar curvas de nível de determinada área e com uso dessas curvas podem ser elaborados modelos digitais tridimensionais do terreno, informações de declividade, valores isométricos e informações de gradientes altimétricos, dentre outros (SILVA e SILVEIRA, 2006).

Para Francisco (2010) é possível, através de um modelo numérico do terreno, calcular volumes, áreas, gerar imagens (sombreadas e em nível de cinza), e gerar mapas de declividade, dentre outros produtos, além de representações, utilizando-se os dados altimétricos oriundos do SRTM.

Vital *et al.* (2010) reportam que para o detalhamento geomorfológico no município de Itaberaba, periferia da região semiárida baiana, foi possível elaborar perfis topográficos que auxiliaram a interpretação geomorfológica de *inselbergues* utilizando-se do Modelo Digital do Terreno/SRTM/NASA, subsidiando a interpretação geológica e geomorfológica da área, sendo comprovada como eficiente ferramenta empregada para interpretação da morfologia terrestre.

Para Castro *et al.* (2011) o uso de um Modelo Digital de Elevação (MDE) gerado a partir de dados do radar SRTM permitiu captar a variação do relevo na paisagem gerando mapas temáticos de temperatura do ar, mais coerentes com a realidade.

Segundo Gamba *et al.* (2002) foi possível aplicar aos dados SRTM um sistema de extração de dados com uma construção muito simples para avaliar em que medida eles podem ser úteis para caracterização da estrutura urbana nas cidades norte-americanas de Los Angeles e Salt Lake City.

Os dados do radar SRTM podem ser utilizados para análise florestal de vários biomas. Simard *et al.* (2008) reportam que os dados do radar SRTM com resolução de 90 m podem ser potencialmente aplicados a quaisquer florestas de mangue enquanto a floresta medida é suficientemente grande para ser mapeada com tais dados.

Existem alguns fatores intrínsecos à vegetação que devem ser considerados ao estudá-las. Segundo Le Toan *et al.* (1992) sobre os dados de radar SRTM as condições de variações naturais da cobertura vegetal, tais como arquitetura, status hídrico e biomassa, podem provocar efeito dossel; este efeito altera a topografia do terreno entendendo o dossel das árvores como o topo do terreno.

### **3.6. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN)**

Os recentes avanços na tecnologia de sensoriamento remoto e em suas teorias têm proporcionado maiores oportunidades para caracterizar a dinâmica sazonal e interanual de vegetação natural (JAKUBAUSKAS *et al.*, 2001).

A importância do sensoriamento remoto como ferramenta para avaliar os processos de desertificação fica mais evidente quando se verifica que um dos quatro indicadores recomendados pela ONU para avaliar o problema é o índice de vegetação derivado de

imagens de satélite, o chamado IVDN - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (UNITED NATIONS, 2001; MOREIRA, 2004; MENEZES e NETTO, 2001).

A utilização de índices de vegetação gerados de imagens de satélites se constitui em ferramentas importantes para o monitoramento das alterações naturais ou produzidas pelo homem, nos ecossistemas (FEITOSA *et al.*, 2004).

Matematicamente, as imagens índices de vegetação são modelos numéricos derivados de assinaturas espectrais da vegetação e guardam uma relação direta com a biomassa foliar verde (KUNTSCHIK, 2004).

A faixa de valores obtida pelo IVDN está entre  $-1$  e  $+1$ , sendo que o valor zero se refere aos *pixels* sem vegetação, valores positivos indicam superfícies vegetadas e altos valores indicam incrementos na vegetação verde (WIESS, 2004). Uma vegetação sadia em pleno crescimento ativo, isto é, com elevado vigor, tem baixa refletância na faixa do vermelho e alta refletância no infravermelho próximo; deste modo, alto valor de IVDN (COSTA FILHO *et al.*, 2007).

A refletância da porção vermelha do espectro diminui à medida em que a radiação solar é absorvida, em grande parte, pela clorofila, ao passo que a refletância da porção do infravermelho próximo é causada pela estrutura do mesófilo foliar (KREMER and RUNNING, 1993).

Valores de IVDN negativos indicam superfícies não vegetadas, como água, gelo e neve (WEISS, 2004). Estudos têm relacionado IVDN para variáveis biofísicas, tais como: área foliar, cobertura da copa das árvores, produtividade e densidade de clorofila, bem como a fenologia da vegetação (SPANNER *et al.*, 1990; YODER e WARING, 1994; PETERS e EVE, 1995; PRINCE *et al.*, 1995).

De acordo com Francisco (2013) embora existam diversificados índices de vegetação, atualmente o mais usado é o IVDN; em sua pesquisa, realizada na bacia hidrográfica do rio Taperoá-PB, utilizando imagem do satélite LANDSAT/TM-5, as bandas utilizadas para a confecção do IVDN foram, respectivamente, a banda 4 (infravermelho) e a banda 3 (vermelho).

O IVDN é um indicador de vegetação utilizado para destacar a vegetação ocorrente em determinada área, no qual este é obtido através da razão entre as bandas de alta correlação entre si servindo, desta forma, para realçar os alvos de interesse; neste caso, a biomassa vegetal (FREIRE e PACHECO, 2005).

Os índices de vegetação ressaltam o comportamento espectral da vegetação possibilitando distinguir diferentes tipos de uso e de outros alvos da superfície terrestre (MOREIRA, 2005). Câmara (1996) reporta que é prerrogativa do IVDN que, além de

aumentar o contraste espectral entre a vegetação e o solo, tem os efeitos de iluminação, declividade da superfície e geometria de "visada", parcialmente compensados pelo índice.

De acordo com Araújo *et al.* (2010) o IVDN também pode ser utilizado para auxiliar estudos que tratem da temática da desertificação, visto que, a partir das imagens geradas, é possível observar áreas que apresentam níveis baixos ou ausentes de IVDN, característica de áreas que estejam sob processo de desertificação.

Incertezas na obtenção de valores de IVDN estão associadas aos efeitos das variações atmosféricas, calibração de sensores e sensores em medições AVHRR de degradação ao longo do tempo (JAMES e KULLARI, 1994; TOWNSHEND, 1995). Weiss (2004) reporta que a heterogeneidade da superfície também é fator complicador para interpretação do IVDN.

Weiss (2004) verificou, estudando séries temporais de IVDN para capturar características essenciais da variabilidade sazonal e interanual da vegetação em comunidades vegetais distintas no semiárido do Novo México-EUA, que os valores de IVDN tendem a seguir uma ordem uniforme entre as comunidades, diretamente relacionado com a vegetação local.

Devido aos baixos valores que resultam de pouca cobertura vegetal, as incertezas na interpretação de IVDN podem ser maiores em ambientes áridos e semiáridos. Dosseis da cobertura vegetal em regiões áridas e semiáridas não atingem, muitas vezes, um ápice de cobertura completa tornando os valores de IVDN suscetíveis à influência do solo e da umidade do solo, nas clareiras entre as vegetações (KREMER e RUNNING, 1993; PETERS e EVE, 1995). No entanto, estudos examinando o comportamento sazonal e interanual de diferentes tipos de vegetação demonstraram utilidade do IVDN nas zonas áridas e semiáridas da terra (WIESS, 2004; MALO e NICHOLSON, 1990; PETERS e EVE, 1995; PETERS *et al.*, 1997; SCHMIDT e KARNIELI, 2000; ANYAMBA, 2005).

Para Anyamba (2005) estudos sistemáticos com IVDN verificando as mudanças na paisagem e utilizando conjuntos de dados de satélites de alta resolução espacial, tais como LANDSAT, SPOT e MODIS, proporcionam uma quantificação espacial e descrição detalhada dos padrões de recuperação vegetal em escala local e regional.

Para Kuntschik (2004) dosseis agrícolas, pastagens e áreas vegetadas que apresentam um dossel contínuo porém pouco volumoso e com marcada sazonalidade são alvo particularmente adequados para serem monitorados através de imagens que espacializam e quantificam este índice, fator este ponderável para as características vegetacionais da região semiárida paraibana.

### 3.7. Índice de Degradação das Terras no Semiárido (IDTS)

Com intervenções inadequadas das atividades humanas sobre o meio ambiente, como a supressão da cobertura vegetal para a introdução de práticas agrícolas e pecuárias, a exploração de bens minerais e a implantação de núcleos urbanos, os processos erosivos se intensificam e passam a comprometer os principais recursos naturais do planeta, em particular o solo e a água superficial (CARVALHO *et al.*, 2010).

A degradação das terras é um dos fatores representantes da degradação do meio ambiente e pode ser observada no mundo inteiro. A degradação das terras tende a ser um processo irreversível; assim, a fim de estabelecer um sistema de uso sustentável da terra, é importante fazer estudos para descobrir áreas propensas à degradação do solo, para monitorar sua dinâmica (UCHIDA, 1995).

De acordo com a FAO (2013) os índices/termos para o estudo da degradação das terras não podem ser medidos facilmente. Produzir uma avaliação global de degradação é difícil, em que bens e serviços do ecossistema não são afetados na mesma direção, dando origem a índices errôneos entre "vencedores" e "perdedores". Além do mais, nem os usuários das terras afetadas ou populações concordam necessariamente sobre o que constitui um benefício ou uma perda ou sua importância relativa, uma vez que seus pontos de vista e preferências também podem mudar ao longo do tempo.

Segundo a United Nations (1994) mais de 250 milhões de pessoas são diretamente afetadas pela degradação do solo. Além disso, cerca de um bilhão de pessoas em mais de cem países está em risco. Nesta classe estão incluídas muitas das pessoas mais pobres do mundo, mais marginalizados e que tendem à forte falta de influência política.

Estudando a espacialização das classes de degradação das terras da bacia hidrográfica do rio Taperoá-PB, Francisco (2013) reporta que embora se reconheçam as limitações relativas aos métodos e procedimentos da determinação e obtenção dos dados - a exemplo da baixa discriminação dos diferentes tipos de uso e cobertura vegetal, a representatividade das amostras e precisão das determinações da erodibilidade dos solos e, em menor grau, a precisão da determinação da declividade - admite-se, mesmo assim, que os resultados obtidos foram satisfatórios.

A declividade é uma componente relacionada à ação da gravidade. Os estudos de pesquisa em parcelas de erosão mostram que as perdas de solo aumentam exponencialmente, quando também aumenta a declividade do terreno; sendo assim, é de se esperar que, mantidas as demais condições ambientais constantes, aumentando a declividade, aumenta o risco potencial de ocorrer erosão (Francisco, 2013).

Quanto maior for a declividade do solo maior também será a velocidade com que a água irá escorrer; conseqüentemente, maior será o volume carregado devido à força erosiva. A inclinação do declive do terreno e a falta de cobertura vegetal são fatores que influenciam fortemente nas perdas de solo, por erosão hídrica pois, à medida em que o declive aumenta e o índice de cobertura vegetal diminui, aumentam o volume e a velocidade da enxurrada e diminui a infiltração de água no solo. Com isto, aumenta a capacidade de transporte das partículas de solo pela enxurrada, assim como sua própria capacidade de desagregar solo (COGO, 2003).

Para Inácio *et al.* (2007) a cobertura do solo e a declividade do terreno são os principais fatores que exercem influência sobre a erosão hídrica constando como uma das principais formas de degradação do solo.

Chaves *et al.* (2013), reportam que, apesar da utilização de modelos preditivos para estimativa da degradação das terras utilizando-se de parâmetros mais diretamente relacionados ao fenômeno da erosão hídrica, além da declividade do terreno, erodibilidade e cobertura do solo, seus resultados ainda precisam ser melhor avaliados. Os autores acrescentam, ainda, que a erodibilidade do solo é um parâmetro que necessita ser mais estudado para as condições dos solos da região do Semiárido, para que se possa dar uma contribuição efetiva na avaliação da vulnerabilidade à degradação das terras.

Como a velocidade do desenvolvimento do solo para o ambiente semiárido sempre é menor que a da erosão hídrica e eólica, de acordo com Dregne (1998) e Egler (2001), a degradação das terras geralmente se torna irreversível. Conforme Egler (2001) este processo de degradação começa com a diminuição da cobertura vegetal do solo o que, geralmente, é refletido pela estrutura da vegetação; continua através do aumento do escoamento da água da chuva, da erosão hídrica e perda de solo, o que diminui ainda mais a cobertura vegetal e termina com a perda dos remanescentes de solo e da fertilidade.

### **3.8. Índice de Degradação da Vegetação (IDV) e Índice de Biomassa da Vegetação Lenhosa (IBVL)**

A retirada da vegetação é a ação mais comum, passível de desencadear o processo de degradação das terras nas zonas de clima semiárido; espera-se que algumas das suas conseqüências mais sérias estejam relacionadas aos solos das regiões afetadas em decorrência do aumento da erosão e seus efeitos na fertilidade (SOUZA *et al.*, 2009).

Para distinguir entre o declínio da produtividade causado pela degradação das terras outros fatores relacionados à degradação ambiental devem ser reconhecidos (BAY *et al.*,

2008), desde então, os índices de degradação da vegetação e o de biomassa da vegetação lenhosa, se apresentam como possibilidades para o estudo.

Segundo Zonneveld (1988) e Milton *et al.* (1990a) o uso da vegetação como indicador espectral de mudanças ambientais está relacionado com a estrutura vertical e horizontal e com a forma de vida e hábito de crescimento dos principais componentes da vegetação.

Em época seca no semiárido, a baixa atividade fotossintética e o aspecto seco da fisionomia da caatinga fazem com que a resposta espectral desta formação tenha um importante componente do sombreamento da porção lenhosa (truncos e galhos). A influência na resposta espectral da componente folha é menor no árido e no semiárido do que em outros ambientes (MALDONADO, 2005).

A estimativa da degradação da vegetação da Caatinga pode ser considerada um parâmetro quantitativo importante para medir o grau de intervenção humana e o estado de conservação de uma bacia hidrográfica. Embora assuma as limitações impostas, quais sejam o grau de imprecisão das estimativas das classes de vegetação e a impossibilidade de discriminação dos diferentes tipos de uso da terra, pode-se considerar que a metodologia utilizada na execução do trabalho na bacia hidrográfica do rio Taperoá-PB apresentou resultados satisfatórios (CHAVES *et al.*, 2013).

De acordo com Chaves *et al.* (2008) o Índice de Biomassa da Vegetação Lenhosa (IBVL), utilizado como referência descritiva dos padrões de vegetação correlacionado com índices de reflectâncias, pode auxiliar na interpretação automática de imagens de satélites contribuindo para a agilização de trabalhos de mapeamento de inventários florísticos e florestais da Caatinga (CHAVES *et al.*, 2008).

Paes-Silva *et al.* (2003) verificaram, estudando a cobertura vegetal da bacia hidrográfica do Açude Namorado, no cariri oriental paraibano que, devido às classes de baixo índice de biomassa, estas indicam que boa parte da superfície do solo está exposta ao impacto das chuvas colocando em risco ao processo de erosão.

Chaves *et al.* (2008) afirmam que através do IBVL obtido da descrição da vegetação representativa de uma região fitofisiográfica de estudo é possível se fazer a estimativa do volume da biomassa da Caatinga e, por comparação, se estimar sua degradação.

Francisco *et al.* (2013) trabalhando com estimativa da degradação da biomassa da vegetação de caatinga através de índices de degradação da vegetação lenhosa (IDVL) na bacia hidrográfica do rio Taperoá-PB, concluíram que 61,98% da área útil da bacia está em processo de perda de biomassa e em processo de degradação; já para o cálculo de volume

de biomassa da vegetação lenhosa pelo IVBL, pôde-se constatar que a bacia hidrográfica do rio Taperoá está degradada apresentando 38,02% da área com 24.925.080 m<sup>3</sup> de biomassa.

Para Souza *et al.* (2009) o fator mais importante no desencadeamento da degradação das terras na região do Cariri paraibano está relacionado às formas seculares com que essas terras foram e são ocupadas, ou seja, remonta ao período colonial de interiorização da pecuária extensiva, da extração mineral e vegetal indiscriminada.

Trabalhando com uma classificação morfoestrutural para descrição e avaliação da biomassa da vegetação da Caatinga, Chaves *et al.* (2008) observaram que a conversibilidade dos padrões de vegetação descritos no trabalho pela classificação descrita, em índices de biomassa da vegetação lenhosa (IBVL) permite também utilizar esses dados em equações e modelos que descrevem os processos hidrológicos, erosivos, sedimentológicos, agroclimáticos e de impactos ambientais.



## 4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

### 4.1. Localização e descrição da área de estudo

A área de estudo compreende o município de Sumé, estado da Paraíba, com uma extensão de 838,6 km<sup>2</sup> (Figura 1) localizado na mesorregião da Borborema e na microrregião do Cariri Ocidental (AESA, 2012) cujo principal rio é o Sucuru. A sede do município dista, da capital, João Pessoa, 264 km. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2012) o município conta com uma população de 16.060 habitantes para o último censo demográfico que ocorreu em 2010. Desta forma, apresenta uma densidade demográfica de 19,16 habitantes/km<sup>2</sup>.

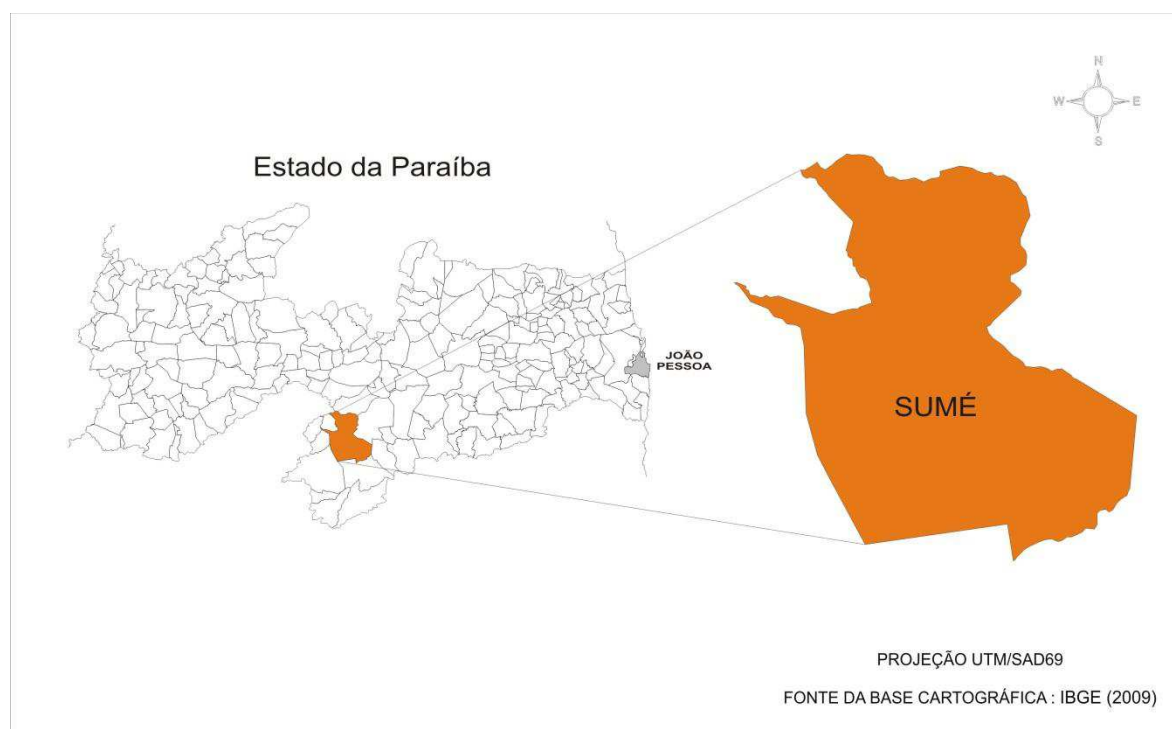


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo. Fonte: Adaptado de IBGE (2009) e AESA (2011).

De acordo com a classificação de Köppen, o clima da área de estudo é considerado do tipo Bsh - Semiárido quente, com precipitação predominantemente em torno de 600 mm ano<sup>-1</sup>. Para Francisco (2010) no município de Sumé as precipitações variam entre 600 e 900mm, com predominância de 700mm.

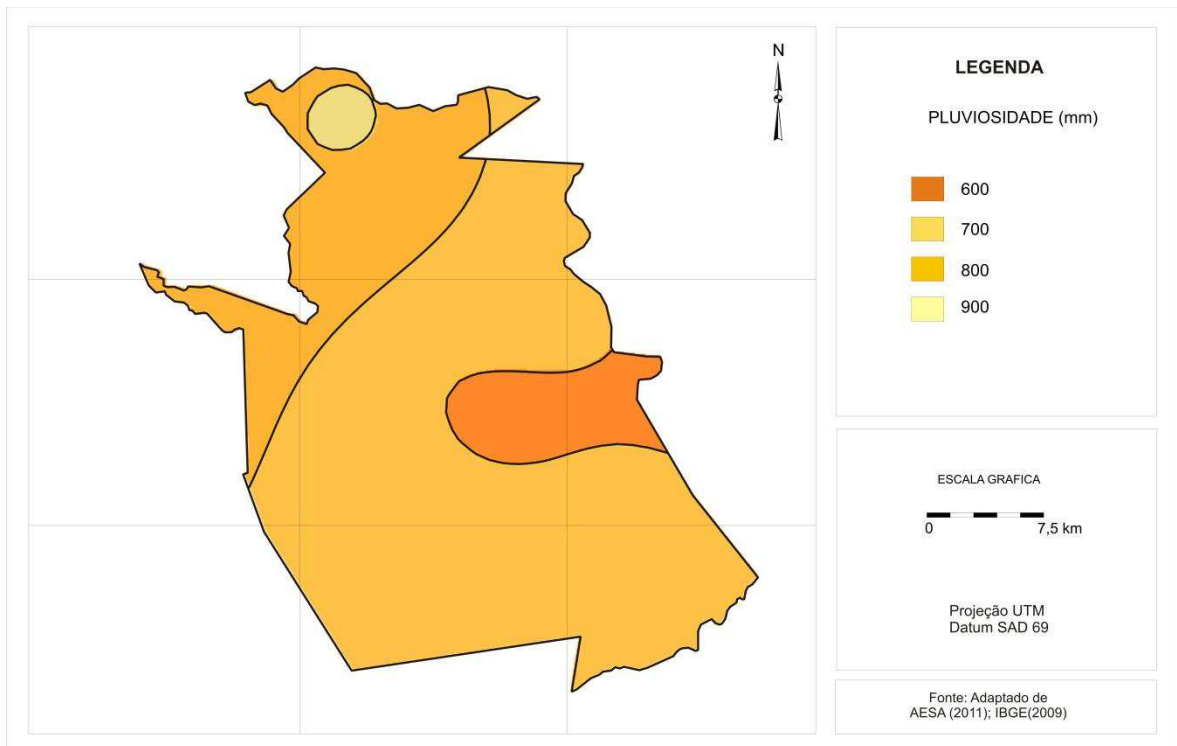


Figura 2. Mapa de pluviosidade do município de Sumé-PB. Fonte: AESA (2011), adaptado de IBGE (2009).

O uso da terra é determinado pelas potencialidades e limitações ambientais. Na Paraíba, devido à sua proximidade com a linha do Equador, 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 ocorrências dos solos possuem estreita relação com a ocupação e uso das terras, de acordo com Francisco (2010) 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).

A região geográfica da Borborema compreende as sub-regiões Cariris de Princesa, Cariris do Paraíba e Curimataú. 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 (FRANCISCO, 2010).

O Cariri paraibano 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 (Figura 3), na qual a área de estudo está inserida e a do rio Taperoá (FRANCISCO, 2010).

