

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO – UFPE  
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS – CFCH  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS GEOGRÁFICAS – DCG  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA – PPGeo

**ZONEAMENTO DAS ÁREAS DE VÁRZEA  
DE PEQUENAS BACIAS NO AGRESTE CENTRAL,  
PERNAMBUCO: Cobertura vegetal, Geomorfologia e  
aspectos da Fertilidade de solos**

DANIEL RODRIGUES DE LIRA



RECIFE, 2010

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO – UFPE  
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS – CFCH  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS GEOGRÁFICAS – DCG  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA – PPGeo**

**ZONEAMENTO DAS ÁREAS DE VÁRZEA DE PEQUENAS BACIAS NO  
AGRESTE CENTRAL, PERNAMBUCO: Cobertura vegetal, Geomorfologia  
e aspectos da Fertilidade de solos**

Dissertação de mestrado apresentada  
por **Daniel Rodrigues de Lira** ao  
Programa de Pós-Graduação em  
Geografia da Universidade Federal de  
Pernambuco, para a obtenção do título  
de Mestre em Geografia.

**Orientadora: Prof. Dra. Maria do Socorro Bezerra de Araújo  
Co-orientador: Prof. Dr. Everardo Valadares de Sá Barretto Sampaio**

**RECIFE, 2010**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO - UFPE  
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS – CFCH  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS GEOGRÁFICAS –DCG  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

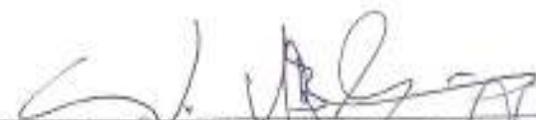
**DANIEL RODRIGUES DE LIRA**

Título: “ZONEAMENTO DAS ÁREAS DE VÁRZEAS DE PEQUENAS BACIAS NO  
AGRESTE CENTRAL, PERNAMBUCO ”

**BANCA EXAMINADORA**

**TITULARES:**

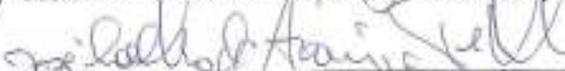
Orientador:



---

Prof. Dra. Maria do Socorro Bezerra de Araújo (UFPE)

1º. Examinador:



---

Prof. Dr. José Coelho de Araújo Filho (EMBRAPA)

2º. Examinador:



---

Prof. Dr. Josiclêda Dominiciano Galvêncio (UFPE)

APROVADA em 19 de março de 2010.

*Dedico a minha família e amigos, em especial Rivaldo Rodrigues (in Memoriam).*

## **AGRADECIMENTOS**

A Prof<sup>a</sup> Dra. Maria do Socorro Bezerra de Araújo, pela confiança.

Ao Prof. Dr. Fernando de Oliveira Mota Filho pelo incentivo e por toda contribuição acadêmica.

Ao Prof. Dr. Antonio Carlos de Barros Corrêa pela paciência, orientações e contribuições.

A Prof<sup>a</sup> Dra. Josicleda Dominiciando Galvíncio pela viabilização e contribuição da realização do trabalho de campo.

A Bióloga, Dr<sup>a</sup> Sônia Augustinho do Departamento de Geologia da UFPE, pela logística.

Ao Cristiano Aprígio dos Santos por servir como piloto de *rally* em estradas difíceis e atolar o carro durante a realização de um dos trabalhos de campo, mesmo com o carro tendo tração.

Aos integrantes do GEQUA – Grupo de Estudos do Quaternário do Nordeste do Brasil pela descontração, Kleython, Camila, Drielly.

Aos Integrantes do GPGA – Grupo de Pesquisas GeoAmbiental, pela contribuição ao trabalho e toda a preocupação em especial Cristiane Barbosa pelas ajudas nas separações das amostras e Manuella Vieira pela sutíliza.

A Larissa Monteiro Rafael e Bruno de Azevedo Cavalcanti Tavares, pelas contribuições.

Ao SERGEO – Grupo de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento da UFPE, por ceder os programas e licenças, fundamentais para execução deste trabalho.

A Jéssica Bezerra por todo o carinho, paciência, ternura, delicadeza e principalmente na contribuição do primeiro trabalho de campo.

Ao Prof. Dr. Everardo Valadares de Sá Barretto Sampaio pelas contribuições e principalmente por aceitar a Co-Orientação desta dissertação.

Ao Dr. José Coelho, pesquisador da Embrapa Solos – UEP/Recife, pela contribuição.

Ao Doutorando do programa de pós-graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares da UFPE, Antônio Luiz Ferreira, pela companhia e ajuda no reconhecimento do município de São Bento do Una.