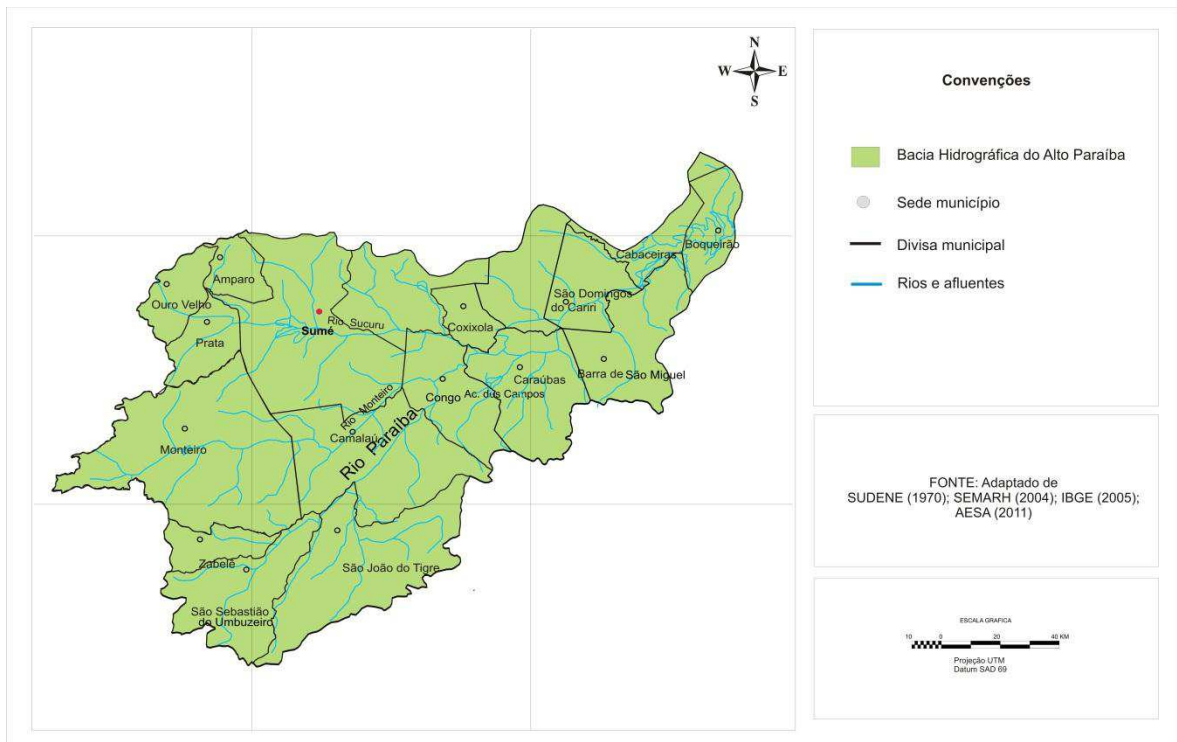


Figura 3. Mapa de localização da bacia do Alto Paraíba. Fonte: Adaptado de IBGE (2005); AESA (2011).

A localização da bacia se dá entre o cisalhamento de Patos e Pernambuco, com porções limítrofes da Província da Borborema, especificamente no sistema de Dobramentos Pajeú-Paraíba (DANTAS e CAULA, 1982).

Para Paraíba (2006) 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-Granitoide (p $\epsilon$ gn) e Gnáissico-Migmatítico (p $\epsilon$ gr).

O posicionamento dessas unidades no Pré-Cambriano Indivisivo se prende ao fato de não se ter, ainda, uma definição real do comportamento estratigráfico, tectônico e estrutural dessas unidades, bem como devido à inexistência de uma ideia concreta sobre suas relações de contato com a sequência supracrustal, que constitui os grupos Seridó e Cachoeirinha, considerados do Pré-Cambriano Superior (PARAÍBA, 2006).

Dantas e Caula (1982) complementam que há a presença de sedimentos recentes do Período Quaternário no qual a ocorrência dos aluviões é praticamente restritas às faixas que margeiam os rios e riachos representados, basicamente, por diferentes granulometrias, entre areias e cascalhos, do período Quaternário.

De acordo com os dados do Atlas do Plano Estadual de Recursos Hídricos da Paraíba (PARAÍBA, 2006), a geologia predominante está representada como observado na Figura 4 e descritas posteriormente.

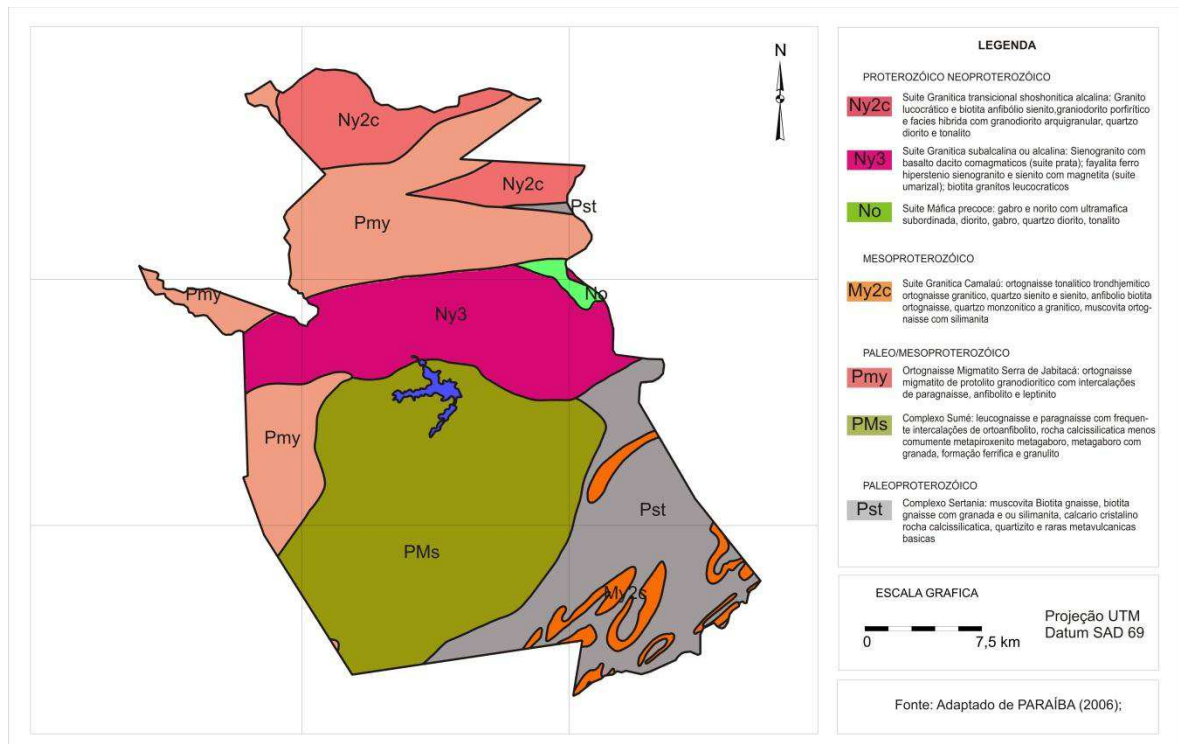


Figura 4. Mapa geológico da área de estudo. Fonte: Adaptado de PARAÍBA (2006).

- **PROTEROZOICO E NEOPROTEROZOICO:**
  - Ny2c: Suíte granítica transicional shoshonítica alcalina (Granito lucocrático e biotita anfíblio sienito, graniodorito porfirítico e facies híbridas com granodiorito arquigranular, quartzo diorito e tonalito);
  - Ny3: Suíte granítica subalcalina ou alcalina (Sienogranito com basalto dácito comagmáticos (suíte prata); fayalita ferro hiperstênio sienogranito e sienito com magnetita (suíte umarizal); biotita granitos leucocráticos);
  - No: Suíte Máfica precoce (Gabro e norito com ultramáfica subordinada, diorito, gabro, quartzo diorito, tonalito).
- **MESOPROTEROZOICO:**
  - My2c: Suíte Granítica Camalaú (Ortogneisse tonalítico trondjemítico ortogneisse granítico, quartzo sienítico, anfíblio biotita ortogneisse, quartzo monzonítico a granítico, muscovita ortogneisse com simonita).
- **PALEOMESOPROTEROZOICO:**
  - Pmy: Ortogneisse Migmatito serra de Jabitacá (Ortogneisse migmatito de protólito granodiorito com intercalações de paragneisse, anfíbolito leptinito);
  - Pms: Complexo Sumé (Leucogneisse e paragneisse com frequentes intercalações de ortoanfíblio, rocha calcissilicática menos comumente

metapiroxenito metagaboro, metagaboro com granada, formação ferrífica e granulítico).

- PALEOPROTEROZOICO:

- Pst: Complexo Sertânia (Muscovita biotita gnaiss, biotita gnaiss com granada e/ou silimanita, calcário cristalino, rocha calcissilicática, quartzito e raras metavulcânicas básicas).

A área de estudo se encontra inserida no Planalto da Borborema que, segundo Sousa *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 (Figura 4) representa uma das unidades mais amplas e regulares no conjunto da Borborema.

Com relação à altimetria da região em estudo, pode-se observar na Figura 5, que esta se encontra variando entre 300 e 700m, com maior ocorrência na faixa entre 400 e 500m.

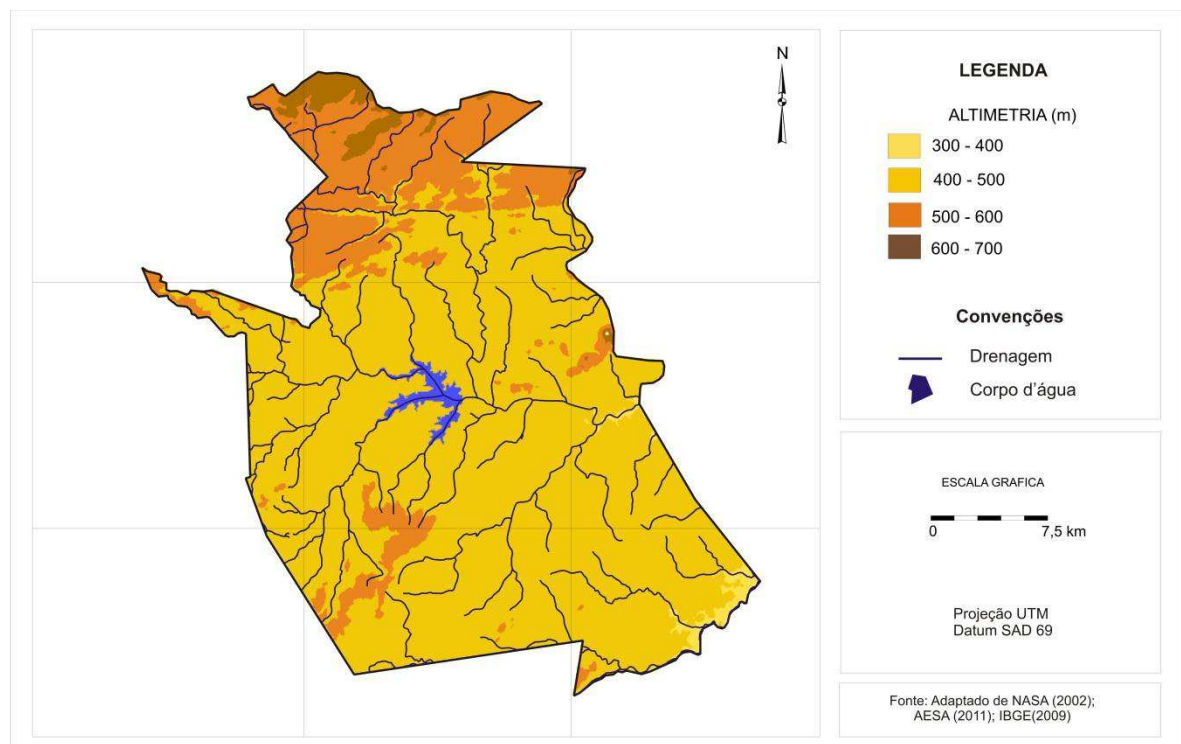


Figura 5. Mapa de altimetria da área de estudo. Fonte: adaptado de PARAÍBA (2006).

No tocante às classes de declividades do terreno, como se observa na Figura 6 para a área de estudo e de acordo com Francisco (2010) o relevo se apresenta distribuído com as seguintes classes e suas respectivas dimensões territoriais, perfazendo o total de 838,6km<sup>2</sup> da área do município:

- Nula (0-3%) em 439,55km<sup>2</sup>;
- Ligeira (3-6%) em 254,59km<sup>2</sup>;
- Moderada (6-12%) em 104,36km<sup>2</sup>;
- Forte (12-20%) em 26,53km<sup>2</sup>;
- Muito Forte (20-40%) em 12,20km<sup>2</sup>; e
- Extremamente Forte (>40%) em 1,37km<sup>2</sup>.

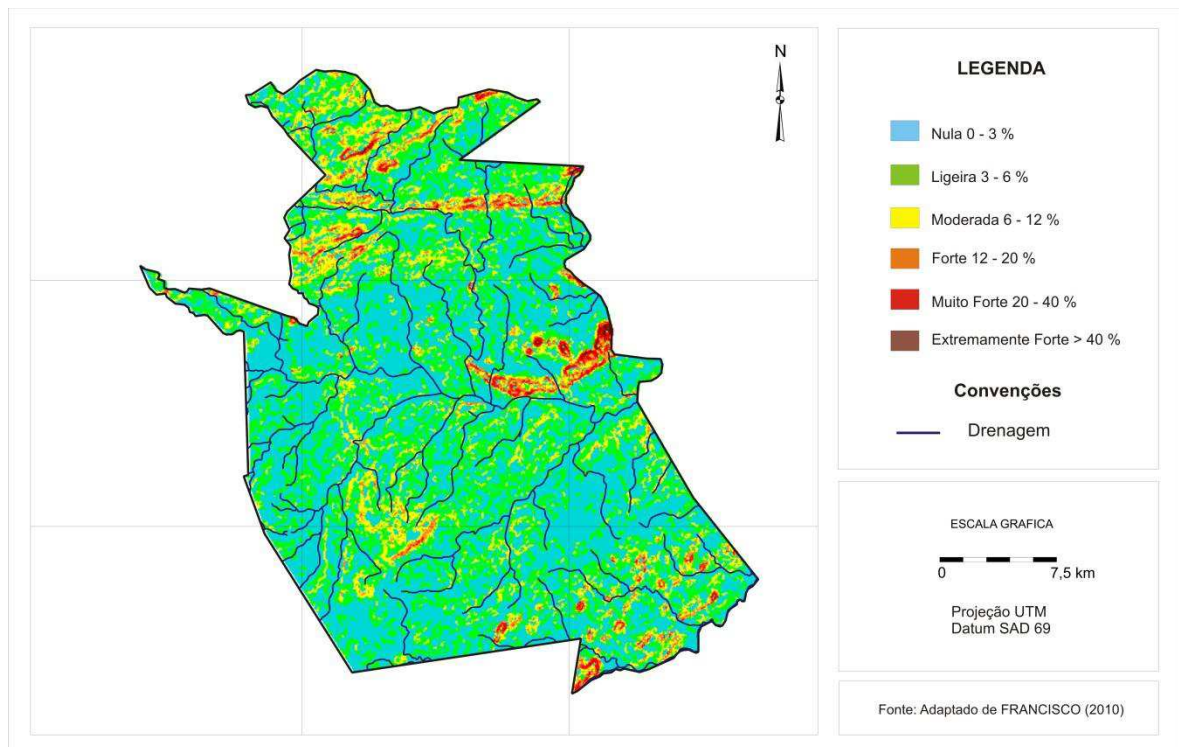


Figura 6. Mapa de classes de declividade da área de estudo. Fonte: adaptado de Francisco (2010).

#### 4.2. Solos

Na área do município de Sumé, de acordo com PARAÍBA (2006) ocorrem, basicamente, os tipos de solos: Luvisolos, Neossolos Litólicos, Neossolos Regolíticos, Neossolos Flúvicos e Afloramentos Rochosos (Figura 7).

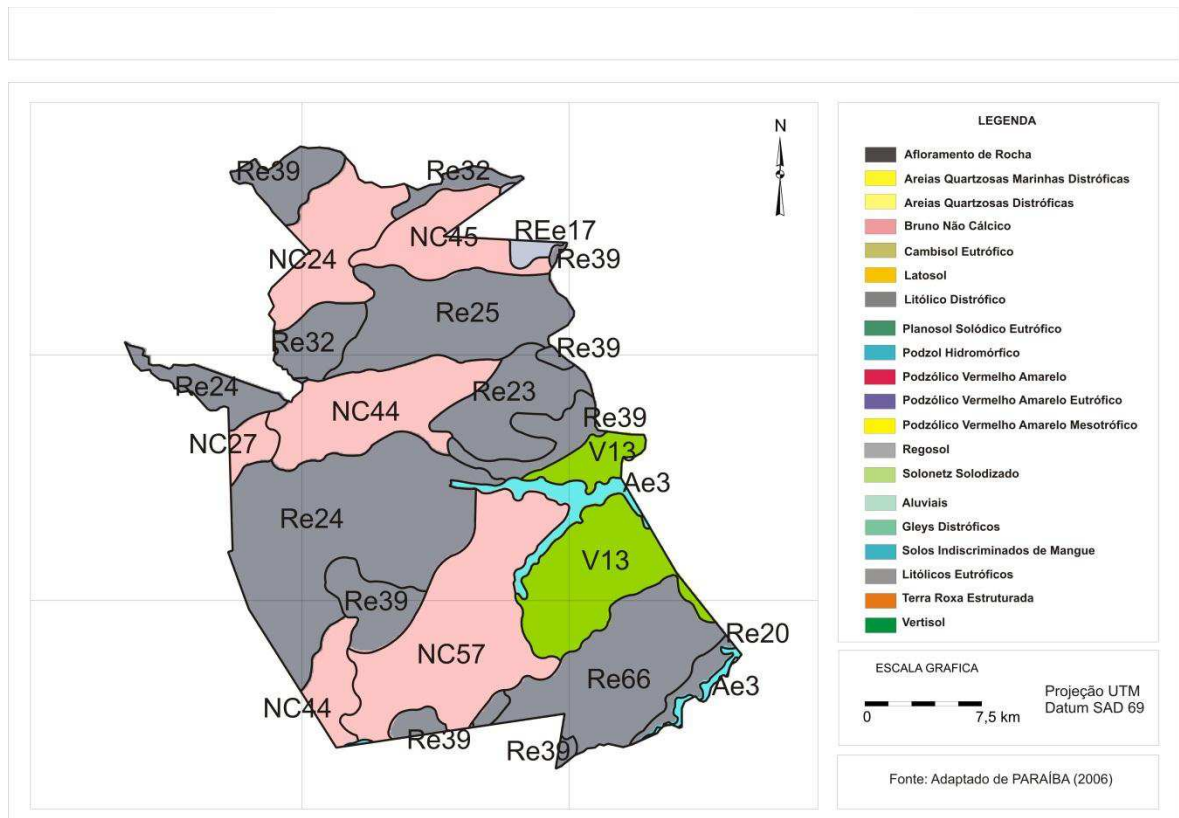


Figura 7. Mapa de solos da área de estudo. Fonte. Adaptado de PARAÍBA (2006).

Os fatores descritivos dos solos que ocorrem no município de Sumé-PB estão elencados a seguir:

- NC – Nova nomenclatura: Luvissoilo Crômico Órtico típico (TC<sub>o</sub>)
  - NC<sub>24</sub>: 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, caatinga hiperxerófila, relevo suave ondulado, substrato gnaisse e granito.
  - NC<sub>27</sub>: Associação de: BRUNO NÃO CÁLCICO vértico, com A fraco, textura média, fase pedregosa, caatinga hiperxerófila, relevo suave ondulado.
  - NC<sub>44</sub>: Associação de: BRUNO NÃO CÁLCICO, 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, substrato gnaisse e granito + Afloramento de Rocha.

- NC<sub>45</sub>: 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 + afloramento de rocha.

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 esses solos, durante o período seco, apresentam grandes fendilhamentos entre os agregados estruturais e uma estrutura prismática, moderada a fortemente desenvolvida no horizonte Bt.

Esses 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.

- NC<sub>57</sub>: Associação de: BRUNO NÃO CÁLCICO vértico, com A fraco, textura média, fase pedregosa, caatinga hiperxerófila, relevo suave ondulado.
- V – Nova nomenclatura: Vertissolo Cromado Órtico típico (VCo)
  - V13: Associação de: VERTISSOLO, com A moderado, fase pedregosa, caatinga hiperxerófila, relevo suave ondulado + 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, caatinga hiperxerófila, relevo suave ondulado e ondulado, substrato gnaisse e granito.
- Ae – Nova nomenclatura: Neossolo Flúvico Ta Eutrófico solódico (RUve)
  - Ae3: Associação de: SOLOS ALUVIAIS EUTRÓFICOS Ta, textura indiscriminada, fase caatinga hiperxerófila, relevo plano e SOLONETZ SOLODIZADO, com A fraco, textura indiscriminada, fase caatinga hiperxerófila, relevo plano
- Re – Nova nomenclatura: Nessolo Litólico Eutrófico típico (RLe)



- Re20: Associação de: SOLOS LITÓLICOS EUTRÓFICOS, com A fraco, textura arenosa e/ou média, fase pedregosa, caatinga hiperxerófila, relevo suave ondulado, substrato gnaiss e granito + BRUNO NÃO CALCICO vértico, com a fraco, textura argilosa, fase pedregosa, caatinga hiperxerófila, relevo suave ondulado.
- Re23: Associação de: SOLOS LITÓLICOS EUTRÓFICOS, com A fraco, textura arenosa, fase pedregosa e rochosa, caatinga hiperxerófila, relevo suave ondulado, substrato gnaiss 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. Verificam-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, em que os percentuais de argila se apresentam menores 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 esses 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, coloração 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%.

Esses 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) e se situam 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 à extrema carência de umidade, esses solos se prestam mais para preservação da fauna e flora

silvestre. Figuram como primeiro componente da associação Re<sub>21</sub> e ocorrem nas zonas fisiográficas do Sertão de Piranhas e da Borborema Central.

- Re24: 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 + BRUNO NÃO CALCÍCO, com A fraco, textura argilosa, fase pedregosa, caatinga hiperxerófila, relevo suave ondulado.
- Re25: 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 + BRUNO NÃO CÁLCICO vértico, com A fraco, textura média, fase pedregosa, caatinga hiperxerófila, relevo suave ondulado.
- Re32: 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 gnaiss e granito + AFLORAMENTOS DE ROCHA.
- 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 gnaiss e granito + AFLORAMENTOS DE ROCHA.
- Re66: 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 + BRUNO NÃO CÁLCICO vértico, com A fraco, textura média, fase pedregosa, caatinga hiperxerófila, relevo suave ondulado + AFLORAMENTOS DE ROCHA
- REe – Nova nomenclatura: Neossolo Regolítico Psamítico típico (RRq)
  - REe17: 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 hiperxerófila, relevo suave ondulado e ondulado, substrato gnaiss e granito + AFLORAMENTOS DE ROCHA.

Compreende solos muito arenosos, pouco desenvolvidos, medianamente profundos ou profundos, com bastante material primário de fácil intemperização, em geral com fragipan – Cx -. O fragipan desses 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. Esses solos requerem intenso controle da erosão e 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 esses 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 A<sub>1</sub>, C, C<sub>x</sub> e R.

Referidos solos são bastante cultivados, sobretudo nas áreas que apresentam menor rochosa e clima menos seco. As principais culturas nelas desenvolvidas são: sisal, milho, feijão, mandioca e algodão arbóreo. Apresenta, como principal limitação ao uso agrícola, a falta d'água (FRANCISCO, 2010).

A principal restrição ao uso agrícola desses solos diz respeito à 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, sobretudo quando revolvidos.

Nos Luvissolos Crômicos órticos típicos (Bruno Não Cálcico) conforme as recomendações de Cavalcante *et al.* (2005), a mecanização agrícola é severamente limitada pela pequena espessura desses solos e grande susceptibilidade à erosão. No caso de utilização agrícola faz-se necessária principalmente a escolha de áreas de menor declividade tomando-se algumas medidas, como o controle da erosão e se considerando também, que a limitação pela falta d'água é forte. Sua utilização deve ser dirigida no sentido da 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 forragem para

o período seco, além de intensificados o cultivo de palma forrageira e o aproveitamento intensivo das vazantes.

### 4.3. Vegetação e Economia local

A vegetação natural predominante na área de estudo é a Caatinga Hiperxerófila, com um conjunto de porte arbóreo baixo ou arbóreo-arbustivo. A vegetação da caatinga possui alta capacidade de adaptação à escassez hídrica; seus recursos bioquímicos e físicos a tornam altamente adaptada aos longos períodos de estiagem da região.

De acordo com Silva Neto (2004) é possível, na área de estudo, encontrar algumas espécies vegetais, tais como: angico (*Anadenanthera macrocarpa*), mufumbo (*Combretum leprosum*, Martius), juazeiro (*Ziziphus juazeiro*, Martius), catingueira (*Caesalpinia pyramidalis*, Tul.), pereiro (*Aspidosperma pyrofolium*, Mart), marmeleiro (*Croton sp*), quixabeira (*Bumelia sertorum*, Mart), aroeira (*Schinus aroeira*, Vell.), braúna (*Schinopsis brasiliensis*, Engl.), xique-xique (*Pilocereus gounellei*, Weber), mandacaru (*Cereus jamacaru*, DC.), verificando-se a presença de cactáceas e bromeliáceas em números relativamente menores.