Ao Lucas Costa de Souza Cavalcanti, pela ajuda incondicional nos trabalhos de campo.

A Hewerton Alves da Silva pela ajuda nos trabalhos de campo e principalmente na ajuda com coisas do tipo que voam ao redor da terra imageando cenas e obtendo dados para obtenção de índices malucos através de fórmulas que são de difícil compreensão.

Ao Jonas Otaviano Praça, pela ajuda no trabalho de campo.

Aos amigos do RCT – Recife.

A Neiva Marion, pela amizade e companhia.

A Facepe pelo financiamento da bolsa.

Ao PPGEIO – UFPE

Agradeço a todos os amigos.

## RESUMO

No Estado de Pernambuco, as áreas de várzea das grandes bacias hidrográficas são relativamente estudadas. Entretanto, as pequenas bacias no interior do Estado são pouco caracterizadas e não existem referências ao tamanho dessas áreas ou o tipo de uso. Devido a sua pequena abrangência, isoladamente, elas não são contempladas nos mapeamentos existentes com as escalas utilizadas e permanecem sem informações qualitativas e quantitativas. O objetivo deste trabalho foi fazer um Zoneamento I das pequenas bacias hidrográficas na microrregião Agreste Central, no estado de Pernambuco. Para este objetivo foram obtidos os índices de cobertura vegetal, o mapeamento do uso da terra e o geomorfológico; os limites das pequenas bacias hidrográficas; e alguns indicadores de fertilidade dos solos (Ca, Mg, P, K, Al e pH). Os índices de cobertura vegetal foram obtidos usando o NDVI - *Normalized Difference Vegetation Index*. O mapeamento geomorfológico foi realizado com base em dados geológicos e de modelagem numérica do terreno. (O delineamento das pequenas bacias hidrográficas foi obtido utilizando softwares de geoprocessamento, considerando a hierarquização da rede de drenagem, separando as bacias em primeira ordem, segunda ordem, etc. O mapeamento do uso da terra foi obtido pelo levantamento dos dados em campo e de dados de amostras coletadas para análise da fertilidade do solo, em duas bacias no município de São Bento do Una, Pernambuco. O índice de vegetação para o Agreste central de Pernambuco indicou 39,7% de vegetação densa, 13,6% de vegetação esparsa, 14,3% de vegetação rala e 10,5% de solo exposto. O mapa geomorfológico indicou duas morfoestruturas distintas, separadas pelo Lineamento Pernambuco isto é, Pedimentos Centrais da Borborema, ao Sul e Maciços Remobilizados da Zona Transversal, ao Norte. A delimitação das pequenas bacias permitiu averiguar que as bacias de 1º ordem dominam quase toda a área do Agreste Central pernambucano, correspondendo a 49% da área. No mapeamento do uso da Terra foi observado que a criação de gado é a principal atividade econômica desenvolvida nas duas bacias analisadas, utilizando principalmente as áreas do baixo curso do riacho. Estas áreas são as mais extensas, mais planas e mais férteis, devido aos depósitos aluviais, mais finos nessa porção das bacias.

**Palavras-Chave:** Geoprocessamento; índice de vegetação; Geomorfologia; uso da terra; avaliação da fertilidade do solo

## ABSTRACT

In the state of Pernambuco, the floodplains of large river basins are relatively studied. However, the small basins within the state are little characterized and there are no references to the size of these areas or the type of use. Due to its small range, in isolation, they are not covered in the existing mappings with the ranges used and remain without qualitative and quantitative information. The objective was to make an environmental zoning of small watersheds in Central Agreste microregion, state of Pernambuco. For this purpose we obtained the indices of vegetation, the mapping of land use and geomorphological; the boundaries of small basins, and some indicators of soil fertility (Ca, Mg, P, K, Al and pH). The indices of vegetation were obtained using the NDVI - Normalized Difference Vegetation Index; geomorphological mapping was carried out based on geological data and numerical modeling of the terrain (slope, digital elevation model, contour lines, runoff), the design small catchment was obtained using GIS software, considering the proposed Stralher for hierarchical network of drainage basins separating the first order, second order, etc., the mapping of land use was obtained by the survey data in the field and data samples collected for analysis of soil fertility in two basins in São Bento do Una, Pernambuco, the vegetation index for the central Agreste of Pernambuco indicated 39.7% of dense vegetation, 13.6% of vegetation sparse, 14.3% of scrubland and 10.5% of exposed soil. The geomorphological map indicated by the two distinct, separated by the Pernambuco Lineament they are: pediments Borborema Central, Southern and Massive remobilized Zone Cross to the north. The definition of small basins allowed ascertaining that the basins of 1st order dominate almost the entire area of the Wasteland Central Pernambuco, accounting for 49% of the area for a total of 8118 channels. The survey of the use of the Earth has been observed that cattle ranching is the main economic activity developed in the two basins analyzed, using mainly the areas of the lower course of the stream, which are more extensive, flatter and more fertile, because of the alluvial deposits.