Concernente à vegetação local e de acordo com Barbosa *et al.* (2007a) e Paes e Silva *et al.* (2003), as espécies mais encontradas na Caatinga regional são: Malva (*Sida galheirensis* Ulbr.), Macambira (*Bromelia laciniosa* Mart. ex Schult. f.), Imburana (*Commiphora leptophloeos* (Mart.) J.B.Gillett), Mandacaru (*Cereus jamacaru* DC.), Xique-xique (*Pilosocereus gounellei* (F.A.C.Weber) Byles & G.D.Rowley), Facheiro (*Pilosocereus pachycladus* F.Ritter), Palmatória (*Tacinga palmadora* (Britton & Rose) N.P.Taylor & Stuppy), Mofumbo (*Combretum leprosum* Mart.), Marmeleiro (*Croton sonderianus* Müll.Arg.), Pinhão (*Jatropha mollissima* (Pohl) Baill.), Pinhão (*Jatropha ribifolia* (Pohl) Baill.), Jureminha (*Desmanthus virgatus* (L.) Willd.), Jurema-preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir.), Catingueira (*Caesalpinia pyramidalis* Tul), Pereiro (*Aspidosperma pyriforme* Engl.), Marmeleiro (*Croton sonderianus* Muell. Arg.), Pinhão-bravo (*Jatropha mollissima* (Pohl.) Mull Arg.) e outras espécies nativas da região, como o Angico (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan) a Aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão) e o Umbu (*Spondias tuberosa*, L.).

A economia da área de estudo se baseia, primordialmente, nas atividades exploratórias agropecuárias (IBGE, 2010). De acordo com Silva Neto (2004) o plantio das culturas do milho, feijão-de-corda, tomate e algodão ocupa 87% da área total cultivada na região, no qual as lavouras de subsistência são basicamente comprometidas com a escassez

e irregularidades hídricas. Segundo o autor, essas culturas são utilizadas, em geral, em consórcio com capim Buffel e/ou palma forrageira.

Em termos quantitativos o principal rebanho na região é o caprino seguido dos bovino, ovino e suíno. É perceptível um grande avanço no rebanho avícola regional face à instalação de grandes galpões oriundos de grupos criadores de frangos. Apesar de ter uma marca forte regional na criação de caprinos, a desarticulação nos setores produtivos promove uma limitação nos resultados econômicos e financeiros dos criadores (SILVA NETO, 2004). É possível observar que a região possui uma cultura de criação dos rebanhos pecuários tipicamente extensionistas, havendo uma degradação mais acentuada num ambiente já fragilizado pela ação antrópica, possibilitando uma degradação maior dos recursos solo-vegetação.

A piscicultura é uma atividade explorada na região, praticada por 85% dos habitantes. A piscicultura extensiva responde por cerca de 60% do total sendo seguida pela pesca tradicional em aproximadamente 40% (COSTA, 2012). Porém, de acordo com Silva *et al.* (2009b), estudando a bacia hidrográfica formadora do açude de Sumé-PB, as técnicas de piscicultura semi-intensiva e intensiva, não foram observadas em nenhum dos mananciais. Costa (2012) reporta que a piscicultura não é tratada como atividade financeira mas tão somente como meio de subsistência ou atividade recreativa indicando subutilização do potencial econômico da região em estudo.

## 5. MATERIAIS E MÉTODOS

### 5.1. Métodos e Material básico

O fluxograma apresentado na Figura 8 mostra os passos metodológicos utilizados para a realização deste trabalho, que serão descritos sequencialmente, nos itens a seguir.

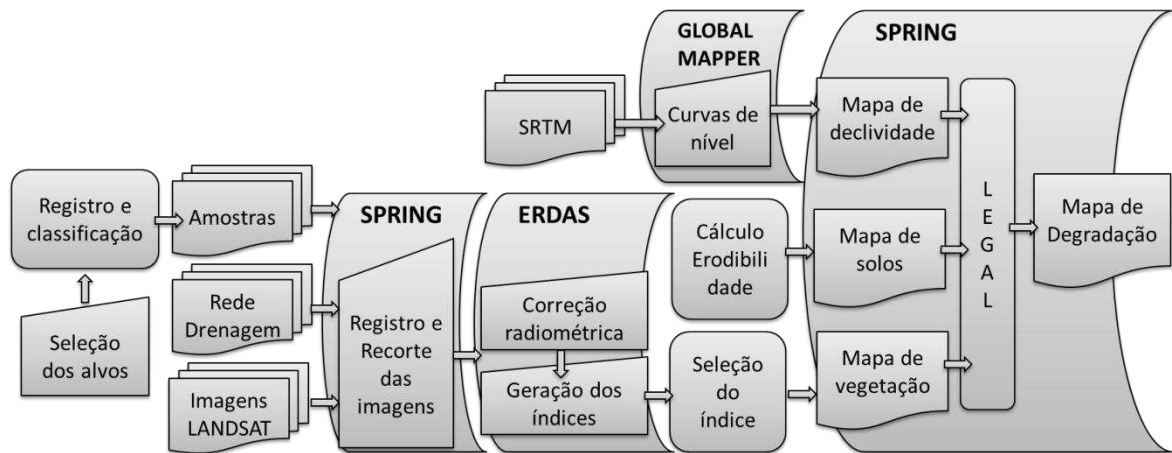


Figura 8. Fluxograma simplificado das etapas de trabalho

Foram obtidas imagens do satélite LANDSAT-TM/5, disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), da órbita 215, ponto 65, das datas de 09/05/1987 e 28/10/2009, das bandas espectrais 5, 4 e 3 (R, G e B). Maldonado (2005) reporta que a estação da seca deve ser a mais apropriada para o estudo da cobertura vegetal do semiárido, no qual está relacionado com a perda de folhas das plantas e com a penetração e interação da luz na estrutura do dossel; deste modo, os sensores ópticos obtêm maior informação sobre a estrutura vertical da vegetação.

Para a informação temática foram utilizados arquivos em formato *shapes* das Redes de Drenagem e Bacias Hidrográficas adquiridos no GeoPortal AESA (2012). Como material de apoio e referência neste estudo foram utilizados mapa de solos do Plano Estadual de Recursos Hídricos do estado da Paraíba (PARAÍBA, 2006) e arquivo digital da Malha Municipal Digital (IBGE, 2009).

Um aparelho GPS Garmim Série 76 foi utilizado para georreferenciar os alvos, e uma câmera digital para o registro dos pontos, além de um computador e impressora. O *Google Earth online* foi utilizado para pré-selecionar os alvos terrestres representativos dos diferentes tipos de vegetação e logo após foram realizadas visitas ao campo para georreferenciar, fotografar e descrever os alvos.

O programa *Trackmaker* versão 13.4, foi utilizado para transferir os dados obtidos com o GPS.

Para o processamento dos dados utilizou-se o *SPRING* versão 5.2.4, além dos módulos *IMPIMA* e *SCARTA* com os quais foram feitas a leitura das imagens para a classificação e a elaboração dos mapas editados em programa gráfico.

Para a elaboração do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN) foi utilizado o programa *ERDAS*.

## **5.2. Descrição da Metodologia**

### **5.2.1. Trabalhos de campo, laboratório e classificação da vegetação**

Para a realização deste trabalho foram realizadas viagens a campo para a seleção e a aquisição de dados para os quais foi utilizado um GPS, visando ao registro de coordenadas (georreferenciamento) e procedidos registros dos locais georreferenciados através de câmera digital para posterior auxílio na interpretação das imagens.

O trabalho de campo foi balizado em um reconhecimento geral da área, através de um roteiro pré-estabelecido, onde foram descritos os fatores ambientais (relevo, vegetação natural, erosão, declividade e uso atual das terras).

Para a pré-escolha dos pontos a serem visitados no campo utilizou-se o programa *Google Earth 6.2 online*, através do qual foram selecionadas as áreas de interesse (pontos), representativas das unidades geoambientais (Figura 9). As coordenadas dos pontos foram transferidas ao aparelho GPS servindo de orientação para localização dos pontos no terreno.

Visando à classificação da vegetação utilizou-se de forma auxiliar, o programa *Google Earth 6.2 online*, pré-selecionando-se 22 alvos terrestres dos diferentes tipos de uso e cobertura da terra, representativos da região de estudo e com características de vegetação e solos aproximadamente homogêneos.

Com base nas diferentes tonalidades de cores e formas foram pré-selecionadas as áreas de visita levando-se em conta a facilidade de acesso pelas estradas visíveis nas imagens.



Figura 9. Espacialização dos pontos amostrais. Fonte: Adaptado de *Google Earth online*.

O programa GPS Trackmaker Professional Evolution versão 13.4, foi utilizado para transferir os dados obtidos com o GPS, dos pontos georreferenciados, em formato DXF, para o microcomputador e posteriormente para o SPRING, versão 5.2.4 disponibilizado pelo INPE.

O trabalho de campo permitiu conhecer a realidade dos fatores das unidades geoambientais estudadas neste trabalho de forma mais precisa, havendo uma correlação entre os pontos levantados e os pesquisados.

A escolha da imagem do satélite LANDSAT-TM/5 para a execução desta pesquisa, se deu pelo fato deste produto ser um dos principais instrumentos de trabalho na área de geoprocessamento e sensoriamento remoto, no Brasil e no mundo; ainda por possuir resolução espectral satisfatória e por estar disponível com data de passagem atualizada no acervo de imagens de satélite; não obstante, a escolha das datas de passagem foi em decorrência da ausência de nuvens sob as imagens, parâmetro este que poderia dificultar as análises aqui propostas.



Através das geotecnologias foi possível levantar a real situação da cobertura vegetal e da degradação das terras para o período compreendido entre 1987 e 2009. Observando durante este intervalo, se houve comprometimento dos recursos vegetacionais e de solo foi possível caracterizar se, realmente, houve diferenças expressivas para esses elementos ambientais no município em estudo para o período proposto podendo-se então distinguir e descrever sua real situação.

Para a descrição da vegetação em campo foi utilizada a metodologia proposta por Chaves *et al.* (2008) e utilizada por Francisco (2013) através da qual se classificou a vegetação separando-a em classes e subclasses de porte e densidade, de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1. Classes de vegetação.

Classes de Vegetação
Arbórea subarbórea densa
Subarbórea densa
Arbustiva subarbórea densa
Arbustiva subarbustiva aberta
Subarbustiva arbustiva rala
Subarbustiva arbustiva muito rala
Solo Exposto
Corpos d'água

Fonte: Adaptado de Chaves et al. (2008)

Na classificação da vegetação são considerados, de acordo com Chaves *et al.* (2008), quatro níveis categóricos: Tipo, Grupo, Classe e Subclasse.

Tipo – separa a vegetação da Caatinga de outras coberturas da terra;

Grupo – separa a vegetação de acordo com o porte dominante das plantas (Figura 10).

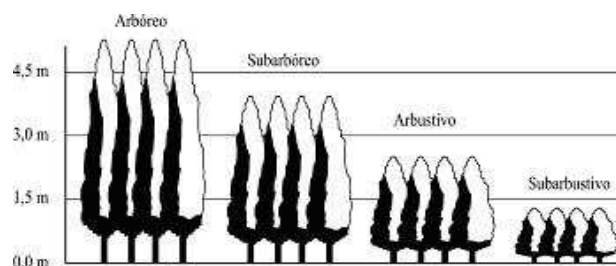


Figura 10. Classificação das plantas quanto ao porte. Fonte: Chaves et al. (2008).

Classes – dentro de cada grupo as classes separam as comunidades vegetacionais de diferentes feições morfológicas, descritas pela ordem decrescente dos portes dominantes

(Figura 11) quando identificáveis até o terceiro estrato, desde que este represente mais de 15% do conjunto da vegetação observada.

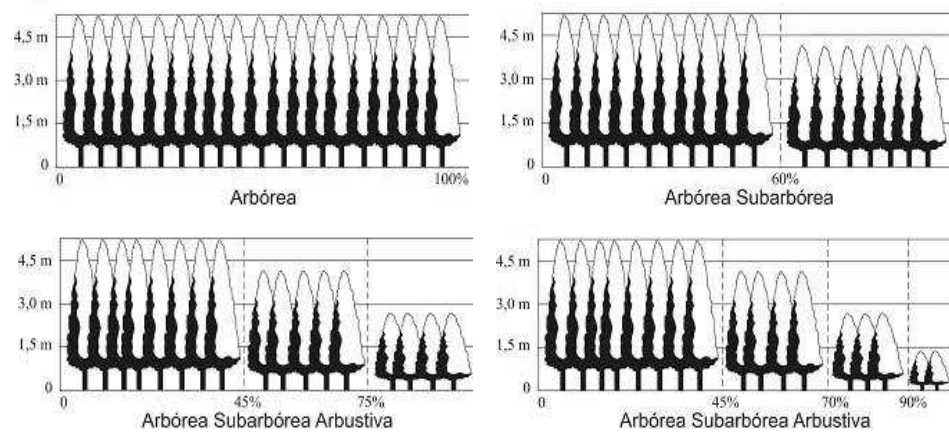


Figura 11. Classificação das plantas quanto à classe. Fonte: Chaves et al. (2008).

Subclasse – representa o grau de cobertura vegetal em termos de percentagem de recobrimento da superfície do solo, sendo avaliada pelos seguintes graus de recobrimento (Figura 12).

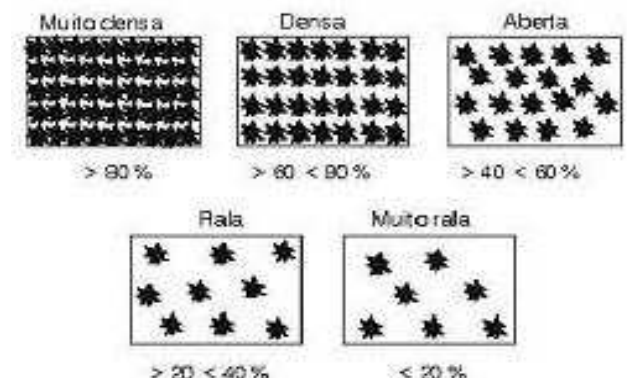


Figura 12. Classificação quanto à subclasse. Fonte: Chaves et al. (2008).

### 5.2.2. Base de dados

Para o processamento das imagens foi criada uma base de dados no SPRING 5.2.4 com a Projeção/Datum UTM/SAD-69. Para auxiliar o georreferenciamento foram importados um arquivo SHP da drenagem e um arquivo de mapa de solos, obtidos na AESA (2012).

### 5.2.3. Geração do Índice de Declividade

Utilizando a imagem SRTM do quadrante 24-ZD, foram geradas as curvas de nível com equidistância de 10 metros e importadas a base de dados para o SPRING.

Para gerar a grade triangular foram utilizadas as curvas de nível, como amostra e em seguida realizado o fatiamento da grade triangular com seus valores de cotas originando um plano de informação da categoria temática, associada a uma classe temática previamente definida (Tabela 2) no esquema conceitual da base de dados ativo de acordo com os parâmetros descritos por Francisco (2013).

Tabela 2. Classes de declividade.

Limites de Classe (%)	Classes de Declividade
0-3	Plano
3-6	Suave Ondulado
6-12	Moderadamente Ondulado
12-20	Ondulado
>20	Forte Ondulado/Montanhoso

Fonte: Francisco (2013).

### 5.2.4. Processamento das imagens e geração do Índice de Vegetação

O pré-processamento consiste em minimizar algumas características das imagens digitais que não pertencem à cena imageada, como as produzidas pela natureza do sensor, atmosfera e nuvens, entre outros (MALDONADO, 2005).

Nesta etapa foi realizada a importação das bandas 3, 4 e 5 da região de estudo para o módulo IMPIMA, as quais foram transformadas do formato TIFF para o formato GRIB e salvas em arquivo. Após esta etapa, foi importada a base 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 processamento melhor, foi realizado o recorte das áreas tomando-se como base o limite do município. Em uma etapa de pré-processamento foi realizado o realce de contraste das imagens com a ajuda do histograma, as quais foram exportadas.

As correções radiométricas têm a vantagem de permitir a comparação quantitativa de assinatura específica de alvos (HILL e STURM, 1991). Para adequar esses dados são utilizadas correções radiométricas, que incluem correções atmosféricas e de iluminação (MALDONADO, 2005).

Para promover a correção radiométrica nesta etapa as imagens foram importadas para o software ERDAS 8.5 e empilhadas; utilizou-se de um algoritmo para obtenção da correção radiométrica nas diferentes bandas espectrais das imagens (Tabela 3) selecionadas de acordo com o método utilizado por Silva *et al.* (2005).

Tabela 3. Descrição das bandas do Mapeador Temático (TM) do LANDSAT-TM/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).

Bandas	Comprimento de Onda (μm)	Coeficientes de Calibração (Wm <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup> μm <sup>-1</sup> )		Irradiância Espectral no Topo da Atmosfera (Wm <sup>-2</sup> μm <sup>-1</sup> )
		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).

Neste procedimento utilizou-se a relação proposta por Markham e Baker (1987):

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

em que  $a_i$  e  $b_i$  são as radiâncias espectrais mínima e máxima (W m<sup>-2</sup> sr<sup>-1</sup>μm<sup>-1</sup>), ND é a intensidade do pixel (número inteiro de 0 a 255) e  $i = 1, 2, 3, 4, 5$  e  $7$ , corresponde às bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 do TM - LANDSAT 5.

De posse dos mapas de radiância espectral de cada banda, informações sobre o  $\cos Z$  e irradiância espectral no topo da atmosfera (Tabela 4) para cada banda, estimou-se a refletância espectral planetária em cada banda (Bastiaanssen, 1995):

$$\rho_{\lambda_i} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda_i}}{K_{\lambda_i} \cdot \cos Z \cdot d_r}$$

em que  $\rho_{\lambda_i}$  é reflectância planetária da banda  $i$ ,  $K_{\lambda_i}$  é a irradiância solar espectral no topo da atmosfera (Tabela 3),  $\cos Z$  é o ângulo zenital do Sol e  $d_r$  é o inverso do quadrado da

distância relativa Terra – Sol - ds, em unidades astronômicas (Iqbal, 1983) dado pela seguinte fórmula:

$$ds = 1 + 0,0167 \operatorname{sen} \left[ \frac{2 \pi (J - 93,5)}{365} \right]$$

sendo J = o dia Juliano e o argumento da função seno se encontra em radiano. Por sua vez, o ângulo Zenital do Sol não precisou ser calculado visto que se encontrava disponível no cabeçalho das imagens adquiridas para este trabalho.

O IVDN é obtido através da razão entre a diferença das refletividades do IV-próximo ( $\rho_{IV}$ ) e do vermelho ( $\rho_V$ ), pela soma das mesmas:

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

onde:  $\rho_{IV}$  e  $\rho_V$  correspondem, respectivamente, às bandas 4 e 3 do LANDSAT-TM/5.

O IVDN 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 IVDN varia de 0 e 1; já para a água e nuvens o IVDN geralmente é menor que zero.

Para a classificação das imagens, foi importada a base de dados do SPRING e elaborada em seu subprograma LEGAL a classificação das imagens, utilizando-se os dados da Tabela 4 e a metodologia adaptada de Francisco *et al.* (2012) de acordo com os tipos a seguir:

Tabela 4. Valores de IVDN utilizados na classificação da cobertura vegetal.

Classes	IVDN
Arbórea Subarbórea densa	>0,315
Subarbórea Arbustiva densa	0,265-0,315
Arbustiva Subarbórea densa	0,230-0,265
Arbustiva Subarbustiva aberta	0,195-0,230
Subarbustiva Arbustiva rala	0,180-0,195
Subarbustiva Arbustiva muito rala	0,150-0,180
Solo exposto	0-0,150
Corpos d'água	<0

Fonte: Adaptado de Francisco *et al.* (2012).

Como forma de visualizar a forma de distribuição dos dados de IVDN foram criados histogramas de distribuição de frequência nas imagens de IVDN para os anos de 1987 e 2009.

### 5.2.5. Mapa de Detecção de Mudança

A detecção de mudanças vem sendo uma das maiores aplicações de sensoriamento remoto orbital. As técnicas desenvolvidas para este fim fornecem bons resultados a baixo custo e para diversas escalas, sobretudo em áreas que apresentam uma dinâmica espaço-temporal de fenômenos facilmente observáveis através do comportamento radiométrico das imagens multitemporais (MALDONADO, 2005).

Nesta etapa foram utilizados o software SPRING e o subprograma LEGAL para gerar os mapas de detecção de mudança, conforme adaptação da metodologia de parâmetros utilizada por Francisco *et al.* (2012) (Tabela 5).

Tabela 5. Parâmetros de classe para composição do LEGAL.

Classes	Asd	Sad	Asd	Asa	Asr	Asmr	SE
Asd	NM	D	D	D	D	D	D
Sad	R	NM	D	D	D	D	D
Asd	R	R	NM	D	D	D	D
Asa	R	R	R	NM	D	D	D
Asr	R	R	R	R	NM	D	D
Asmr	R	R	R	R	R	NM	D
SE	R	R	R	R	R	R	NM

Asd -Arbórea Subarbórea densa; Sad - Subarbórea Arbustiva densa; Asd - Arbustiva Subarbórea densa; Asa - Arbustiva Subarbustiva aberta; Sar - Subarbustiva Arbustiva rala; Samr - Subarbustiva Arbustiva muito rala; SE - Solo exposto; NM - Não mudança; D – Degradação; R – Recuperação.

Fonte: Adaptado de Francisco *et al.* (2012).

### 5.2.6. Índice de Degradação das Terras Semiáridas (IDTS)

Dregne (1998) reporta que o sucesso das técnicas de detecção e monitoramento da degradação de terras depende basicamente da definição de indicadores sensíveis a esses processos.

Apesar de que, para calcular a degradação das terras seja conveniente a utilização de parâmetros sociais e econômicos por serem fatores preponderantes na dinâmica da degradação; para a caracterização do objetivo proposto na presente pesquisa foi utilizada a metodologia indicada por Chaves *et al* (2008), adaptado por Francisco (2013).

Para a realização deste trabalho foi utilizado o Índice de Degradação das Terras Semiáridas (IDTS), que é representado pela Equação a seguir.

$$IDTS = IS * ID * IE$$

em que: índice de cobertura do solo (IS); declividade do terreno (ID) e erodibilidade do solo (IE).

Com o objetivo de gerar o índice de cobertura do solo (IS) e seu mapeamento, foram criadas as classes de valores de vegetação, para qual foi utilizada a metodologia adaptada de Francisco (2013), de acordo com as classes estabelecidas na Tabela 6.

Tabela 6. Classes e valores de vegetação.

Classes de Risco	Valores de IVDN	Índice da Classe
Muito Baixa	>0,315	1
Baixa	0,265-0,315	3
Média	0,195-0,265	5
Alta	0,150-0,195	7
Muito Alta	0-0,150	9

Fonte: Adaptado de Francisco (2013).

Quanto à geração do índice de declividade (ID) os passos foram descritos no item 5.2.3 da presente pesquisa.

Para gerar o índice de erodibilidade (IE), foi criada uma planilha no Excel, na qual de cada polígono de solo da área de estudo, baseado nas informações contidas nos perfis representativos do Boletim do Zoneamento Agropecuário do Estado da Paraíba (PARAÍBA, 1978) foi calculada sua erodibilidade, baseada na metodologia utilizada por Francisco (2013).

$$K = 0,00000797 (M) + 0,0029283 (P) \quad (r^2 = 0,9561)$$

onde: (M) parâmetro granulométrico; (P) classes de permeabilidade dos perfis dos solos.

Os valores da erodibilidade foram agrupados em cinco classes de risco, de acordo com os dados da Tabela 7.

Tabela 7. Classes e valores de erodibilidade.

Classe de Risco	Erodibilidade (Mg mm MJ <sup>-1</sup> ha <sup>-1</sup> )	Índice da Classe
Muito Baixa	<0,01	1
Baixa	0,01-0,02	3
Média	0,02-0,03	5
Alta	0,03-0,04	7
Muito Alta	>0,04	9

Fonte: Francisco (2013).

Partindo do pressuposto de que a erosão do solo é o efeito mais marcante da degradação ambiental e que a cobertura vegetal, a declividade do terreno e a susceptibilidade dos solos e a erosão, são fatores determinantes do processo erosivo, estimou-se cruzando os dados espacializados desses atributos o estado de degradação atual das terras do município de Sumé-PB.

Utilizando-se a linguagem algébrica LEGAL do SPRING foi montada a equação para estimativa do IDTS procedendo-se ao cruzamento dos subíndices temáticos para a geração do mapa de degradação das terras. Na Tabela 8 podem ser observados os parâmetros para estimativa à degradação das terras.

Tabela 8. Parâmetros para estimativa das classes de degradação das terras.

Classes de Risco	Cobertura Vegetal (IVDN)	Índice Classe	Declividade e (%)	Índice Classe	Erodibilidade (MgmmMJ <sup>-1</sup> ha <sup>-1</sup> )	Índice Classe	Intervalo Classe	Grau de Risco
Muito Baixa	>0,315	1	0-3	1	<0,01	1	0-3	1
Baixa	0,265-0,315	3	3-6	3	0,01-0,02	3	3-15	27
Média	0,195-0,265	5	6-12	5	0,02-0,03	5	15-45	125
Alta	0,150-0,195	7	12-20	7	0,03-0,04	7	45-175	343
Muito Alta	0-0,150	9	>20	9	>0,04	9	>175	729

Fonte: Adaptado de Francisco (2013).

### 5.2.7. Índice de Biomassa da Vegetação Lenhosa (IBVL) e Índice de Degradação da Vegetação (IDV)

Um indicador adequado deve ser capaz de prover estimativas contínuas sobre as perturbações do ambiente e de diferenciar ciclos. A estrutura da vegetação é particularmente sensível às mudanças de fertilidade cuja diminuição é característica dos processos de degradação (MALDONADO, 2005).

A estrutura da vegetação funciona como indicador de estado do ambiente e suas variações são indicadores da dinâmica ambiental, no qual reflete radiometricamente a presença de processos de degradação e recuperação (MALDONADO, 2005). De acordo com o mesmo autor deve-se definir, para utilizá-la como indicador, as características que



diferenciam ambientes degradados daqueles não degradados, e reconhecer a natureza das perturbações que ocasionaram a degradação ou que podem provocá-la.

Segundo Carvalho (1986) os tipos estruturais vegetacionais são bases do sistema de classificação estrutural formulado pela repetição ou distribuição no espaço horizontal e vertical dos indivíduos que formam a vegetação.

Conforme Chaves *et al.* (2008) para cada bioma de caatinga representativo de uma região fisiográfica de estudo é necessário que se estabeleça um valor de referência da biomassa para uma condição de máxima preservação; só assim será possível fazer a estimativa do volume da biomassa para as demais áreas de estudo bastando apenas multiplicar o volume padrão de referência pela superfície da área considerada e pelo IBVL obtido da descrição da vegetação (Francisco *et al.*, 2013) (Tabela 9).

Tabela 9. Classes de vegetação e correspondência entre valores do índice de biomassa da vegetação lenhosa (IBVL) e índice de vegetação por diferença normalizada (IVDN).

<b>Classes de IBVL</b>	<b>Valores de IBVL</b>	<b>Valores de IVDN</b>
Arbórea Subarbórea densa	>0,60	>0,315
Subarbórea Arbustiva densa	0,50 - 0,60	0,265-0,315
Arbustiva Subarbórea densa	0,30 - 0,50	0,230-0,265
Arbustiva Subarbustiva aberta	0,20 - 0,30	0,195-0,230
Subarbustiva Arbustiva rala	0,10 - 0,20	0,180-0,195
Subarbustiva Arbustiva muito rala	0,05 - 0,10	0,150-0,180
Solo exposto	< 0,05	0-0,150
Corpos d'água	< 0	<0

Fonte: Adaptado de Francisco *et al.* (2013).

A estimativa do volume da biomassa para um hectare foi procedido conforme a equação abaixo.

$$VBVL = Vmáx * Área * IBVL$$

Adotou-se como volume de referência a estimativa apresentada por Francelino *et al.* (2003) correspondente à produtividade de uma área de Caatinga preservada, descrita como Caatinga fechada do tipo florestal 4, com alto valor de recobrimento do solo e com a presença de sub-bosques, apresentando um volume médio de madeira de 108m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>.

A estimativa do Volume da Biomassa da Vegetação Lenhosa (VBVL), apesar de ser apresentada de forma simplista, deve ser vista com cautela uma vez que a qualidade e, conseqüentemente, o valor do produto florestal para diferentes comunidades vegetais (diferentes fases de degradação da Caatinga), podem variar consideravelmente; utilizando

desta metodologia estimou-se o VBVL do município de Sumé-PB a partir da descrição da vegetação de Caatinga de cada unidade de mapeamento.

Para a estimativa do índice de degradação da vegetação (IDV) foi utilizada a metodologia desenvolvida por Chaves *et al.* (2008) e utilizada por Francisco (2013), determinada pela diferença entre o Índice de Biomassa da Vegetação Lenhosa (IBVL), para uma condição hipotética de máxima preservação, e a condição da vegetação que se quer avaliar conforme a equação abaixo.

$$IDV = \left( \frac{1}{IBVL} \right)$$

sendo 1, o valor do índice de biomassa da vegetação lenhosa de condição de máxima preservação e IBVL, é o Índice de Biomassa da Vegetação Lenhosa que é para a condição de vegetação, o que se quer avaliar.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1. Mapeamento da vegetação de caatinga

A interpretação prévia da imagem foi fundamental para o mapeamento da vegetação da caatinga, com base na delimitação visual dos alvos por meio do *Google Earth online*.

Com base nos limites estabelecidos foram mapeadas as classes de vegetação da cobertura da terra do município, conforme a representação dos mapas de 1987 e 2009 (Figuras 13 e 14); posteriormente, foram calculadas as áreas correspondentes às classes mapeadas (Tabela 10).

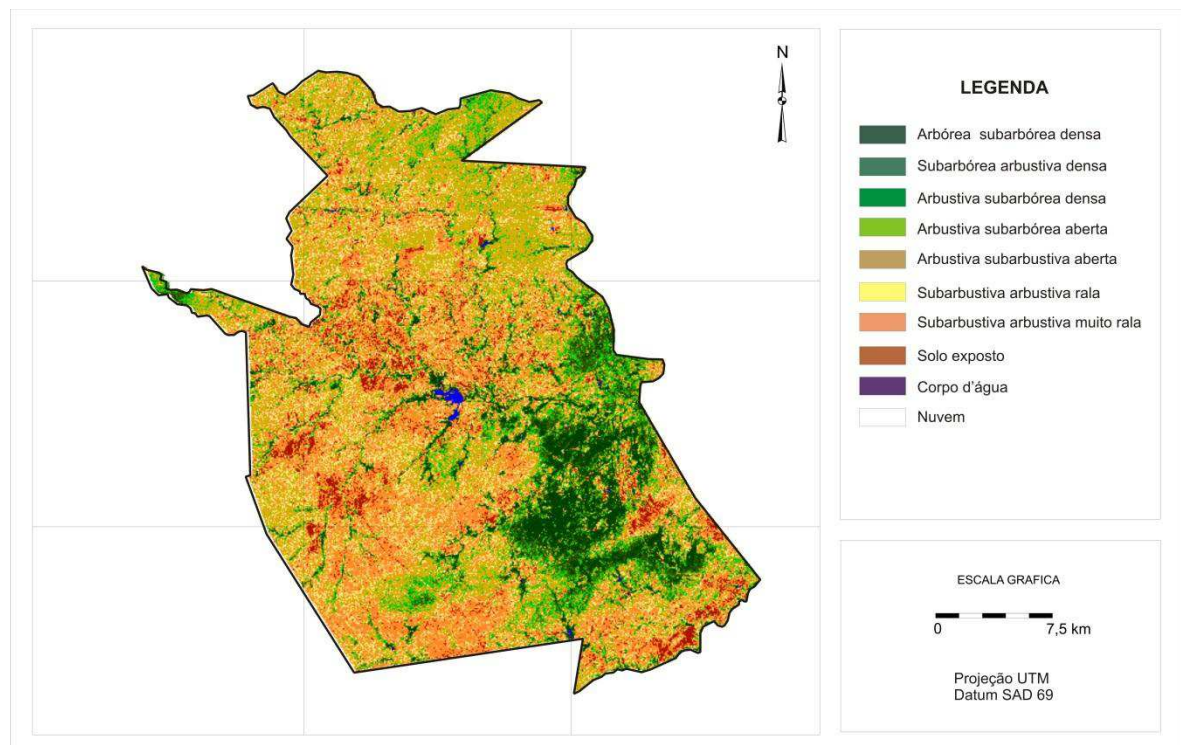


Figura 13. Mapa de tipologias de vegetação de caatinga e cobertura e uso da terra do ano de 1987, em 06 de maio.

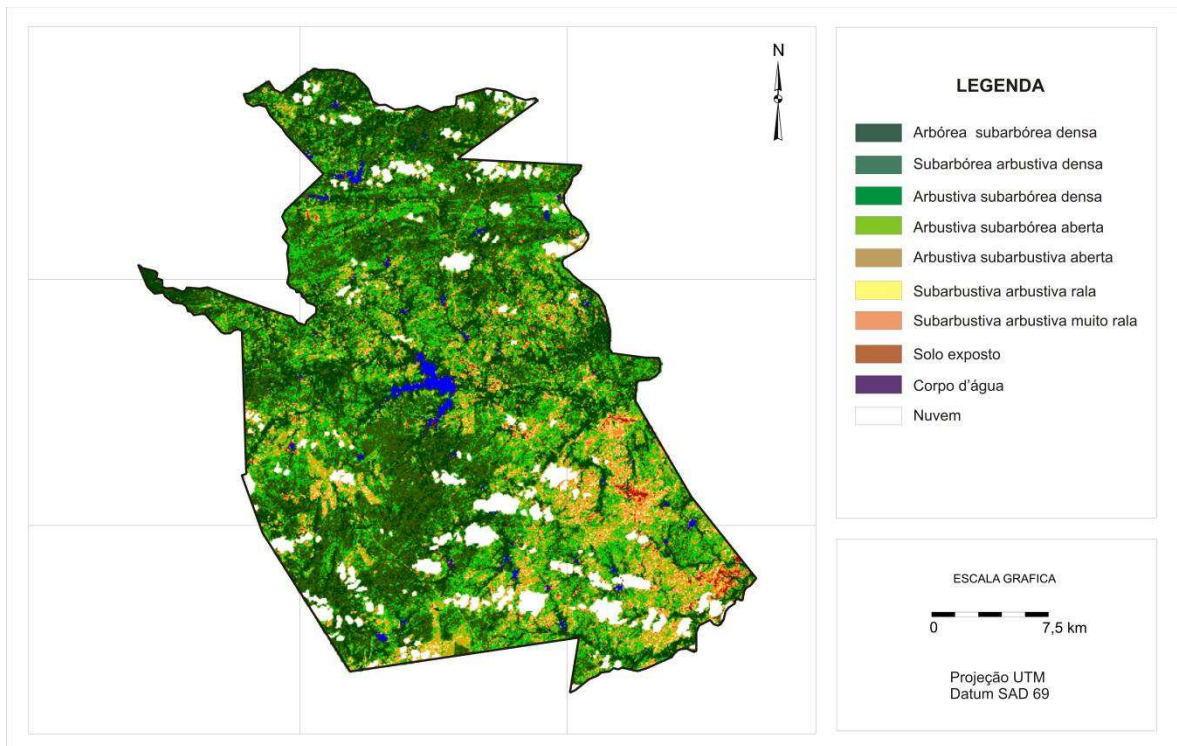


Figura 14. Mapa de tipologias de vegetação de caatinga e cobertura e uso da terra do ano de 2009, em 28 de outubro.

No mapa de tipologias de vegetação de caatinga e cobertura e uso da terra do ano de 1987 (Figura 13), a classe solo exposto apresentou área de  $41,10\text{km}^2$  (4,90%); as classes que denotam uma cobertura vegetal menor, nesse caso as Subarbustivas, apresentaram uma área de ocupação de  $337,40\text{km}^2$  correspondendo a 40,23% do total; as classes de densidade média, as Arbustivas, apresentaram uma área de cobertura de  $350,60\text{km}^2$  correspondendo a 41,81% do total; já para as classes que representam densidade de cobertura maior, consequentemente uma cobertura também maior do solo e menor propensão à degradação das terras, as classes Subarbórea e Arbórea, correspondem a  $107,50\text{km}^2$ , perfazendo o somatório de 12,82% do total (Tabela 10).

No mapa de tipologias de vegetação de caatinga e cobertura e uso da terra do ano de 2009 (Figura 14), observa-se que a classe solo exposto apresentou área de  $8,90\text{km}^2$  (1,06%), enquanto as classes de menor porte vegetal apresentaram área de  $47,30\text{km}^2$  (5,64%); as classes Arbustivas, correspondentes ao porte médio vegetacional, se apresentaram com área de  $311,40\text{km}^2$  (37,13%) e as classes de maior biomassa vegetal, Subarbórea densa e Arbórea subarbórea densa, se apresentaram com área de  $404,90\text{km}^2$  (48,28%) (Tabela 10).

Tabela 10. Áreas de ocupação em km<sup>2</sup> e porcentagem das classes de vegetação e cobertura e uso da terra.

Classes de Vegetação	1987		2009	
	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%
Arbórea subarbórea densa	53,20	6,34	145,10	17,30
Subarbórea densa	54,30	6,48	259,80	30,98
Arbustiva subarbórea densa	80,50	9,60	195,60	23,32
Arbustiva subarbustiva aberta	270,10	32,21	115,80	13,81
Subarbustiva arbustiva rala	127,30	15,18	25,00	2,98
Subarbustiva arbustiva muito rala	210,10	25,05	22,30	2,66
Solo Exposto	41,10	4,90	8,90	1,06
Corpos d'água	2,00	0,24	8,70	1,04
Nuvem	0	0	57,40	6,84
Área Total	838,6	100	838,6	100

Trabalhando na bacia do rio Sucuru, o qual recobre boa parte da área de abrangência do município de Sumé-PB, Alencar (2008) verificou a presença de 4,60% de sua área coberta com vegetação classificada como densa nativa para o ano de 1987. Analogamente, pode-se comparar essa área de abrangência, verificada pela autora, com os dados descritos no presente trabalho, em que foi observada uma porcentagem de cobertura de área para a classe de vegetação Arbórea subarbórea densa de 6,34%, para o mesmo ano de disponibilidade da imagem e em época com características climáticas idênticas.

Com relação à classe de vegetação, que possibilita melhor cobertura do solo, Alencar (2008) verificou, para a imagem estudada no ano de 2005, uma redução na porcentagem de recobrimento da classe de vegetação densa nativa, para 1,25%; neste presente trabalho, foi possível verificar uma situação diferente à registrada pela autora em 2005, com o aumento em 2009 para 17,3% de cobertura vegetal para a classe Arbórea subarbórea densa, ou seja, um acréscimo significativo de 10,96 no percentual de área coberta com a classe de vegetação citada.

Para Francisco (2013), trabalhando na bacia do rio Taperoá, cariri paraibano, área de características geoambientais análogas à do presente estudo, observou-se o valor de 18,4% na cobertura e uso da terra ocupada com a classe Arbórea subarbórea densa, dados que, conjugados ao presente estudo, comprovam que o bioma Caatinga não tem nada de frágil e que o semiárido continua se desenvolvendo, garantindo o ciclo da sucessão ecológica quando não há perturbação antrópica sob o meio ambiente.

Em uma análise da região de estudo para o ano de 1987 (Figura 13) pode-se observar que é na porção média sudeste que se concentra o maior percentual de áreas com vegetação de maior porte e densidade; relacionando as principais redes de drenagem desta área municipal (Figura 3) de leste para oeste, pode-se identificar o rio Sucuru, a principal e maior linha de drenagem dentro do município. É provável que, por suas características

geoambientais, esta área tenha sido escolhida pelo Departamento de Obras Contra as Secas (DNOCS) para abrigar o Perímetro Irrigado de Sumé, atualmente inativo devido ao mau uso dos recursos hídricos e dos solos, que provocaram a salinização desses últimos.

A implantação do perímetro irrigado de Sumé-PB foi iniciada em 1970 e concluída em 1976. Os serviços de administração, operação e manutenção da infraestrutura de uso comum também foram iniciados em 1970. Para não comprometer o abastecimento humano da cidade de Sumé o fornecimento de água para o perímetro foi suspenso em 1989, pelo DNOCS. A pressão da sociedade organizada do município e a precariedade da infraestrutura de uso comum do perímetro resultante da manutenção deficiente, impedindo o fornecimento até mesmo parcial de água para o perímetro, condicionaram o DNOCS a não liberar água para irrigação, durante todos esses anos. A falta de água do açude para o perímetro levou produtores com lotes rebeirinhos ao rio Sucuru a empreender construções de poços amazonas como alternativa de suprimento de água (IICA, 2006).

Verificando o mapa de tipologias de vegetação de caatinga e cobertura e uso da terra 2009 (Figura 14) e conjugando com os mapas altimétrico (Figura 5), de declividade (Figura 6) e de solos (Figura 7), é possível observar uma estreita relação entre áreas mais altas (500m a 700m), solos Luvissole Crômico Órtico típico (porção norte da imagem) e Nossolo Litólico Eutrófico típico (porção central sudoeste) com unidades mais densas de vegetação representadas pela classe Arbórea subarbórea densa (Figura 15) e Subarbórea arbustiva densa/Arbustiva subarbórea densa que, somadas suas áreas de ocorrência, correspondem a 71,60% da área do município; além do mais estas são, em grande parte, áreas de difícil acesso antrópico ou que foram abandonadas com o passar dos anos, com conseqüente recuperação da vegetação da caatinga permitindo um período maior de pousio favorecendo, sem dúvida, os ecossistemas locais.



Figura 15. Imagem representando a classe Arbórea subarbórea densa.

Francisco (2013), Paes-Silva *et al.* (2003) e Guimarães (2009) também observaram, trabalhando em bacias e sub-bacias do rio Taperoá, respectivamente, esta relação entre vegetação e áreas declivosas e de difícil acesso.

Outro fator que deve ser considerado para tal situação é reportado por Maldonado (2005); segundo o autor, a absorção da energia luminosa na Caatinga seca se dá pelo componente de sombreamento da porção lenhosa (troncos e galhos). É possível que este efeito de sombreamento pelos componentes vegetais seja o que evidenciou o equivalente para os tipos de cobertura da terra com maior densidade vegetal no mapeamento da vegetação, cobertura e uso da terra.

Ao analisar a dinâmica temporal dos valores que representam as diferentes classes de vegetação para o período compreendido entre os anos de 1987 e 2009 (Tabela 10) verifica-se a ocorrência de acréscimos na classe Arbórea subarbórea densa de 10,96%, na classe Subarbórea densa de 24,50% (Figura 16), e na classe Arbustiva subarbórea densa (Figura 17) de 13,72%; fato relevante, visto que este aumento significativo nas porções de classes de uso da terra que possuem uma biomassa vegetal maior possibilita, conseqüentemente uma cobertura mais acentuada do solo podendo ocasionar menor taxa de degradação das terras por erosão.

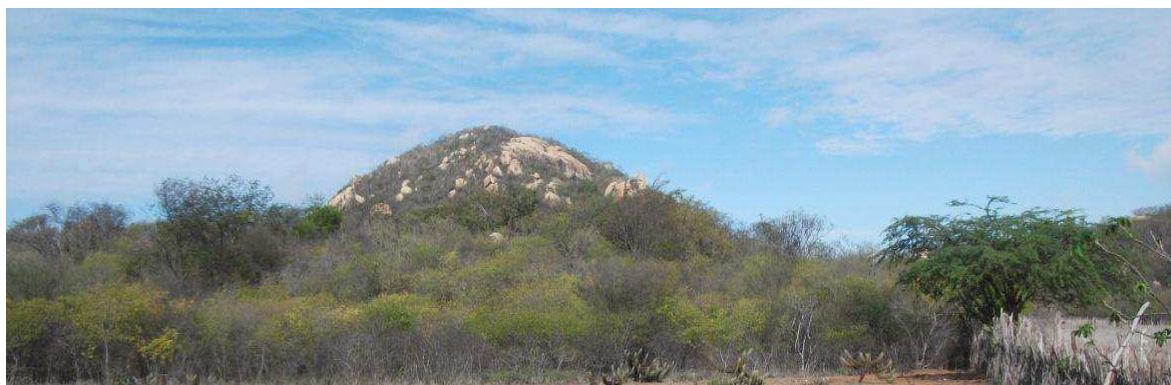


Figura 16. Imagem representando a classe Subarbórea densa.

É necessário ressaltar que as mudanças da cobertura vegetal original são os primeiros reflexos da ocupação humana em determinada região; sua importância fundamental está na proteção que exerce sobre o solo contra os efeitos da degradação das terras.



Figura 17. Imagem representando a classe Arbustiva subarbórea densa.

Para Moura (2006) no semiárido esta dinâmica pode ser estudada sazonalmente – estação chuvosa e estação seca enquanto na estação chuvosa a cobertura vegetal da caatinga é verde, absorvendo bastante a radiação eletromagnética na região do visível e no infravermelho médio; enquanto no infravermelho próximo a refletância é alta, na estação seca o quadro se inverte; mesmo assim, é conveniente observar que o verde da vegetação na estação úmida não significa que houve um reverso do processo da desertificação.

Quando se observa a classe Arbustiva subarbustiva aberta (Figura 18), verifica-se que o fenômeno foi inverso, a área de cobertura desta classe de vegetação reduziu em -18,41%, na classe Subarbustiva arbustiva rala (Figura 19) em -12,20%, na classe Subarbustiva arbustiva muito rala (Figura 20) a redução foi de -22,39% como, também, na classe de solo exposto em -3,84% do total da área.



Figura 18. Imagem representando a classe Arbustiva subarbustiva aberta.





Figura 19. Imagem representando a classe Subarbustiva arbustiva rala.

A classe corpos d'água, no caso o açude de Sumé como principal representativo e os demais mananciais hídricos do município, representaram acréscimo em área de 0,80%.



Figura 20. Imagem representando a classe Subarbustiva arbustiva muito rala.

As áreas com menor quantidade de cobertura vegetal para o ano de 2009 (Figura 14) estão localizadas mais próximo das linhas de drenagem (Figura 3) e aumentam na medida em que diminui de altitude (Figura 5) e principalmente em áreas de solos Vertissolos (Figura 7) que predominam nas partes mais baixas, no entorno das linhas de drenagem e ao sudeste da área de estudo; nessas áreas ocorrem as classes de Solo exposto (Figura 21), Subarbustiva arbustiva muito rala e Subarbustiva arbustiva rala, com 8,9 km<sup>2</sup>, 22,3 km<sup>2</sup> e 25,0 km<sup>2</sup> respectivamente, que correspondem a 6,8% da área total, classes de ausência ou menor cobertura vegetal.



Figura 21. Imagem representando a classe Solo exposto.

As áreas com solos expostos, para o ano de 1987, estão basicamente mais próximas da rede de drenagem; é provável que este fato seja em decorrência da superutilização dessas terras com fins agropecuários uma vez que é possibilitada a garantia de água durante boa parte do ano; para o ano de 2009 essas áreas aumentaram à medida em que diminuem de altitude (Figura 5) e se aproximam do ponto de deságue do limite do município na porção ao leste.

Ao ocorrer a eliminação ou diminuição da vegetação, acompanhadas de técnicas inadequadas de uso e manejo dos solos na região, é possível observar que se iniciem e acelerem os processos de degradação dos solos.

Segundo Alencar (2008) para a bacia do rio Sucuru, que recobre a porção leste da área de estudo, predomina o nível de degradação das terras muito grave, ocasionando maior índice de cobertura da terra com solos expostos.

## **6.2. Análise dos histogramas de IVDN das imagens**

Um histograma é uma representação gráfica da distribuição de frequências, normalmente apresentado sob a forma de um gráfico de barras verticais e unimodal; para Kurokawa e Bornia (2002) é possível, através da análise do histograma, interpretar informações de forma mais fácil e simples do que acompanhando uma grande tabela ou um relatório com apenas números e/ou valores.

Na análise de histogramas é possível, para estudo com imagens satelitais, verificar, em cada banda, os valores numéricos mínimos e máximos e o seu formato, possibilitando, desta forma, a análise dos dados.

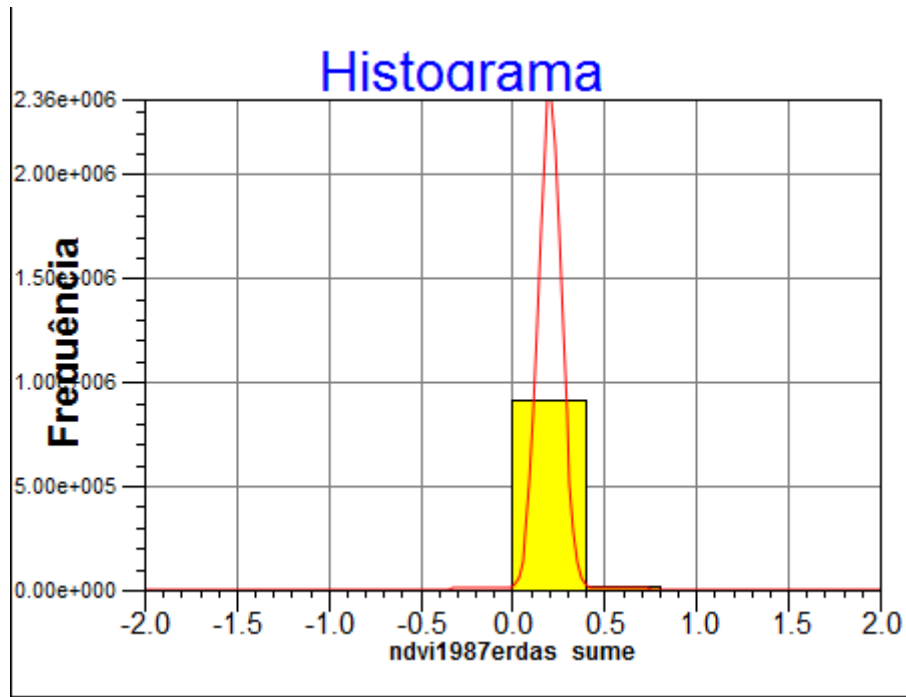


Figura 22. Histograma da reflectância da imagem IVDN de 1987.

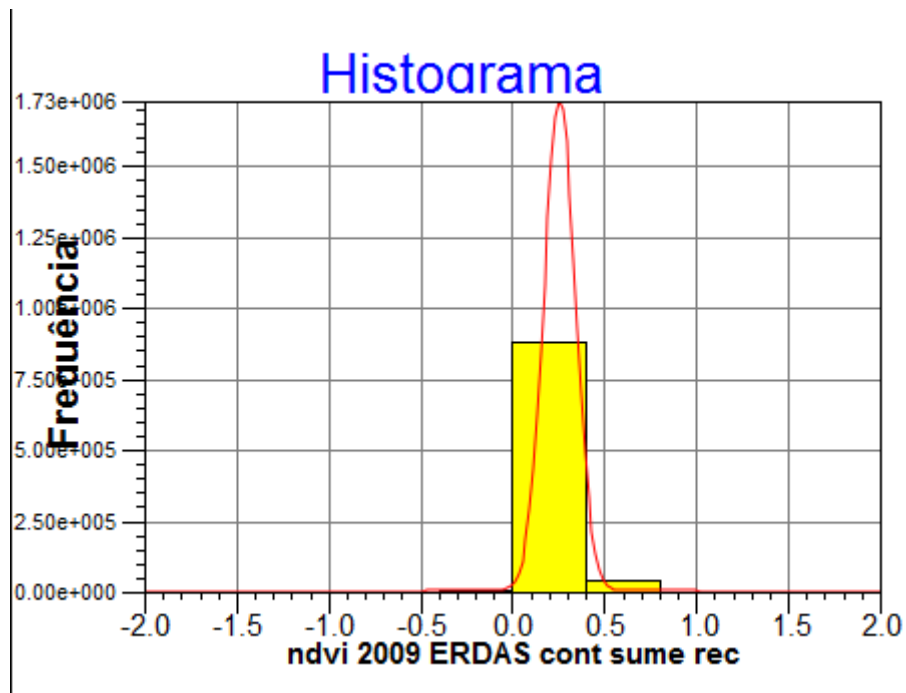


Figura 23. Histograma da reflectância da imagem IVDN de 2009.

O histograma da imagem de IVDN de 1987 está exposto de acordo com a Figura 22. Com base nos dados da Tabela 11, é possível observar que o valor médio de IVDN é de 0,210, o valor mínimo de -0,727 e o valor máximo de 0,756 para toda a imagem, demonstrando que a maioria dos *pixels* se concentra nesses valores de reflectância.

Para a imagem IVDN de 2009, o histograma está apresentado na Figura 23; observa-se, na Tabela 11, que os principais valores de IVDN encontrados para a imagem foram: valor médio de 0,263, valor mínimo de -0,843 e o valor máximo observado de 0,803.

Trabalhando com IVDN, Francisco (2013) verificou que o uso deste índice foi o tratamento digital mais adequado para a discriminação de tipos da vegetação da Caatinga na região do cariri paraibano na tentativa de se obter um número maior de classes de cobertura e uso da terra.

Kaufman e Tanré (1992) encontraram, em algumas regiões do Nordeste, valores medianos de IVDN entre 0,150 e 0,620, respectivamente, em épocas seca e chuvosa; desta forma, pode-se inferir que os valores medianos encontrados no estudo para 1987 de 0,197 e para 2009 de 0,264, estão em consonância com os dados apresentados pelos autores.

Na Tabela 11 se encontra a estatística descritiva da imagem-índice de IVDN, podendo-se observar os valores dos *pixels* encontrados.

Tabela 11. Estatística descritiva das imagens-índice IVDN.

Descrição	1987	2009
	Valores	
Número de Pontos	932.647	932.647
Média	0,210	0,264
Variância	0,004	0,0074
Desvio Padrão	0,062	0,0864
Coefficiente de Variação	0,296	0,3264
Coefficiente de Assimetria	1,081	-0,2134
Coefficiente de Curtose	13,692	10,389
Valor Mínimo	-0,727	-0,843
Mediana	0,197	0,264
Valor Máximo	0,756	0,803

Sá *et al.* (2008) relatam, avaliando o IVDN na região do Araripe Pernambucano, que o valor mínimo encontrado foi de -0,740 e o máximo de 0,796, o valor médio foi de 0,282; para as duas imagens estudadas nos anos de 1987 e 2009, os valores mínimos de IVDN encontrados foram, respectivamente, -0,727 e -0,843; percebe-se que o valor mínimo para o ano de 1987 foi superior porém muito próximo; já para o ano de 2009 foi inferior.

Para a correlação dos valores de IVDN, Sá *et al.* (2008) comentam que os valores entre 0,201 e 0,278 correspondem à vegetação de Savana Estépica Arborizada e Florestada, que se encontram degradadas.

Para Francisco *et al.* (2012) nas áreas de mata ciliar da região do cariri paraibano o IVDN variou entre 0,490 a 0,797.

Morais *et al.* (2011) encontraram, trabalhando em área de Caatinga bem preservada de floresta subcaducifólia no município de Floresta-PE, leituras de IVDN variando de 0,208 a 0,803.

Valores de IVDN abaixo de 0,400 para o período seco são mais compatíveis para respostas da vegetação de Caatinga hiperxerófila, como a da área de estudo (PAIXÃO *et al.*, 2009; LOPES *et al.*, 2010; CHAVES *et al.*, 2012; FRANCISCO, 2013). Corroborando com os autores, valores de IVDN também foram verificados inferiores a 0,400 para o presente estudo e para as duas épocas analisadas.

É importante salientar, por meio de trabalhos de monitoramento da vegetação da caatinga, que é possível verificar grande variação estacional de respostas do IVDN relacionada à disponibilidade de água e à atividade fotossintética das plantas.

As variações de refletância estão associadas à concentração de clorofila e de outros pigmentos em diferentes estágios de desenvolvimento da folha (KUMAR, 1972).

### **6.3. Detecção de mudança**

Para Maldonado (2005) os indicadores de mudança estão relacionados com o ambiente e podem ser observados entre os elementos da vegetação, fauna, superfície do solo e testemunhas de atividade antrópica, entre outros aspectos.

Por extinção ou por eliminação natural do sistema, as espécies nativas existentes na área tendem a diminuir com o tempo, fato este relacionado diretamente com o antropismo e com os métodos inadequados de manejo da vegetação da caatinga regional.

Não há um método universalmente válido para identificar a degradação das terras e suas causas; todavia, não se deve desconsiderar os estudos pré-existentes sobre os possíveis diversos fatores que incidem de forma simultânea sobre o fenômeno, mesmo que tais estudos reflitam um somatório de metodologias (CAMPELLO, 2006).

Após a conjugação dos parâmetros de classes de vegetação e com o auxílio do programa LEGAL, gerou-se o mapa de detecção de mudança da área para o período compreendido entre os anos de 1987 e 2009, de acordo com a Figura 24.

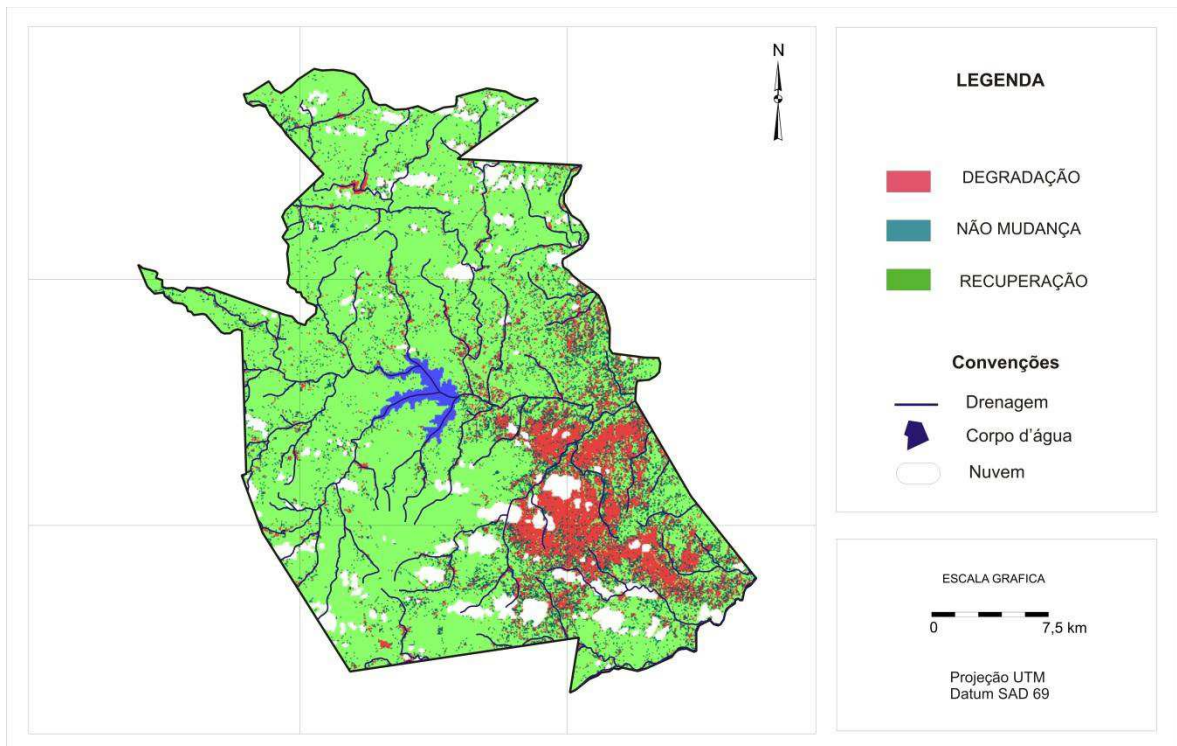


Figura 24. Mapa de detecção de mudança.

Tabela 12. Valores de áreas das classes de detecção de mudança.

Classes	Área (km <sup>2</sup> )
Recuperação	596,0
Não Mudança	78,1
Degradação	98,4
Corpos d'água	8,8
Nuvem	57,3
<b>Total</b>	<b>838,6</b>

Observando os dados na Tabela 12 verifica-se que a classe RECUPERAÇÃO foi a que apresentou o maior valor e analisando o Mapa de detecção de mudança (Figura 24), observa-se que esta classe ocorre, em sua maioria, distribuída em quase todo o município encontrando-se em abandono agrícola, em decorrência da superutilização do solo culminado em sua exaustão mineral.



Figura 25. Áreas em processo de recuperação.

Não obstante e conjugando os dados do mapa de solos (Figura 7) com o mapa da Figura 24, pode-se observar que esta classe (RECUPERAÇÃO) é representada, em sua grande maioria, pelos solos Luvisolos crômicos (NC) e Neossolos Litólicos (Re). Esses tipos de solos são os mais utilizados na agricultura de subsistência local apesar de sua baixa potencialidade agrícola. Em decorrência disto, esses solos foram física e quimicamente exauridos e, por conseguinte, abandonados encontrando-se, atualmente, em processo de recuperação natural apresentando vegetação em estágios intermediários da sucessão das comunidades ecológicas (Figura 25).

Francisco *et al.* (2012) verificaram, estudando a bacia do rio Taperoá-PB, área contígua ao município e de características edafoclimáticas idênticas, grandes áreas em processos de recuperação; fato corroborado pelo presente estudo o qual apresentou maior área de abrangência na região delimitada na pesquisa de 596km<sup>2</sup> na classe RECUPERAÇÃO entre as classes de detecção de mudança.

Mapeando a mudança temporal entre 1996 e 2009, de área do cariri paraibano, Francisco *et al.* (2012) constataram terem ocorrido alterações significativas de mudança de área nas classes Subarbusativa rala, Subarbusativa muito rala e Solo exposto para uma condição de menor abrangência, havendo um aumento de área das outras classes de maior valor de biomassa e que este comportamento temporal dá uma ideia do poder de recuperação da vegetação de caatinga.

Pelo observado neste estudo pressupõe-se que no ano de 1987 ocorria a condição da vegetação com menor densidade e de pequeno porte e que, durante os 22 anos de temporalidade, provavelmente pelo abandono das áreas, este fato apresentado, de uma grande área com a classe RECUPERAÇÃO (596,0km<sup>2</sup>).

Mesmo com a dificuldade de separação da classe nuvem da imagem de 2009 em relação à imagem de 1987, causando, possivelmente, um mascaramento da investigação, problema este encontrado no sensoriamento remoto, além de situação similar à encontrada

por Francisco *et al.* (2013) caso em que não houve interferência nos resultados, visto que a classe RECUPERAÇÃO apresentou maior valor em relação às outras classes, facilitando sua observação.

As áreas detectadas como NÃO MUDANÇA, ocorrem ao longo da linha de drenagem e se apresentam em áreas com solos aluvionais, com maior disponibilidade hídrica e conseqüentemente, com maior densidade de cobertura, além da predominância de Algarobais (*Prosopis juliflora* (sw) DC) que correspondem a 78,1 km<sup>2</sup> (Figura 26).



Figura 26. Áreas com algarobais (*Prosopis juliflora*(sw) DC) ao longo da linha de drenagem.

Matallo Junior (2001) reporta que, em geral, os processos de desertificação uniformizam a vegetação em termos de estratos e número de espécies. As áreas mais degradadas têm um único estrato; não obstante, é notório que a presença de algarobais pode indicar tal fato na região em estudo, de vez que a retirada de material vegetal nativo já comprometeu, em grande parte, a diversidade vegetal.

Outras áreas correspondentes à classe NÃO MUDANÇA se localizam em declividade mais acentuada de menor acesso ou de preservação, e em Neossolos Litólicos (Figura 27) impossibilitando o antropismo, de certa forma, situação similar às observações feitas por Francisco *et al.* (2012) e Alencar (2008).

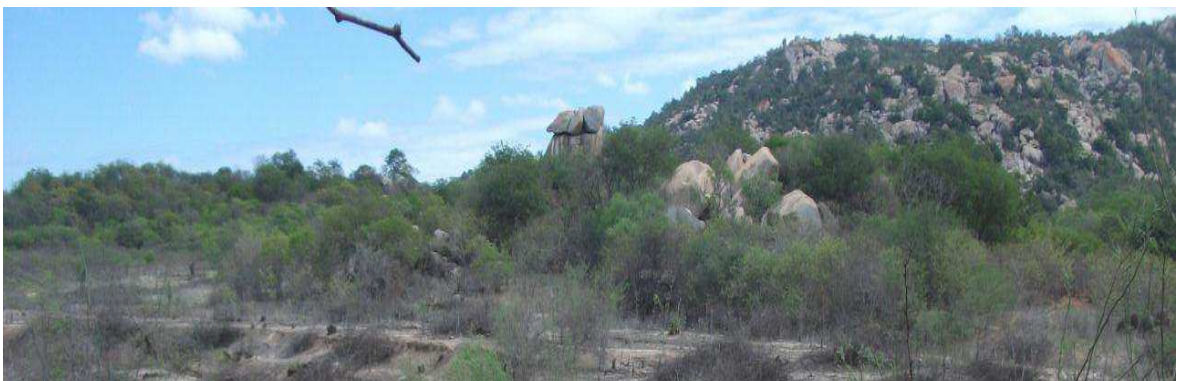


Figura 27. Áreas declivosas e de menor acesso antrópico.



Observa-se, na classe de DEGRADAÇÃO, a ocorrência localizada a sudeste da área do município, que se encontra basicamente inserida nos solos Vertissolos, compostos pela associação com os Luvisolos crômicos, Neossolos Litólicos eutróficos, Planossolo Nátrico e Neossolos flúvicos em região plana a suave ondulado.

Pode-se observar, na Figura 28, a ocorrência da classe de DEGRADAÇÃO na região em estudo. Apresentando-se com forte presença de pedregosidade, esses solos, apesar da pequena declividade das áreas onde ocorrem, podem sofrer erosão com facilidade. É imprescindível salientar que a área desmatada na região, além das suas características intrínsecas de solo, põe em risco ao processo de desertificação.

Francisco *et al.* (2012) verificaram, estudando o cariri paraibano, que as classes de degradação ocorreram, principalmente, em solos Luvisolos e em Solonetz Solodizado.



Figura 28. Áreas apresentando a classe de detecção de mudança DEGRADAÇÃO.

Sousa *et al.* (2007) comentam que os prejuízos ambientais estão quase sempre relacionados ao uso indevido do solo pelas diversas atividades degradantes; assim, a retirada da cobertura vegetal para implantação de agricultura de autoconsumo ou para pecuarização extensiva sem práticas de conservação ambiental compromete, a médio e longo prazos, as propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos inviabilizando essas áreas a uma exploração sustentável no futuro e transformando-as em áreas em risco quanto ao processo de desertificação.

Uma das principais causas da degradação das terras observadas na região é a retirada da vegetação natural e de outros tipos vegetacionais, para utilização em carvoarias, panificadoras locais e cerâmicas, servindo como matriz energética desses tipos de empreendimento (Figura 29).



Figura 29. Áreas apresentando a classe DEGRADAÇÃO com retirada de material energético.

A prática da queimada, de acordo com Moura (2006) está inserida, há décadas, no contexto histórico da população introduzida pelos colonizadores como uma das formas de arrebatar terras das populações indígenas; somado a isto, o descaso dos órgãos públicos, responsáveis pela assistência técnica ao camponês e pelo controle e fiscalização do uso das terras, contribui para a aceleração dos processos que levam à degradação das terras.

Para Barbosa *et al* (2007b), a maior pressão sobre a caatinga é exercida pela indústria nordestina, por se tratar de uma fonte de energia barata, em forma de carvão e lenha. O desmatamento causado pela indústria é, muitas vezes, maior do que aquele feito pelo camponês, que se dá pela necessidade de sustentação familiar, em virtude da sua condição de pobreza, que não lhe permite usar outra fonte de energia.

Na região em estudo foi possível comprovar mais um processo de degradação das terras, ou seja, a retirada do solo para utilização em cerâmicas regionais (Figura 30). Em geral, os solos da região, são extraídos sem nenhum controle ou fiscalização ambiental.



Figura 30. Imagem demonstrando a degradação das terras por retirada de solo para produção de cerâmicos.

#### 6.4. Índice de Degradação das Terras Semiáridas (IDTS)

A degradação das terras está relacionada à perda da resiliência em termos de produção e sustentabilidade e à ameaça a todos os seres vivos que povoam o planeta.

A modelagem para a determinação das classes de degradação das terras no município de Sumé-PB, partiu do pressuposto de que quanto menor for o porte e mais rala a densidade da vegetação e quanto maior for a declividade e a erodibilidade dos solos de uma área, maior a probabilidade desta área se encontrar degradada, ignorando o fator tempo.

Após a eliminação da vegetação é que se inicia efetivamente o processo de degradação das terras; desta forma, quanto mais tempo perdurarem essas condições ambientais críticas, maior será o grau de degradação.

O mapa verificado na Figura 31 apresenta a distribuição das classes de risco de degradação de cobertura do solo do município de Sumé-PB.

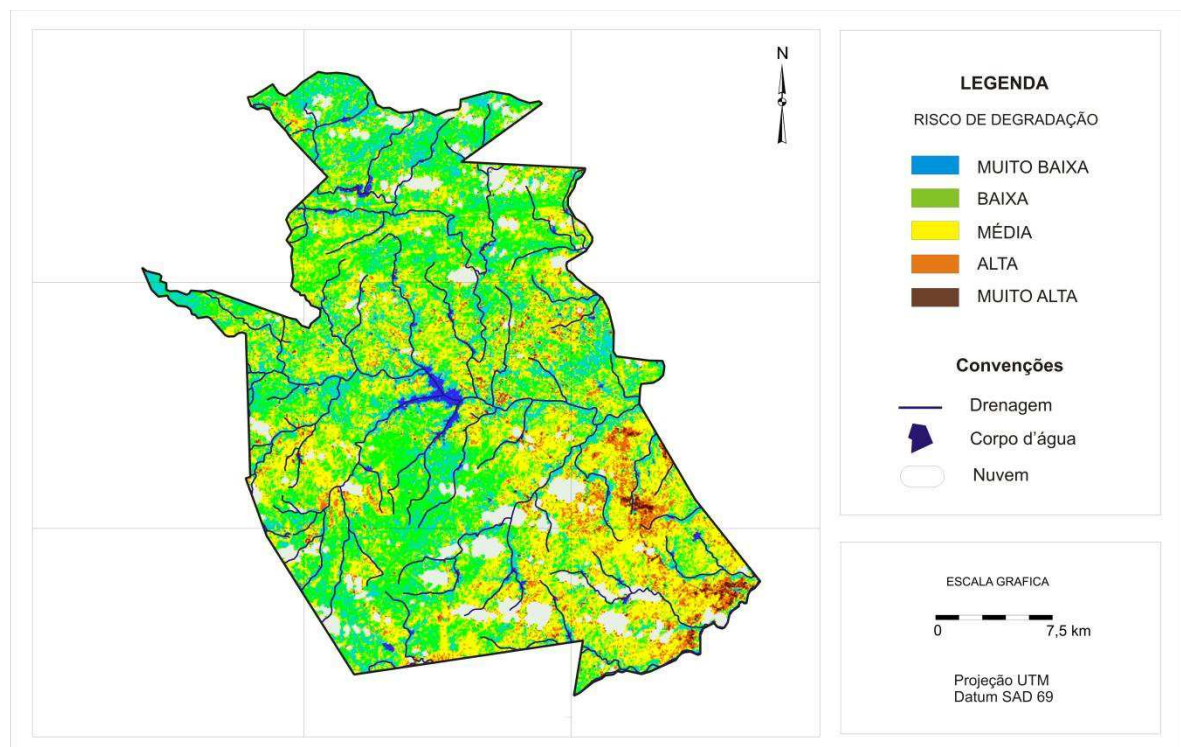


Figura 31. Mapa de risco de degradação de cobertura do solo de Sumé-PB.

Tabela 13. Áreas de abrangência para classes de risco ao processo de degradação de cobertura do solo.

Classes	Cobertura do solo	
	(km <sup>2</sup> )	%
Muito Baixa	146,09	17,4
Baixa	261,54	31,2
Média	304,11	36,3
Alta	44,54	5,3
Muito Alta	8,64	1,0
Corpos d'água	8,56	1,0
Nuvem	65,12	7,8
<b>TOTAL</b>	<b>838,6</b>	<b>100</b>

Pelos dados apresentados na Tabela 13 é possível observar que a área da classe de risco de degradação de cobertura do solo MUITO ALTA abrange 8,64km<sup>2</sup>; a classe ALTA de risco é de 44,54km<sup>2</sup> perfazendo, ambas, o total de 6,3% da área.

Verifica-se que as classes MUITO ALTA e ALTA ocupam, em grande parte, a região do terço inferior sudeste sendo passível de se observar que nesta região ocorre a distribuição da vegetação Subarbutiva rala a aberta (Figura 14); além do mais ocorrem nas proximidades das linhas de drenagem e estão inseridas em altitudes entre 400 a 500m (Figura 5), em declividades variando entre Nula a Ligeira (0 a 6%), sob os solos Vertissolos.

São solos muito cultivados com a agricultura de subsistência em decorrência de sua proximidade das principais linhas de drenagem do município, margeando o rio Sucuru e em decorrência de receberem um pouco de umidade proveniente da zona úmida vindo à leste; o cultivo desses solos pode ser intensificado racionalmente e sua produtividade aumentada, caso haja um controle da erosão em vista de que são solos rasos e muito susceptíveis à degradação.

As áreas da classe de risco ao processo de degradação de cobertura do solo MÉDIA e BAIXA, abrangem 304,11km<sup>2</sup> e 261,54km<sup>2</sup>, respectivamente, e estão distribuídas por toda a área (Tabela 13); devido à sua maior proteção do solo pela vegetação, denotam um ambiente menos propenso à degradação das terras.

Essas classes recobrem 67,5% de toda a área de estudo e se apresentam em solos Luvisolos Crômicos e Neossolos Litólicos e em altitudes que vão desde 500 a 700m.

A área da classe de risco ao processo de degradação de cobertura do solo, MUITO BAIXA, é de 146,09 km<sup>2</sup>.

Esta classe (Figura 31) contígua às linhas de drenagem e no entorno dos reservatórios de água. Por se tratar de um ambiente mais úmido, ou melhor, áreas que apresentam umidade maior durante boa parte do ano, há a presença de vegetação mais densa garantindo uma cobertura melhor do solo e menor propensão à degradação.

Apesar do ajuste radiométrico para melhor definir os parâmetros, foi possível observar uma parcela considerável de nuvens na imagem com abrangência de 7,8% da área total; no entanto, pode-se inferir que este fato não corroborou em falhas no processo de classificação da imagem, pois os dados levantados a campo confirmaram a veracidade digital classificada.

O mapa verificado na Figura 32 apresenta a distribuição das classes de risco de degradação da declividade do município de Sumé-PB.

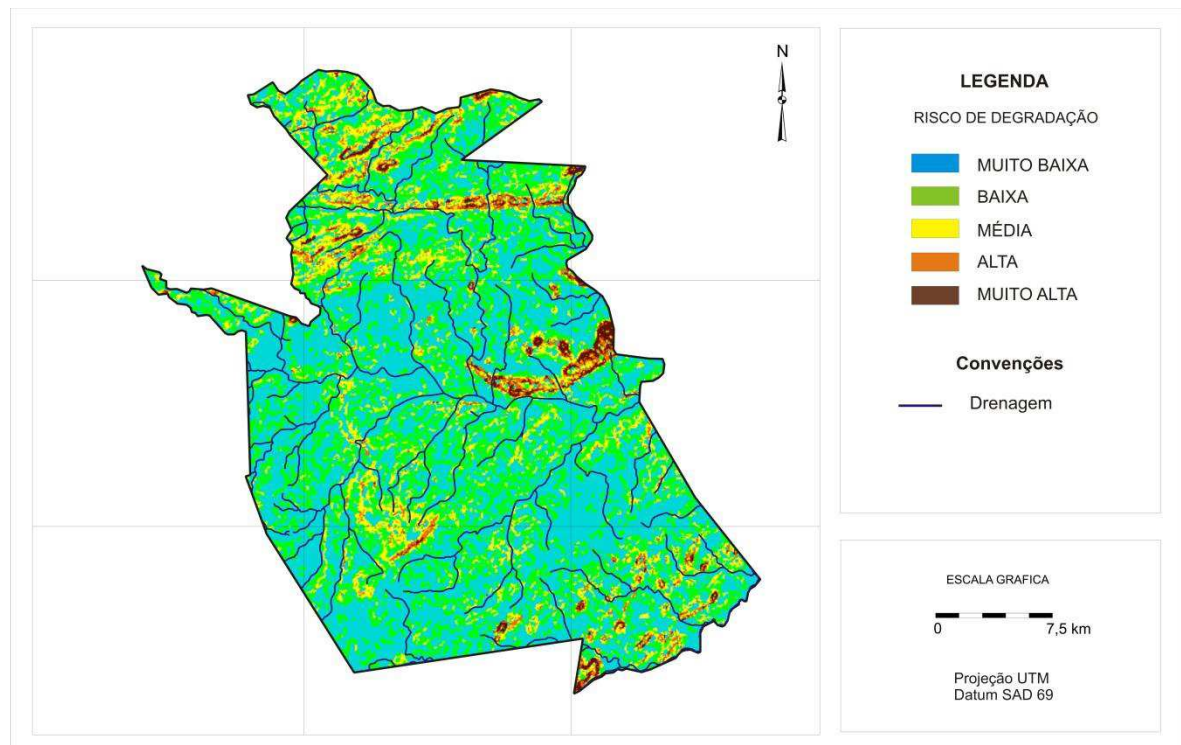


Figura 32. Mapa de classes de risco da relação declividade *versus* degradação.

Tabela 14. Áreas de abrangência para classes de risco da relação declividade *versus* degradação.

Classes	Declividade	
	(km <sup>2</sup> )	%
Muito Baixa	439,55	52,4
Baixa	254,59	30,4
Média	104,36	12,4
Alta	26,53	3,2
Muito Alta	13,57	1,6
Corpos d'água	-	-
Nuvem	-	-
Total	838,6	100

Pelas informações apresentadas na Figura 32 e conjugadas com os dados da Tabela 14, observa-se que 439,55 km<sup>2</sup> das terras apresentam relevo plano, ou seja, estão na classe de risco MUITO BAIXA, 0 a 3% de declividade. Somando-se a classe de risco BAIXA, 3 a 6% de declividade, a área chega a 694,14 km<sup>2</sup>.

Pelo exposto, pode-se afirmar que as terras da área em estudo são predominantemente planas à suave onduladas, com declividades inferiores a 6%. Francisco (2013) encontrou, estudando área da bacia hidrográfica do rio Taperoá, vizinha a área de estudo, resultado similar. Esses fatos são corroborados por Alencar (2008), ao estudar a bacia do rio Sucuru, no cariri paraibano.

Observa-se que a distribuição das áreas mais planas, da classe de risco MUITO BAIXA e BAIXA de declividade, está associada predominantemente, aos solos Luvisolos e Vertissolos (Figura 6).

As áreas mais declivosas, correspondentes às classes de declividade ALTA e MUITO ALTA, estão relacionadas aos solos Neossolos Litólicos (Figura 6); a classe ALTA, normalmente ocorrendo associada à classe MUITO ALTA, ocupa uma área de 26,53 km<sup>2</sup> e a classe de declividade MUITO ALTA, que representa áreas com declividades superiores a 20%, ocupa 13,57km<sup>2</sup>.

A classe MÉDIA de declive, com terras entre 6% e 12% de declividade com uma área de 104,36 km<sup>2</sup>, por suas características pedológicas, representa áreas com forte restrição ao uso agrícola requerendo o uso intensivo de práticas conservacionistas.

Essas terras ocorrem de forma difusa, em toda a área; no terço sudeste da imagem estão fortemente associadas aos Luvisolos Crômicos e no terço norte/noroeste, aos

Neossolos Litólicos, resultado similar ao encontrado por Francisco (2013), em área contígua.

Alguns solos sofrem mais erosão que outros, mesmo em condições idênticas de declividade, chuva, cobertura vegetal e práticas de manejo. Esta diferença é devido à natureza do próprio solo, denominada erodibilidade, também conhecida como vulnerabilidade ou suscetibilidade a erosão (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1990).

A erodibilidade do solo é considerada a mais importante variável na predição da erosão e no planejamento do uso do solo; representa sua susceptibilidade a erosão, podendo ser definida como a quantidade de material que é removida por unidade de área quando os demais fatores determinantes da erosão permanecem constantes.

O potencial natural de erosão laminar é composto por fatores pluviométricos (erosividade das chuvas), fatores pedológicos (erodibilidade dos solos) e por fatores topográficos (comprimento de rampa e declive) e do potencial antrópico composto pela interação entre as variáveis quanto ao uso e ao manejo do solo, aliados às práticas conservacionistas praticadas (VALLE JUNIOR, 2008).

O mapa verificado na Figura 33 apresenta a distribuição das classes de risco de degradação em decorrência da erodibilidade do município de Sumé-PB.

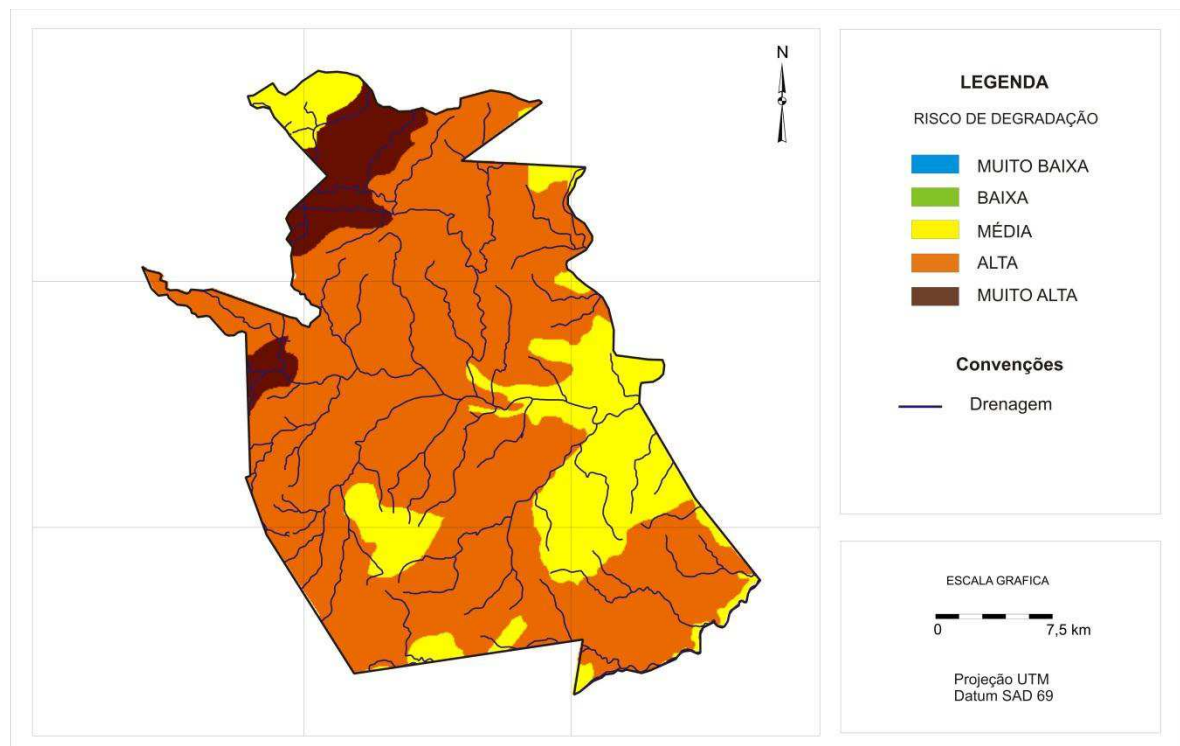


Figura 33. Mapa de classes de risco de degradação *versus* erodibilidade.

Tabela 15. Áreas de abrangência para classes de risco da relação erodibilidade *versus* degradação.

Classes	Erodibilidade	
	(km <sup>2</sup> )	%
Muito Baixa	-	-
Baixa	-	-
Média	168,91	20,1
Alta	614,72	73,3
Muito Alta	54,97	6,6
Corpos d'água	-	-
Nuvem	-	-
<b>Total</b>	<b>838,6</b>	<b>100</b>

Pelos dados apresentados na Tabela 15, conjugados com a Figura 33, pode-se observar que a classe de Erodibilidade ALTA, que apresentou maior abrangência, ocupa uma área de 614,72 km<sup>2</sup> e as quais são, predominantemente, ocupados pelos Neossolos Litólicos e os Luvisolos Crômicos (Figura 6); sua ocorrência é, em geral, uniforme em toda a região de estudo e em classe de declividade ligeira (3 – 6%) demonstrando uma relação inversa entre declividade e erodibilidade.

A classe de erodibilidade MUITA ALTA (Figura 33) está associada ao solo Luvisolo Crômico, com ocorrência principal a noroeste da área, abrangendo 6,6% do ambiente estudado; está associada também, a elevadas altitudes regionais, de 500 a 700m, e a declividades de moderado a muito forte (6 a 40%).

A classe de erodibilidade MÉDIA, com a segunda maior representação em área, 168,91 km<sup>2</sup>, apresenta a maior diversidade de classes de solos representados pelos Vertissolos Cromados, Luvisolos Crômicos e Neossolos Litólicos, e em declividades, na sua grande maioria, nula a ligeira.

Para as classes de erodibilidade BAIXA e MUITO BAIXA não houve representantes (Figura 33 e Tabela 15).

Como uma síntese da interação de cada um dos fatores determinantes do risco de degradação das terras, a Figura 34 representa a espacialização das classes de degradação das terras do município de Sumé-PB.

Apesar das limitações relativas aos métodos e procedimentos da determinação e obtenção dos dados – a exemplo da baixa discriminação dos diferentes tipos de uso e cobertura vegetal, a representatividade das amostras e a precisão das determinações da erodibilidade dos solos, a variável tempo e, em menor grau, a precisão da determinação da declividade – admite-se, mesmo assim, que os resultados obtidos são satisfatórios.



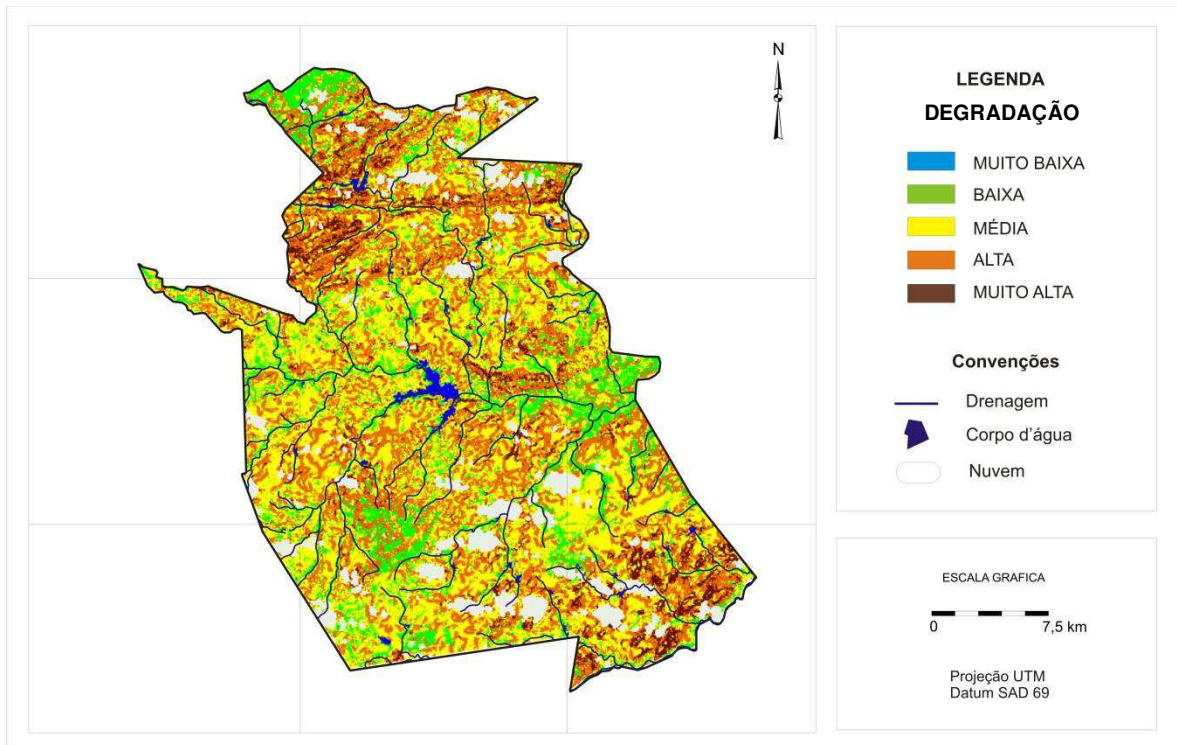


Figura 34. Mapa dos níveis de degradação das terras, município de Sumé-PB.

Tabela 16. Áreas de abrangência para os níveis de degradação das terras.

Classes	Degradação	
	(km <sup>2</sup> )	%
Muito Baixa	-	-
Baixa	117,4	14,0
Média	331,99	39,6
Alta	265,4	31,6
Muito Alta	50,13	6,0
Corpos d'água	8,56	1,0
Nuvem	65,12	7,8
<b>Total</b>	<b>838,6</b>	<b>100,0</b>

Com base nos dados da Tabela 16 e conforme se observa na Figura 34, 39,6% das terras da área de estudo, área de 331,99km<sup>2</sup>, se apresentam na classe MÉDIA de degradação, a qual se encontra distribuída de forma difusa, por toda a região de estudo, em altitudes variando de 400 a 500m (Figura 5) e em declividades entre as classes nula a ligeira (Figura 6). Considerando a área de abrangência das classes de risco de degradação das terras e, dentre os fatores estudados, a cobertura do solo foi o fator que mais contribuiu na determinação dessa classe de degradação.

A erodibilidade é, também, fator determinante para a classe de degradação ALTA, que apresenta área de 265,4km<sup>2</sup>; os altos riscos à erosão estão relacionados à erodibilidade alta dos Luvisolos Crômicos e a algumas unidades de Neossolos Litólicos (solos friáveis); em seguida, vêm as grandes extensões das classes de vegetação de porte subarbustivo e arbustivo, com densidade rala e muito rala, contribuindo para a classe ALTA de degradação e também como principal fator contribuinte da classe MUITO ALTA de degradação (50,13km<sup>2</sup>).

Os solos friáveis da região, mais propensos à erosão, se apresentam como principais fatores contribuintes das classes de degradação ALTA e MUITO ALTA; esses tipos de solo costumam ser sujeitos à maior erosão, após serem retiradas sua cobertura vegetal e/ou florestal (Figura 35). A classe de degradação MUITO ALTA ocorre, em grande parte, nos terços superior e inferior da área.



Figura 35. Imagem representando nível de degradação das terras Muito alto.

Além da predominância da classe de degradação das terras MÉDIA, observa-se que a classe de degradação ALTA se distribui em tamanho de área, relativamente próximo (Tabela 16).

Para a classe de degradação BAIXA (117,4km<sup>2</sup>) os principais fatores contribuintes foram a cobertura do solo e a baixa declividade, na sua quase totalidade de área delimitada por esta classificação; não obstante, percebe-se que a cobertura vegetal também ajuda a amenizar as condições de risco de erosão nas áreas mais declivosas; por sua vez, ocorre nas áreas protegidas pela vegetação mais densa, em grande parte das terras do terço médio próximo às linhas de drenagem regional (Figura 36).



Figura 36. Imagem representando nível de degradação Baixa das terras.

Para a classe de degradação MUITO BAIXA e pela metodologia utilizada, não houve combinações algébricas para sua classificação no mapeamento.

De modo geral e através da programação LEGAL, foi possível entender melhor e apresentar a relação existente entre a cobertura do solo/declividade do terreno/erodibilidade do solo e a degradação das terras, no município de Sumé-PB.

### **6.5. Índice de Biomassa da Vegetação Lenhosa (IBVL)**

Na metodologia adotada o Índice de Biomassa da Vegetação Lenhosa (IBVL) é determinado a partir da descrição da vegetação, em termos de porte e densidade de recobrimento do terreno.

Adotou-se, como volume de referência, a estimativa apresentada por Francelino *et al.* (2003), relativa à produtividade de uma área de Caatinga preservada, descrita como Caatinga fechada do tipo florestal 4, com alto valor de recobrimento do solo e com presença de sub-bosques, apresentando um volume médio de madeira de  $108\text{m}^3\text{ha}^{-1}$ .

Multiplicando o volume de referência de  $108\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$  pelo valor médio do IBVL de cada classe de vegetação, obteve-se o rendimento médio por hectare de biomassa para cada classe de vegetação.

Na Tabela 17 são apresentados os dados para estimativa da degradação da vegetação do município de Sumé-PB; lá se encontram as classes de mapeamento da vegetação e cobertura da terra com suas respectivas áreas de abrangência, valor de referência e das frações de degradação da biomassa, com os quais se procedeu aos cálculos da estimativa da degradação.

Tabela 17. Dados da estimativa do volume da biomassa lenhosa.

Classes	Volume Referênci a (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	IBVL médio	Área (ha 10 <sup>2</sup> )	Volume de Biomassa	
				(m <sup>3</sup> 10 <sup>3</sup> )	(%)
Arbórea Subarbórea densa	108	0,60	145,1	94,02	25,41
Subarbórea Arbustiva densa	108	0,55	259,8	154,32	41,71
Arbustiva Subarbórea densa	108	0,40	195,6	84,50	22,84
Arbustiva Subarbustiva aberta	108	0,25	115,8	31,27	8,46
Subarbustiva Arbustiva rala	108	0,15	25,0	4,05	1,09
Subarbustiva Arbustiva muito rala	108	0,075	22,3	1,81	0,49
Solo exposto	-	-	8,9	-	-
Valores totais cobertura vegetal		-	772,5	369,97	100
Corpos d'água		-	8,7	-	-
Nuvens		-	57,4	-	-
Área Total			838,6		

Fonte: Adaptado de Francisco *et al.* (2013).

Os rendimentos médios por hectare de biomassa para cada classe de vegetação foram os seguintes:

- Arbórea Subarbórea densa: 64,8m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>
- Subarbórea Arbustiva densa: 59,4m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>
- Arbustiva Subarbórea densa: 43,2m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>
- Arbustiva Subarbustiva aberta: 27,0m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>
- Subarbustiva Arbustiva rala: 16,2m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>
- Subarbustiva Arbustiva muito rala: 8,1m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>

De acordo com os dados da Tabela 14 verificou-se para o presente estudo que, o rendimento médio de madeira por hectare variou de 8,1 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>, para a classe Subarbustiva arbustiva muito rala, a 64,8 m<sup>3</sup>h<sup>-1</sup>, para a classe Arbórea subarbórea densa.

Para uma vegetação classificada Subarbórea Arbustiva densa, foi encontrado um rendimento médio de 59,4m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>, fato corroborado por Francelino *et al.* (2003), trabalhando em áreas de assentamento do INCRA, no Rio Grande do Norte, que encontraram rendimentos de madeira em valor de 52,6 m<sup>3</sup>. ha<sup>-1</sup> para áreas de vegetação descritas como Arbustivo-arbóreo fechado, com características vegetacionais muito similares às do presente estudo.

Francelino *et al.* (2003) encontraram o valor de 23,1m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup> para uma vegetação classificada Arbustivo-arbóreo aberto, valor muito aproximado ao encontrado no presente estudo, para uma vegetação classificada Arbustiva Subarbustiva aberta, que foi de 27,0m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>.

Já Francisco (2013) encontrou, trabalhando na bacia do rio Taperoá, com classes de vegetação idênticas às do presente estudo, valores de rendimento de madeira que variaram entre  $8,1 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  e  $70,2 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ .

Costa *et al.* (2002) obtiveram, avaliando a biomassa da Caatinga do sertão do Seridó, no Rio Grande do Norte, biomassa variando desde  $2 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  a  $48 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , de parcelas descritas como Caatinga aberta, com malva e capim Panasco, e Caatinga arbórea secundária densa, respectivamente.

Silva *et al.* (2008) observaram, trabalhando em áreas de assentamento no Estado de Pernambuco, embora não descreva o tipo de vegetação, um valor médio de produção de madeira de  $31,2 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  e valor máximo de  $57,8 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ .

Embora as metodologias de descrição e avaliação sejam diferentes, e a diversidade e predominância das espécies, além do estado de maturação e conservação da vegetação, os dados encontrados neste trabalho para estimativa da biomassa da vegetação de Caatinga são compatíveis com os valores da literatura.

Observa-se, na Tabela 17, que da área total do município foram descontadas as áreas relativas a corpos d'água e cobertura de nuvem, para o cálculo da área útil. Considerando-se a condição hipotética de máxima preservação para um volume de referência de  $108 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  de madeira, aqui considerada sinônimo de biomassa lenhosa, o volume total hipotético de madeira do município seria de  $83.430 \text{ m}^3$ , ou seja, em termos de metros lineares de lenha empilhada seria o total de 283.662 metros ( $1 \text{ m}^3$  de madeira = 3,4 estéreis, metro cúbico de lenha empilhada). Enfim, o volume da biomassa da vegetação lenhosa do município foi estimado em  $369.970 \text{ m}^3$  (Tabela 17).

As áreas das classes Arbustiva subarbustiva aberta, Subarbustiva arbustiva rala e Subarbustiva arbustiva muito rala, perfazem o total de  $37.130 \text{ m}^3$ , representando 10,03% dos valores totais de biomassa encontrado. Segundo Paes-Silva *et al.* (2003) este resultado é muito significativo, visto que as classes de baixo índice de biomassa indicam que boa parte da superfície do solo está exposta ao impacto das chuvas e susceptível ao processo de erosão.

Francisco *et al.* (2013) observaram, em suas considerações para um estudo em região de condições análogas, que a forma de utilização atual vem causando degradações fortes e, por vezes, desencadeia mudanças no ambiente com um índice elevado de degradação, expondo o solo aos agentes intempéricos, acarretando processos erosivos que vão degradar os solos; este fato também pode ser verificado no presente estudo, tal como se observa na Figura 37.



Figura 37. Imagem demonstrando processos erosivos na região.

As classes de vegetação que detêm um índice de biomassa maior, representaram  $332.840\text{m}^3$ ; fato importante, de vez que garantem um recobrimento maior do solo, evitando a degradação as terras.

Conforme Francisco *et al.* (2013), a escolha da metodologia de descrição da vegetação de caatinga utilizando o IBVL, juntamente com a descrição no campo de pontos observacionais, forma o conjunto de técnicas de uso simples e suficientemente capaz de auxiliar o processo de entendimento e a análise temática, de grande confiabilidade.

Trabalhando com imagem orbital de média resolução espacial, observou-se que através do IBVL e da classificação utilizando o IVDN, que essas são técnicas satisfatórias para a separação das fisionomias vegetacionais existentes na área estudada; resultado similar foi observado no estudo de Francisco *et al.* (2012), trabalhando em área do cariri paraibano.

## 6.6. Índice de Degradação da Vegetação Lenhosa

A estimativa da degradação da vegetação lenhosa, embora assumindo suas limitações, quais sejam, o grau de imprecisão das estimativas das classes de vegetação e a impossibilidade de discriminação dos diferentes tipos de uso da terra pela facilidade para obtenção da informação, pode ser considerada parâmetro quantitativo importante para medir o grau de intervenção humana e o estado de conservação ambiental. Por não separar outros tipo de uso da terra, esta metodologia considera toda a área como passível de recomposição vegetal e, portanto, desconsidera toda e qualquer forma de ocupação humana (Francisco, 2013).

Na Tabela 18 se observam os valores em área de ocupação das classes de degradação obtidas pelo cálculo do índice de degradação da vegetação lenhosa.

Tabela 18. Dados e estimativa da degradação da vegetação lenhosa.

Classes	Volume Referência (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	Fração de Degradação (1-IBVL)	Volume Degrado (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	Área (ha) x 10 <sup>2</sup>	Volume Biomassa (m <sup>3</sup> 10 <sup>3</sup> )
Arbórea Subarbórea densa	108	0,40	43,2	145,1	626,83
Subarbórea Arbustiva densa	108	0,55	59,4	259,8	1.543,21
Arbustiva Subarbórea densa	108	0,60	64,8	195,6	1.267,48
Arbustiva Subarbustiva aberta	108	0,75	81,0	115,8	937,98
Subarbustiva Arbustiva rala	108	0,85	91,8	25,0	229,50
Subarbustiva Arbustiva muito rala	108	0,92	99,36	22,3	221,57
Solo exposto	108	1,00	108,0	8,9	96,12
Corpo d'água	-	-	-	-	-
Nuvem	-	-	-	-	-
Área útil e volume de biomassa	-	-	-	838,6	4.922,69
Máximo de biomassa	108	-	-	-	9.056,88
Índice de Degradação	-	-	-	-	45,65%

Adaptado de Francisco *et al.* (2013).

Pelos resultados obtidos para um índice de biomassa da vegetação de maior porte com IBVL igual a 1, o valor seria de 9.056.880m<sup>3</sup> para a área em estudo; o valor de volume encontrado representa 54,35% do volume ideal proposto por Chaves *et al.* (2008).

Calculadas as frações de degradação de cada classe de vegetação em relação à condição de máxima preservação, coluna 3 (Tabela 18), se estimam pelo produto das áreas ocupadas por cada classe de vegetação, os totais de biomassa degradada de cada classe de vegetação e pela soma dos totais de cada classe, a biomassa degradada total da área, que foi de 4.922,69 m<sup>3</sup>; estabelecendo a razão comparativa entre o volume total de biomassa degradada em relação ao volume hipotético total de biomassa da área expresso em porcentagem, obteve-se o índice de degradação de biomassa da vegetação lenhosa de 45,65%.

Francisco *et al.* (2013) constataram, estudando à bacia do rio Taperoá, que os valores de volume encontrados para toda a bacia representaram apenas 38,02% do volume ideal, sinalizando que 61,98% da área útil da bacia estão em processo de perda de biomassa. De acordo com os dados do autor, verifica-se que a área do município de Sumé-PB apresenta um volume maior de biomassa em comparação com a bacia do Taperoá, com características ambientais análogas.

Trabalhando na bacia hidrográfica do açude de Soledade, em áreas de características muito parecidas com as do atual estudo, Guimarães (2009) chegou a um índice de degradação de 72%, utilizando metodologia semelhante à deste trabalho.

Para a classe Subarbórea Arbustiva densa, obteve-se o maior valor de volume de biomassa (1.543,21m<sup>3</sup>); somando a esta classe os valores da classe Arbórea Subarbórea densa (626,83 m<sup>3</sup>), que são as duas classes com índice de cobertura vegetal maiores,

perfaz-se o total de 44,08%, neste caso, próximo ao ideal de conservação da vegetação da área de estudo.

Segundo Francisco (2013) e apesar de todas as limitações impostas por esta metodologia e devido à sua praticidade e economia, o índice de degradação da vegetação dela decorrente pode servir de parâmetro quantitativo para representar o grau de intervenção das atividades humanas e degradação das terras.



## 7. CONCLUSÕES

O mapeamento para as classes de vegetação indicou que é na porção média sudeste da região em estudo que se concentra o maior percentual de áreas com vegetação de maior porte e densidade.

Os valores das diferentes classes de vegetação no período compreendido entre os anos de 1987 e 2009 indicam que ocorreram acréscimos nas áreas de abrangência das classes Arbórea subarbórea densa, Subarbórea densa e classe Arbustiva subarbórea densa, denotando aumentos significativos nas porções de classes de uso da terra que possibilitam uma cobertura mais acentuada do solo evitando, desta forma, erosão.

O mapa de detecção de mudança da área indicou que a classe Recuperação com 596km<sup>2</sup> foi a que apresentou o maior valor e ocorre, em sua maioria, distribuída em quase todo o município devido ao abandono agrícola; essas terras são representadas pelos Luvisolos vértico e Neossolos Litólicos.

O índice de degradação das terras evidenciou que as áreas da classe de risco Muito Alta e Alta perfazem 37,6% da área total; ambas estão localizadas, na sua maioria, na região do terço inferior sudeste da região em estudo; já as áreas da classe de risco Média e Baixa correspondem a 53,6% da área e a classe de risco Muito Baixa não foi evidenciada.

Considerando a área de abrangência das classes de risco à degradação das terras, ressalta-se que a cobertura do solo foi o fator que mais contribuiu na determinação desta classe de degradação.

Pelo exposto, pode-se afirmar que as terras da área em estudo são predominantemente planas a suave onduladas, com declividades inferiores a 6%.

O volume da biomassa da vegetação lenhosa do município foi estimado em 369.970m<sup>3</sup>.

Observa-se, com base nos resultados obtidos, que o valor para a área em estudo, com vista a um índice de biomassa da vegetação de maior porte com IBVL igual a 1, foi de 9.056.880 m<sup>3</sup>; estabelecendo a razão comparativa entre o volume total de biomassa degradada em relação ao volume hipotético total de biomassa da área expresso em porcentagem foi possível observar que o índice de degradação de biomassa da vegetação lenhosa (IDVL) foi de 45,64%.

## 8. RECOMENDAÇÕES

Visando ao aprimoramento deste tipo de trabalho, recomenda-se que se melhorem os seguintes procedimentos:

- Procurar e utilizar técnicas de realce e correções que possibilitem discriminar melhor os diferentes tipos e cobertura vegetacionais quando se trabalha com imagens de resolução média;
- Com a possibilidade de utilizar imagens de alta resolução, melhorar a discriminação dos dados para a classificação da degradação das terras;
- Auxiliado pelas informações de relevo das imagens SRTM, ampliar a base de dados de solos individualizando unidades de mapeamento em escala compatível com o mapa final da proposta de trabalho;
- Aprimorar a determinação de dados de degradação das terras levando em consideração os fatores tempo e antropização;
- Adotar um manejo adequado dos recursos naturais com a preocupação de recuperação das áreas degradadas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SABER, A. N. Sertões e sertanejos: uma geografia humana sofrida. **Estudos Avançados**. São Paulo: vol. 13, n° 36, maio-agosto de 1999. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ea/v13n36/v13n36a02.pdf>>. Acesso em: 10/03/2014.

AESA. CERH - PB. Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba. Governo da Paraíba. **Proposta de instituição do comitê das bacias hidrográficas do litoral sul**. Resolução N.o 1, de 31 de agosto de 2003. Ano de publicação: 2004. Disponível em: <[www.aesa.pb.gov.br/comites/litoral\\_sul/proposta.doc](http://www.aesa.pb.gov.br/comites/litoral_sul/proposta.doc)> Acesso em: 24/06/2012.

AESA. Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. Disponível em: <<http://www.aesa.pb.gov.br>>. Acesso em: 25/05/2011.

AESA. Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. 2012. Disponível em: <<http://www.aesa.pb.gov.br/geoprocessamento/geoportal/shapes.html>>. Acesso em: 20/02/2012.

ALENCAR, M. L. S. de. **El Niño de 1997/1998: Sistemas Hídricos, degradação ambiental e vulnerabilidades socioeconômica no Cariri Paraibano**. 2004. 170p. il. Dissertação (Mestrado em engenharia agrícola). Departamento de Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2004.

ALENCAR, M. L. S. de. **Os sistemas hídricos do bioma caatinga e o social na bacia do rio Sucuru: riscos e vulnerabilidades**. 2008, 157f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Centro de Tecnológicas e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande - PB, 2008.

ALLEN, R.; BASTIAANSSEN, W.; WATERS, R.; TASUMI, M.; TREZZA, R. **Surface energy balance algorithms for land (SEBAL)**. Idaho implementation – Advanced Training and User's Manual, 97p. 2002.

ALVES, J. M. B. Características intra-sazonais para precipitação no Estado do Ceará em anos de contrastes climatológicos. In: **Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**, 11., 1999, Florianópolis. Anais... Florianópolis: SBA, 1999.

ALVES, J. J. A.; SOUZA, E. N. D. de; NASCIMENTO, S. S. do. Núcleos de desertificação no estado da Paraíba. **Revista RAÍÇA**, Curitiba: Editora UFPR, n. 17, p. 139-152, 2009.

AMORIM, S. G. de. Notas para uma visão política sobre as atividades de sensoriamento remoto: algumas implicações antropológicas e filosóficas da construção, interpretação e representações do espaço em termos de territórios digitais. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 13, 2007, Santa Catarina. Anais...Florianópolis: INPE, p.1393-1399.

ANYAMBA, A.; TUCKER, C. J. Analysis of Sahelian vegetation dynamics using NOAA-VHRR NDVI data from 1981–2003. **Journal of Arid Environments**. Vol. 63, p.596–614, 2005.

ARAÚJO, L. E. de; MORAES NETO, J. M. de; SALVIANO DE SOUSA, F. A. Classificação da precipitação anual e da quadra chuvosa da bacia do rio Paraíba utilizando índice de Anomalia de Chuva (IAC). **Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 4, n. 3, p. 93-110, 2009.

ARAÚJO, I. R. D.; PEREIRA DA SILVA, H.; SILVA LOPES, A. da; ALENCAR, B. P. B. de; BEZERRA DA SILVA, H. D. Cálculo de IVDN no suporte ao estudo de desertificação no município de Orocó-PE. **Anais: III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**. Recife-PE, 27 a 30 de julho de 2010, p 01-06.

AVERY, T. Y.; BERLIN, G. L. **Interpretation of Aerial Photographs**. 4. ed. Mineapolis – Minnesota: Burgess Publishing Company, 1985, 554 p.

AZAMBUJA MADRUGA, P. R. de. Uso de geoprocessamento no inventário florestal do Rio Grande do Sul: uma abordagem crítica. In: **Aplicações de Geotecnologias na Engenharia Florestal**. Curitiba, PR: Copiadora Gabardo Ltda., 2004.

BAMBA, P.; DELL'ACQUA, F.; HOUSHMAND, B. SRTM Data characterization in urban areas. 2002. Disponível em: <<http://www.isprs.org/proceedings/xxxiv/part3/papers/paper018.pdf>>. Acesso em: 23/05/2013.

BAI, Z. G. ; DENT, D. L.; OLSSON, L.; SCHAEPMAN, M. E. **Global assessment of land degradation and improvement**. 1. Identification by remote sensing, ISRIC – World Soil Information, Wageningen. 78p. 2008.

BARBOSA, M. P.; SANTOS, M. J. dos. SIG e os desastres naturais. Uma experiência na região de Sumé, Estado da Paraíba, Brasil. In: Maskrey, A. (ed.). **Navegando entre brumas** – la aplicación de los Sistemas de Información Geográfica al análisis de riesgo en América Latina. Lima: LA RED/ITDG, 2002. cap. 13, p. 127-344.

BARBOSA, M. P., PEREIRA, D. D., ARAUJO, A. E. **Programa de ação estadual de combate à desertificação e mitigação dos efeitos da seca** – *Termo de Referência*, UFCG, Campina Grande, 20p, 2005.

BARBOSA, M. R. V.; LIMA, I. B. de; LIMA, J. R.; CUNHA, J. P. da; AGRA, M. de F.; THOMAS, W. W. **Vegetação e flora no Cariri paraibano**. O ecol. Bras. v.11, n.3, p.313-322, 2007 (a).

BARBOSA, M. P.; MORAES NETO, J. M. de.; FERNANDES, M. de; SILVA, M. J. da. Estudo da degradação das terras - município de Picos – PI. In: **XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis-SC. INPE, p.4357-4363, 2007 (b).

BASTIAANSEN, W. G. M. **Regionalization of surface flux densities and moisture indicators in composite terrain**. A Remote Sensing Approach Under Clear Skies in Mediterranean Climates, Tese, Wageningen Agricultural University, The Netherlands, 273. 1995.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 3º ed. São Paulo: Ícone, 1990. 355 p.

BOLFE, E. L.; PEREIRA, R. S.; MADRUGA, P. R.; FONSECA, E. L. Precisão da classificação digital de povoamentos florestais em imagens de satélite. In: **XXXI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**. Salvador – BA: 29 de julho a 02 de agosto de 2002. (CD ROM)

BRASIL, M.A./EPE-SUDENE/DRM. **Levantamento exploratório**: reconhecimento de solos do Estado da Paraíba. M.A./CONTAP.USAID/BRASIL, Rio de Janeiro, 1972.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos. **Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca – PAN-Brasil**. Brasília-DF, 2005, 213p.

CALHEIROS, S. **Turismo versus Agricultura no Litoral Meridional Alagoano**. Rio de Janeiro, 2000. Tese (Doutorado em Geoprocessamento). LAGEOP – Laboratório de Geoprocessamento Aplicado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2000.

CÂMARA, G. **Modelos, linguagens e arquiteturas para banco de dados geográficos**. 1995. 286 f. Tese (Doutorado em Computação Aplicada) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

CAMARA, G.; Souza, R. C. M.; Garrido, J. SPRING: integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. *Computer e Graphics*, v.20 n.3, p395-403, 1996.

CÂMARA, G; MEDEIROS, C. B; CASANOVA, M. A; HEMERLY, A. MAGALHÃES, G. (c) **Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica**. Escola de Computação. SBC, 1996.

CÂMARA, G e MEDEIROS, J. S. de. Princípios básicos em geoprocessamento. In: ASSAD, Eduardo Delgado e SANO, Edson Eyji. (eds.). **Sistema de informações geográficas**. Aplicações na agricultura. 2. ed. Brasília: Embrapa-SPI/Embrapa-CPAC, 1998. p. 3-11.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V.; MEDEIROS, J. S. de. Representações computacionais do espaço: um diálogo entre a geografia e a ciência da geoinformação.

2000. São José dos Campos, SP: DPI/INPE. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/papers/epistemologia.pdf>>. Acesso em: 15/01/2014.

CAMPELLO, M. G. B. **Desertificação, governança e sustentabilidade**. 2016. Dissertação de Mestrado em Políticas Públicas e Processo, Faculdade de Direito de Campos/Programa de Mestrado em Direito. Julho de 2006, 191p.

CAMPOS, S.; SILVA, M.; PIROLI, E. L.; CARDOSO, L. G.; BARROS, Z. X. Evolução do uso da terra entre 1996 e 1999 no município de Botucatu – SP. In: **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal – SP: v. 24, n. 1, p. 211-218, jan. a abr., 2004.

CARVALHO, V. C. **Structure et dynamique de la vegetation de milio tropical semiaride. La Caatinga de Quixabá (Pernambouc, Brésil) du terrain a l'analyse des données MSS/Landsat**. 1986. 332p. (INPE-4049-RPE/524). Tesis (Doctorado em Geografia) - Universidad de Toulouse. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1986.

CARVALHO, E. M.; PINTO, S. A. F.; SEPE, P.M.; ROSSETTI, L. A. F. G. Utilização do geoprocessamento para avaliação de riscos de erosão do solo em uma bacia hidrográfica: estudo de caso da bacia do rio Passa Cinco/SP. In: **III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**. Recife, 2010. p.001-008.

CASTRO, F. da S.; PEZZOPANE, J. R. M.; CECÍLIO, R. A.; XAVIER, A. C.; PEZZOPANE, J. E. M. Uso de imagens de radar SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) na espacialização da temperatura do ar no estado do Espírito Santo. In: **XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 2011, Curitiba-PR. INPE, p.8154-8161.

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.

CHAVES, I. de B.; LOPES, V. L.; FOLLIOTT, P. F.; PAES-SILVA, A. P. Uma classificação morfo-estrutural para descrição e avaliação da biomassa da vegetação da caatinga. **Revista Caatinga**, vol. 21, n. 2, p.204-213, 2008.

CHAVES, I. de B.; GUIMARÃES, A. P.; LIMA, E. R. V. de; FRANCISCO, P. R. M. Índices espectrais e diagnóstico da degradação da caatinga na bacia hidrográfica do açude Soledade, Paraíba-BR. In: **Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e Água**, 19, 2012, Lajes. Anais... Lajes: SBCS, 2012. CD Rom.

CHAVES, I. de B.; FRANCISCO, P. R. M.; LIMA, E. R. V. de; SILVA, B. B. da; BRANDÃO, Z. N.; CHAVES, L. H. G. Índices espectrais, diagnóstico da vegetação e da degradação da caatinga da bacia do rio Taperoá-PB. In: SILVA, B. B. da. **Aplicações ambientais brasileiras de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto**. vol. 1, cap. 2, p. 23-47, 2013.

COGO, N. P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R. A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. **Rev. Bras. Ciênc. Solo** [online], vol.27, n.4, pp. 743-753, 2003.

COSTA, R.S. **Avaliação multiobjetiva de cenários para usos múltiplos nos pequenos açudes da bacia hidrográfica do açude de Sumé-PB**. 2012. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande/CCT. 2012, 176p.

COSTA, T. C. C.; ACCIOLY, L. J. O.; OLIVEIRA, M. A. J.; BURGOS, N.; SILVA, F. H. B. B. Phytomass mapping of the Seridó caatinga vegetation by the plant area and the normalized difference vegetation indices. **Scientia Agrícola**, v.59, n.4, p.707-715, 2002.

COSTA FILHO, J. F. da; FRANCISCO, P. R. M.; ANDRADE, M. V. de; SILVA L. da; DANTAS, R. L. Estimativa do índice de vegetação da diferença normalizada (IVDN) na microrregião de Sousa-PB utilizando imagens do CBERS-2. In: **Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**, 15, 2007, Aracaju. Anais.... Aracaju, 2007. CD Rom.

CREPANI, E.; MEDEIROS J. S. de. Imagens CBERS + Imagens SRTM + Mosaicos GeoCover LANDSAT em ambiente SPRING e TerraView: Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento gratuitos aplicados ao desenvolvimento sustentável. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 12, 2005, Goiânia. Anais...Goiânia: INPE, p.2637-2644.



CROSTA, A. P. **Processamento digital de imagens de Sensoriamento Remoto**. Campinas - SP: IG/UNICAMP, 170 p., 1993.

DANTAS, J. R. A.; CAULA, J. A. L. Estratigrafia e Geotetônica. In: **Mapa Geológico do Estado da Paraíba**. Campina Grande – Paraíba. (Companhia de Desenvolvimento dos Recursos Minerais da Paraíba), 1982.

DREGNE, H.E. Land degradation: assessment and monitoring. In: **International Conference of Task Force on Land Degradation**, 3. (ICTFLD), Timbuctú, Etiópia. Proceeding, Timbuctú: ICTFLD, 1998.

DUARTE, S. M. de A. **O desastre da desertificação no município de Taperoá, estado da Paraíba, Brasil**. Tese de Doutorado em Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande/CCT. 2008, 238p.

DUQUE, Jose Guimarães. **Solo e água no polígono das secas**. 5. ed. Brasília: CNPq; Fundação Guimarães Duque, (Coleção Mossoroense, 142), 1980.

EGLER, C.A.G. Recent Changes in Land use and Land Cover in Brazil. In: Hogan, D.J.; Tolmasquim, M.T. (ed.) **Human dimensions of global environmental change**. Brazilian perspectives. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 2001. cap.7, p. 211-239.

EVANGELISTA, M. A. A.; VITAL, A. de F. M. Visão dos professores da rede pública estadual de Sumé (PB) sobre as dificuldades na condução de ações em educação ambiental. **Revista Brasileira de Educação Ambiental**. Rio Grande, vol.8, nº2, p. 150-163, 2013.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). **The role of ESCWA in agricultural resource management and conservation and in combating desertification in the region**. 1993. Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/X5322E/X5322E00.htm>. Acesso em: 17 de abril de 2014.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). **Land Degradation Assessment in Drylands: Questionnaire for mapping land degradation and sustainable land management (QM)**, Version 2. Rome, 67p., 2013.

FARIAS, A. A. de; SOUZA, J. T. A.; ALVES, T. L. B.; ALCÂNTARA SILVA, V. M. de; MORAES NETO, J. M. de. Degradação Ambiental no Entorno da Bacia Hidráulica do Açude Manoel Marcionilo, Taperoá-PB. **Revista Brasileira de Geografia Física**, vol.5, nº4, p. 863-876, 2012.

FEITOSA, J. R. P.; COSTA FILHO, J. F. da; SILVA, B. B. da. Avaliação de índices de vegetação em área irrigada do sub-médio São Francisco, Petrolina-PE, a partir de imagens do satélite LANDSAT 5-TM. In: **Congresso Brasileiro de Meteorologia**, 18, 2004, Fortaleza. Anais... Fortaleza, 2004.

FERNANDES, M.F. **Avaliação da aptidão agrícola das terras de parte do setor Leste da Bacia do Rio Seridó usando Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento**. 1997, 196f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande - PB, 1997.

FRANCELINO, M. R.; FERNANDES FILHO, E. I.; RESENDE, M.; LEITE, H. G. Contribuição da Caatinga na sustentabilidade de projetos de assentamentos no Sertão Norte-Rio-Grandense. **Revista Árvore**, v.27, n.1, 2003. p.79-86.

FRANCISCO, P.R.M. **Classificação e mapeamento das terras para mecanização do Estado da Paraíba utilizando sistemas de informações geográficas**. 2010. 122f. Dissertação (Manejo de Solo e Água) Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba. Areia, 2010.

FRANCISCO, P.R.M.; CHAVES, I.B. ;LIMA, E.R.V. Mapeamento das Terras para Mecanização Agrícola - Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 5, p. 233-249, 2012.

FRANCISCO, P. R. M. **Modelo de mapeamento da degradação do Bioma Caatinga da bacia hidrográfica do Rio Taperoá, PB**. 97f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, 2013.

FRANCISCO, P. R. M.; CHAVES, I. B.; CHAVES, L. H. G.; LIMA, E. R. V. Estimativa da degradação da biomassa da vegetação de caatinga através de índices de vegetação. **Revista Polêmica**, v. 12, n. 2, p. 306-321, 2013.

FREIRE, N. C. F. e PACHECO, A. da P. Aspectos da detecção de áreas de risco à desertificação na região de Xingó. Anais **XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Goiânia, Brasil, abril 2005, INPE.

FREIRE, N. C. F.; PACHECO, A. da P.; MELO, I. D. F. de. Desertificação na região de Xingó: análise e mapeamento espectro-temporal. In: Anais ... **XXI Congresso de Cartografia**, out. 2003. Disponível em: <[http://www.cartografia.org.br/xxi\\_cbc/011-SR03.pdf](http://www.cartografia.org.br/xxi_cbc/011-SR03.pdf)>. Acesso em 25 de junho de 2010.

GARCIA, M. A. de M. **O Homem-Ser na Construção Social dos Riscos no Semi-Árido Paraibano**. Tese de Doutorado em Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande/CCT. 2004, 168p.

GONÇALVES, J. L. de G. **Classificação da capacidade de uso da terra nos municípios de Alagoa Grande e Alagoinha (PB) através de sensoriamento remoto**. 2004, 144f. Dissertação (Mestrado em Manejo do Solo e Água) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade federal da Paraíba, Areia – PB, 2004.

GUIMARÃES, A. P. **Dinâmica da resposta espectral da vegetação de caatinga na bacia hidrográfica do açude Soledade, utilizando técnicas de sensoriamento remoto**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal da Paraíba. Areia, 2009.

HEPNER, G.F.; THOMAS, L.; NILES, R.; NEVIN, B. Artificial neural network classification using a minimal training set: comparison to conventional supervised classification. **Photogrammetric Engineering e Remote Sensing**, vol. 56, n ° 4, April, p: 469-473, 1990.

HILL, J.; STURM, B. Radiometric correction of multitemporal Thematic Mapper data for use in agricultural land-cover classification and vegetation monitoring. **International Journal of Remote Sensing**, v.12, n.7, p.1471-1491, Dec 1991.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo 2000. Ano de Publicação: 2000. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br/censo/>> Acesso em: 29 junho 2010.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2005. Disponível em <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em 12 março de 2011.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2009. Disponível em <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em 12 março de 2011.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Diretoria de Geociências Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. Manuais Técnicos em Geociências número 1. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. Sistema fitogeográfico, Inventário das formações florestais e campestres, Técnicas e manejo de coleções botânicas, Procedimentos para mapeamentos. 2012. Disponível em: [ftp://geoftp.ibge.gov.br/documentos/recursos\\_naturais/manuais\\_tecnicos/manual\\_tecnico\\_](ftp://geoftp.ibge.gov.br/documentos/recursos_naturais/manuais_tecnicos/manual_tecnico_). Acesso em 28 dezembro de 2012.

IICA – Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura. **Elaboração de Diagnósticos e Planos de Desenvolvimento Agrícola ou Desativação – Perímetros do Grupo III**. Diagnóstico de viabilidade hídrica. Recife: PROJECT (Projetos Técnicos LTDA) e PLENA (Consultoria e Projetos LTDA), 153p., 2006.

INACIO, E. dos S. B.; CANTALICE, J. R. B. NACIF, P. G. S.; ARAÚJO, Q. R. de; BARRETO, A. C. Quantificação da erosão em pastagem com diferentes declives na microbacia do Ribeirão Salomea. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient.**, Campina Grande , v. 11, n. 4, agosto de 2007.

INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2006). **Processamento de Imagens**. Disponível em: <[http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/introducao\\_pro.html](http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/introducao_pro.html)>, Acesso em: 04 outubro de 2013.

INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2012). **Informações georreferenciadas**. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues>>, Acesso em: 10/01/2013.

IQBAL, M. **An introduction to solar radiation**. Academic Press. Toronto, 1983.

JAKUBAUSKAS, M. E., LEGATES, D. R.; KASTENS, J. H. Harmonic Analysis of Time-Series AVHRR NDVI Data. **Photogrammetric Engineering e Remote Sensing**. p. 461-470, april of 2001.

JAMES, M. J., KULLARI, S. The pathfinder AVHRR land data set: an improved coarse resolution data set for terrestrial monitoring. **International Journal of Remote Sensing**, vol. 15, p. 3347–3364, 1994.

KAUFMAN, Y. J.; TANRÉ, D. Atmospherically resistant vegetation index (ARVI) for EOS-MODIS. IEEE. **Transactions on Geoscience and Remote Sensing Symposium. Proceedings**, v.30, p.261-270, 1992.

KREMER, R. G., RUNNING, S.W. Community type differentiation using NOAA/AVHRR data within a sagebrush-steppe ecosystem. **Remote Sensing of Environment**, vol. 46, 311–318, 1993.

KUMAR, R. (1972). Radiation from plants reflection and emission: a review. **Research Project** n.5543. Lafayette: Purdue Research Foundation, 88p.

KUNTCHIK, G. **Estimativa de biomassa vegetal lenhosa em Cerrado por meio de sensoriamento remoto ótico e de radar**. 154p. Tese (Doutorado em Ciências). Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo – Departamento de Ecologia: USP, 2004.

KUROKAWA, E.; BORNIA, A. C. Utilizando o histograma como uma ferramenta estatística de análise da produção de água tratada de Goiânia. In: **XXVIII Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental**. Cancun, México: 27 a 31 de outubro de 2002.

LAVELL, A. **Local Level Risk Management: Concepts and Experience in Central America**. Disponível em: <[http://www.desenredando.org/public/articulos/2003/llrmceca/llrmceca\\_abr-24-2003.pdf](http://www.desenredando.org/public/articulos/2003/llrmceca/llrmceca_abr-24-2003.pdf)>. Acesso em: 15/02/2014.

LE TOAN, T., BEAUDOIN, A., RIOM, J., GUYON, D. Relating forest biomass to SAR data. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing v. 30, p. 403-411, 1992.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W. **Remote sensing and image interpretation**. John Wiley e Sons, New York, 1994.

LOPES, E. S. S. **Tutorial 10 aulas – SPRING – 3.6 (versão Windows/UNIX)**. INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2002.

LOPES, H. L.; ACCIOLY, L. J. O; CANDEIAS, A. L. B.; SOBRAL, M. C. Análise de índices de vegetação na bacia do rio Brígida, sertão do estado de Pernambuco. In: **Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**, 3, 2010, Recife. Anais... Recife, 2010. p.01-08.

LUCENA, I.; CÂMARA, G.; NASCIMENTO, M. Um ambiente de geração de programas de análise espacial. In: **V Congresso e Feira para usuários de Geoprocessamento da América Latina, GIS Brasil99**, Salvador, 17 p. 19 a 23 de julho de 1999. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/papers/amo.pdf>>. Acesso em: 10/02/2014.

MALO, A.R., NICHOLSON, S.E. A study of rainfall and vegetation dynamics in the African Sahel using normalized difference vegetation index. **Journal of Arid Environments**, vol. 19, p. 1–24, 1990.

MALDONADO, F. D. Rotação Espectral Controlada como alternativa em Análise por Componentes Principais para detecção de mudanças em regiões do semi-árido. In: **X Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto**, In: Anais... Foz do Iguaçu, p. 627-630, 2001.

MALDONADO, F. D. **Desenvolvimento e avaliação de uma metodologia de detecção de mudanças na cobertura vegetal do semiárido**. 311p. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto). São José dos Campos: INPE, 2005.

MALDONADO, F.D.; CARVALHO, V.C. de. Indicador de degradação a escala subregional para detecção de mudanças na cobertura das terras com sensoriamento remoto. In: Anais ... **XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Belo Horizonte – BR: INPE, abr., p. 1353-1356, 2003.

MARENGO, J.A. Água e Mudanças Climáticas. **Estudos Avançados**, 22 (63), 2008.

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

MATALLO JUNIOR, H. Indicadores de desertificação: histórico e perspectivas. Brasília: UNESCO, **Cadernos UNESCO Brasil**. Série Meio Ambiente e Desenvolvimento, 2, 2001.

MATALLO JUNIOR, H (Org.). **Glossário de Termos e Conceitos usados no Contexto da UNCCD**. Brasília: MMA, 2009.

MENESES, P. R.; NETTO, J. S. M. **Sensoriamento remoto: reflectância dos alvos naturais**. Brasília. UnB, Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001.

MILTON, O.; SMITH, S.L.; USTIN, J.B; ADAMS, J.B; GILLESPE, A.R. Vegetation in Deserts I: A regional measure of abundance from multispectral images. **Remote Sensing of Environment**, v.31, n.1, p.1-26, Jan 1990.

MMA. **Ministério do Meio Ambiente**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>> Acesso em: 21/6/2008.

MONTEBELO, L.A.; CASAGRANDE, C.A.; BALLESTER, M.V.R.; VICTORIA, R.L.; CUTOLO, A.P.A. Relação entre uso e cobertura do solo e riscos de erosão nas áreas de preservação permanente na bacia do ribeirão dos Marins, Piracicaba-SP. In: ANAIS... **XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Goiânia – GO: INPE, 16- 21 abr., p. 3829-3836, 2005.

MORAES NETO, J. M. de. **Gestão de riscos a desastres ENOS (El Niño oscilação Sul) no semiárido paraibano: uma análise comparativa**. 2003, 181p. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) – Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande – PB, 2003.

MORAIS, Y. C. B.; SANTOS, B. O.; LAURENTINO, M. L. S.; SILVA, J. C. B.; GALVÍNCIO, J. D. Análise espaço-temporal e detecção de mudanças da cobertura vegetal no município de Floresta, PE – Brasil, utilizando o NDVI. **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto** – SBSR, Curitiba, PR, 2011, INPE p. 2128.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 2.ed., Viçosa – MG:UFV, 2004, 307p.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 3. ed. Viçosa - MG: UFV, 2005. 320p.

MOURA, C. S. **Vulnerabilidades das terras agrícolas, degradação ambiental e riscos a desastres ENOS no município de Sumé, PB**. Campina Grande, UFCG/CCT. 2002.155p.  
Dissertação de mestrado.

MOURA, G. S. S. **Geoprocessamento no estudo da desertificação no município de Prata-PB**. 2006. 105f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande – PB, 2006.

MOURA, G. S. S. de; BARBOSA, M. P.; MOURA, C. S. de; ARAÚJO, A. E. de; MOURA, A. S. S. de; SOUZA, M. M. P.de. Uso de imagens TM/Landsat-5 na avaliação da degradação ambiental e riscos a desastres ENSO, no Município de Sumé –PB.In: ANAIS... **XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Goiânia – GO: INPE, 16-21 abr., p. 205-212, 2005.

NASA (National Aeronautics and Space Administration), 2005. **Shuttle Radar Topography Mission: The Mission to Map the World**. Disponível em: <<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/missionoverview.html>>. Acesso em: 10/03/2012.

NASA (National Aeronautics and Space Administration), 2010. **Mosaico de imagens SRTM da América do Sul**. Disponível em: <<http://photojournal.jpl.nasa.gov/mission/SRTM?start=10>>. Acesso em: 10/03/2012.

NUNES, G. M.; DECIAN, V. S.; FIGUEREDO, O. A. T.; OLIVEIRA, F.; MADRUGA, P. R. A.; PEREIRA, R. S. Utilização de geotecnologias no monitoramento ambiental para controle e gestão municipal. In: **XXXI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**. Salvador – BA: 29 de julho a 02 de agosto de 2002. (CD ROM)



OLIVEIRA, E. M. de; SANTOS, M. J. dos; ARAÚJO, L. E. de; SILVA, D. F. da. Desertificação e seus impactos na região semi-árida do Estado da Paraíba. **Revista Ambiência** - Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais. v. 5, n. 1, jan./abr. de 2009.

PAIXÃO, F. E.; VALE, R. de M. C. do; LOBÃO, J. S. B. Mapeamento de áreas susceptíveis à desertificação no nordeste da Bahia. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 15, 2009, Natal. Anais... Natal: INPE, 2009. p.4195-4200.

PAE-PB. **Programa de ação estadual de combate á desertificação e mitigação dos efeitos da seca no estado da Paraíba: PAE-PB/IICA**. SCIENTEC - João Pessoa: Secretaria de Estado dos Recursos Hídricos, do Meio Ambiente e da Ciência e Tecnologia. Superintendência de Administração do Meio Ambiente, 144p.il., 2011.

PAES e SILVA, A. P.; CHAVES, I. B.; SAMPAIO, E. V. S. B. **Cobertura vegetal da bacia hidrográfica do Açude Namorado no cariri oriental paraibano**. Agropecuária Técnica. v. 24, n.1, 2003.

PARAÍBA. Governo do Estado da Paraíba, Secretaria de Agricultura e Abastecimento CEPA/PB. **Zoneamento Agropecuário do Estado da Paraíba**. Relatório, UFPB/ELC, Dez., 448p. 1978.

PARAÍBA. Governo do Estado da Paraíba, Secretaria da Educação – UFPB. **Atlas Geográfico da Paraíba**. João Pessoa-PB. Grafset, 1985.

PARAÍBA. Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia e do Meio Ambiente. Agência Executiva de Gestão de Águas do Estado da Paraíba, AESA. **PERH-PB: Plano Estadual de Recursos Hídricos: Resumo Executivo e Atlas**. Brasília, DF, 112p., 2006.

PEREIRA, A. M e ALMEIDA, M. I. S. de. Degradação ambiental e desertificação no semiárido mineiro: um estudo sobre o município de Espinosa-MG. **Revista Geográfica de América Central**, Número especial EGAL, Costa Rica, p 1-16, 2011.

PETERS, A. J., EVE, M. D. Satellite monitoring of desert plant community response to moisture availability. **Environmental Monitoring and Assessment**, vol. 37, p. 273–287, 1995.

PETERS, A.J., EVE, M. D., HOLT, E. H., WHITFORD, W. G. Analysis of desert plant community growth patterns with high temporal resolution satellite spectra. **Journal of Applied Ecology**, vol. 34, p. 418–432, 1997.

PONTES, M. A. G. **GIS e Geoprocessamento**. Sorocaba – SP: Faculdade de Engenharia de Sorocaba/Departamento de Topografia, 20p., 2002.

PRINCE, S. D., GOETZ, S. J., GOWARD, S. N. Monitoring primary productivity from earth observing satellites. **Water, Air, and Soil Pollution**, vol. 82, p. 509–522, 1995.

PROJETO BRA/93/036. **Convenção das nações unidas de combate à desertificação nos países afetados por seca grave e/ou desertificação, particularmente na África**.Ed. Inconfidência, Brasília, 89p, 1998.

RIBEIRO, G. do N. **Mapeamento do uso atual da terra e cobertura vegetal em área do agreste paraibano utilizando técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento**. 2006, 112p. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia – PB, 2006.

RIBEIRO, G. do N.; GUIMARÃES, C. L.; TEOTIA, H. S.; MARACAJÁ, V. P. B. B; BARROS, D. F. Estudo dos solos e vegetação no agreste paraibano através de tecnologias de sensoriamento remoto. **REBAGA** (Mossoró – RN – Brasil) v.1, n.1, p. 46-52 de janeiro/junho de 2007.

RODRIGUES, J. B. T.; ZIMBACK, C. R. L.; PIROLI, E. L. Utilização de Sistema de Informação Geográfica na avaliação do uso da terra em Botucatu (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas – SP, v.25, p.675-681, 2001.

ROSSATO, A.; CASSOL, R.; SIEBEN, A.; BRUTTI, E.A.; RAFFAELLI, J.A. Uso da terra no município de pinhal grande – RS, através do uso de geoprocessamento. In: **XXXI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**, Salvador – BA:29 de julho a 02 de agosto de 2002.(CD ROM)

RUBERT, C.; SALBEGO, A. G.; CORINO, C. B.; CASTANHO, R. B.; MADRUGA, P. R. A. Geoprocessamento na determinação de áreas de conflitos de uso da terra no

município de Nova Esperança - RS In: ANAIS ... **XXXI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**, Salvador-BA: 29 de jul. a 02 de jul., 2002.

SÁ, I. I. S.; GALVÍNICO, J. D.; MOURA, M. S. B. de; SÁ, I. B. Uso do índice de vegetação da diferença normalizada (IVDN) para caracterização da cobertura vegetal da Região do Araripe Pernambucano. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.1, n.1, p.28-38, 2008.

SALBEGO, A. G.; SILVA, A. P. B.; RUBERT, C.; GIOTTO, E. Geoprocessamento na análise de áreas de conflito do uso da terra na microbacia hidrográfica do Arroio Ituzinho. In: ANAIS ... **XXXI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**, Salvador-BA: 29 de jul. a 02 de jul., 2002. (CD ROM)

SAMPAIO, E. V. S. B; ARAUJO, M. do S. B; SAMPAIO, Y. S. B. Propensão à desertificação no semiárido brasileiro. In: **ZOOTEC 2006** (VIII Congresso Internacional de Zootecnia), 2006, Disponível em: <<http://www.revista.ufpe.br/revistageografia/index.php/revista/article/view/49/16>>. Acesso em 10/06/2012.

SCCON (Santiago e Cintra Consultoria). 2013. **Softwares ERDAS**. Disponível em: <<http://www.scon.com.br/erdas.html>>. Acesso em: 05/05/2013.

SCHMIDT, H., KARNIELI, A. Remote sensing of the seasonal variability of vegetation in a semi-arid environment. **Journal of Arid Environments**, 45, p.43–59. 2000.

SILVA, E. P. da. **Estudo Sócio-Econômico-Ambiental e dos Riscos a Desastre ENOS (El Niño Oscilação Sul) no Município de Picuí – Paraíba**. Um estudo de caso. 2002. 140p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Departamento de Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2002.

SILVA, B. B.; LOPES, G. M.; AZEVEDO, P. V. Determinação do albedo de áreas irrigadas com base em imagens LANDSAT 5-TM. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.13, n.2, p.11-21. 2005.

SILVA, B. B. da; MENDONÇA, R. R. de O.; SILVA, S. T. A. da; FERREIRA, R. da C. Mapeamento do albedo de áreas heterogêneas do estado do Ceará com imagens TM - LANDSAT 5. **Revista de Geografia**, v.25, n.2, p.24-41, 2008.

SILVA, T. B.; ROCHA, W. J. S'A. da F.; DIAS, A. B. Indicadores socioeconômicos associados ao processo de desertificação na região norte e nordeste do estado da Bahia. In: **Anais... XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 2341-2348, 2009 (a).

SILVA, A. C. S.; SILANS, A. M. B. P.; NETO, A. F. S.; PORTO, R. Q. Considerações sobre os aspectos sociais e físicos da açudagem na bacia do açude de Sumé - PB. In: **Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. Campo Grande-MS, 2009 (b).

SILVA, J. M. F.; SILVEIRA, C. T. Uso das imagens SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) nos estudo e mapeamentos geomorfológicos. In: **VI Simpósio Nacional de Geomorfologia/Regional Conference on Geomorfology**. Goiânia-GO: 6 a 10 de setembro de 2006.

SILVA BRITO, J. L. Elaboração de um mapa de uso da terra recomendado na bacia do ribeirão Bom Jardim, triângulo mineiro – MG, utilizando SIG. In: **ANAIS ... XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Belo Horizonte: INPE, 05-10 abr., p. 1749-1754, 2003.

SILVA NETO, A. F. da; BARBOSA, M. P.; NETO, J. M. de M. A dinâmica da desertificação e a influência dos eventos ENOS na degradação das terras em municípios do Cariri-Occidental (Paraíba-Brasil). In: **Anais... XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis: INPE, 21 - 26 abril, p.4405-4412, 2007.

SILVA NETO, A. F. da. **Estudo das vulnerabilidades agro-ambientais frente aos eventos ENOS e a construção social dos riscos em municípios do cariri ocidental – Paraíba:uma análise comparativa**. 2004. 206f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) - Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande – PB, 2004.

SIMARD, M.; RIVERA-MONROY, V. H.; MANCERA-PINEDA, J. E.; CASTAÑEDA-MOYA, E.; TWILLEY, R. R. A systematic method for 3D mapping of mangrove forests based on Shuttle Radar Topography Mission elevation data, ICESat/GLAS waveforms and field data: Application to Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. In: **Remote Sensing of Environment**. 112, p.2131-2144, 2008.

SOUSA, C. L. de. Análise multitemporal da cobertura vegetal para detecção de mudanças no município de Cedro-PE. In: Anais ... **XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Belo Horizonte: INPE, 05 - 10 abril, p.2907-2912, 2003.

SOUSA, R. F. de; MOTTA, J. D; GONZAGA, E. N; FERNANDES, M. F; SANTOS, M. J. dos. (2003). 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.

SOUSA, R. F. de. **Terras agrícolas e o processo de desertificação em municípios do semi-árido paraibano — Campina Grande**. 2007. Tese (Doutorado Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.

SOUSA, R. F. de; BARBOSA, M. P; SOUSA JÚNIOR, S. P. de. TERCEIRO NETO, C. P. C.; Morais Neto, J. M. Estudo da degradação de terras do município de Boa Vista - Paraíba. **Revista Engenharia Ambiental**, v.4, n.2, p.5-13, 2007.

SOUZA, B. I. de. **Cariri paraibano: do silêncio do lugar à desertificação**. 2008, 198p. Tese (Programa de Pós-graduação em Geografia) Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS, 2008.

SOUZA, B. I. de; SUERTEGARAY, D. M. A.; LIMA, E. R. V.de. Desertificação e seus efeitos na vegetação e solos do cariri paraibano. **Mercator - Revista de Geografia da UFC**, ano 08, número 16, p. 217-232, 2009.

SPANNER, M .A., PIERCE, L. L., RUNNING, S. W., PETERSON, D. L. The seasonality of AVHRR data of temperate coniferous forests: relationships with leaf area index. **Remote Sensing of Environment**, vol. 33, p.97–112, 1990.

SUERTEGARAY, D. M. A; VERDUM, R.; BELLANCA, E. T.; UAGODA, R. S. Sobre a gênese da arenização no Rio Grande do Sul. In: ALMEIDA, M.G. (Org). **Terra Livre**. Goiania, GO: n°24, vol.1, p. 119-133, 2005.

TOWNSHEND, J.R.G., JUSTICE, C.O. Analysis of the dynamics of African vegetation using the normalized difference vegetation index. **International Journal of Remote Sensing**, vol. 7, p. 1435–1446, 1986.

UCHIDA, S. **Diagnosis of Land Degradation In the Semi-Arid Area of Asia and Pacific Region 10-/ Using Remote Sensing Data -JIRCAS's Case Study**. 1995. Disponível em: <<http://www.a-a-r-s.org/aars/proceeding/ACRS1995/Papers/LD95-1.htm>>. Acesso em: 10/10/2012.

UNITED NATIONS. **General Assembly**. 1994. Disponível em <<http://www.unccd.int/Lists/SiteDocumentLibrary/conventionText/conv-eng.pdf>>. Acesso em: 15/01/2014.

UNITED NATIONS. **Text of the United Nations Convention to Combat Desertification**. 2001. Disponível em <[www.unccd.int/convention/text/convention.php](http://www.unccd.int/convention/text/convention.php)>. Acesso em: 12/03/2014.

UNCCD (United Nations Convention to Combat Desertification) **Climate change and desertification**, 2007. Disponível em: <<http://www.unccd.int/Lists/SiteDocumentLibrary/Publications/Desertificationandclimatechange.pdf>>. Acesso em: 07/04/2013.

UNCCD (United Nations Convention to Combat Desertification). **The UNCCD: Laying the groundwork for future security (2014-2015)**. 2014. Disponível em: <[http://www.unccd.int/Lists/SiteDocumentLibrary/Partnerships/partnership%2024\\_01\\_14%20low%20res.pdf](http://www.unccd.int/Lists/SiteDocumentLibrary/Partnerships/partnership%2024_01_14%20low%20res.pdf)>. Acesso em: 17/02/2014 (a).

UNCCD (United Nations Convention to Combat Desertification). **Desertification the invisible frontline**. 2014. Disponível em: <[http://www.unccd.int/Lists/SiteDocumentLibrary/Publications/Desertification\\_The%20invisible\\_frontline.pdf](http://www.unccd.int/Lists/SiteDocumentLibrary/Publications/Desertification_The%20invisible_frontline.pdf)>. Acesso em: 17/02/2014 (b).

USGS (United States Geological Survey). **Shuttle Radar Topography Mission**. 2004. Disponível em: <<http://www.landcover.org/data/srtm/>>. Acesso em: 10/03/2013.

USGS (United States Geological Survey). **Shuttle Radar Topography Mission**. 2008. Disponível em: <<http://srtm.usgs.gov/mission.php>>. Acesso em: 20/02/2013.

VALLE JUNIOR, R. F. do. **Diagnóstico de áreas de risco de erosão e conflito de uso dos solos na bacia do rio uberaba**. 2008. 220f. Tese (Doutorado em Agronomia) Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP, Jaboticabal – SP, julho de 2008.

VELOSO JUNIOR, J.F. **Mapeamento e análise das alterações do uso da terra e da cobertura vegetal na região da Serra de Teixeira, através de técnicas de Sensoriamento Remoto**. 2003. 69f. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade federal da Paraíba, Areia – PB, 2003.

VITAL, S. R. de O.; SILVEIRA, T. de A.; ALENCAR, H. M. Q. de; FERREIRA, B. Uso de imagem SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) para o mapeamento geomorfológico na microbacia do açude Taperoá II, Paraíba, Brasil. In: **III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**. Recife - PE, p. 1-5, 27-30 de Julho de 2010.

WEISS, J .L.; GUTZLER, J. S.; ALLRED COONROD, J. E.; DAHM, C. N. Long-term vegetation monitoring with NDVI in a diverse semi-arid setting, central New Mexico, USA. In: **Journal of Arid Environments**. Vol. 58, p. 248-271, 2004.

YODER, B. J., WARING, R. H. The normalized difference vegetation index of small Douglas-fir canopies with varying chlorophyll concentrations. **Remote Sensing of Environment**, vol. 49, p. 81–91, 1994.

ZONNEVELD, I. S. Environmental indication. In: Lieth, H.(ed.) **Handbook of vegetation science**. vegetation mapping. Stocolm: Kluwer Academic Publishers, 1988. cap.36, p.491-498.

**ANEXOS**