**Keywords:** GIS; vegetation index, geomorphology, land use, evaluation of soil fertility

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema da Hierarquização da rede de drenagem segundo Strahler (1952), onde o número 1 representa os canais de primeira ordem, podendo ser representados pelas nascentes ou cabeceiras de drenagem, os outros números (2, 3...) representam a hierarquia dos canais de acordo com o somatório de dois canais anterior de mesma ordem que deságuam no mesmo. ....	25
Figura 2. Mapa da distribuição das unidades geológicas no Agreste central. ....	29
Figura 3. Mapa pedológico do Agreste Central de Pernambuco. Fonte: ZAPE, 2001, editado. .	32
Figura 4. Distribuição da precipitação por municípios do Agreste Central. ....	34
Figura 5. Mapa com a distribuição da precipitação média do Agreste Central. ....	36
Figura 6. Precipitações mensais do ano de 2007 um município por cena. São Bento do Una, 215/66; Caruaru, 214/66; Santa Cruz do Capibaribe, 215/65. ....	40
Figura 7. Figura 7. Cenas do satélite Landsat 5 TM, com as bandas 1,2,3,4,5 e 7 empilhadas com a composição RGB falsa cor. (a) ponto e orbita 215/65; (b) ponto e orbita 215/66; (c) ponto e orbita 214/66. ....	41
Figura 8. Mosaico das cenas 214/66, 215/66 e 65 na composição RGB falsa cor. ....	46
Figura 9. Combinação das bandas 5, 3, 2 em falsa cor, representando uma amostra do Agreste Central pernambucano. A – Empilhamento de banda com o NDVI, realçando a vegetação em cor verde do solo exposto na cor roxa. B - Empilhamento comum com a Banda 3. ....	46
Figura 10. NDVI em escala de cinza no Agreste Central de Pernambuco, com extração das Nuvens e Sombras, onde os níveis de cinza mais claro representam a vegetação mais densa, enquanto que os mais escuros são alvos com baixos índices de vegetação. ....	48
Figura 11. NDVI classificado do Agreste Central, apresentando cinco categorias, nas quais três são referentes às vegetações uma de solo exposto e a ultima de nuvens e sombras de nuvens. ....	49
Figura 12. Mapa geológico simplificado da província Borborema do litoral ao agreste de Pernambuco, exibindo seus principais domínios geotectônicos. Editado de Lima (2008) em Jardim de Sá (1994). ....	52
Figura 13. Mapa Morfoestrutural do Agreste Central pernambucano, subdividido em: Pedimentos Centrais da Borborema ao Sul do Linemaneto Pernambuco e Maciços Remobilizados da Zona Transversal ao Norte do Lineamento Pernambuco. ....	55
Figura 14. Mapa da declividade geral do Agreste Central pernambucano. ....	56
Figura 15. Mapa Hipsométrico do Agreste Central. ....	57
Figura 16. Imagens de satélite Landsat 5 – 215/66, 215/65 e 214/66, com combinação de banda 4-7- 5, realçando as principais estruturas de relevo, mais baixas e mais elevadas. ....	57

Figura 17. Fotografia evidenciando unidade pedimentar, na área do Agreste Central pernambucano. ....	58
Figura 18. Perfil Topográfico C - D da unidade Pedimentar de 600 e 500m mostrando a ruptura das unidades na área do Agreste Central de Pernambuco. Mapa Hipsométrico evidenciado as formas de pedimentos a 600 e 500m, no Agreste Central de Pernambuco. ....	58
Figura 19. Estrutura do inselberg ao fundo, na área do Agreste Central de Pernambuco. ....	59
Figura 20. Perfil topográfico A-B, mostrando a forma de um inselberg típico no Agreste Central pernambucano. Mapa Hipsométrico mostrando a unidade de inselberg, na área do Agreste Central de Pernambuco. ....	60
Figura 21. Perfil Topográfico E – F, mostrando uma das unidades de cimeira do Agreste Central de Pernambuco. Mapa Hipsométrico Mostrando a superfície de cimeira, compondo a superfície somital do Agreste Central de Pernambuco. ....	61
Figura 22. Perfil topográfico G – H onde aparecem os terraços erosivos (1) e o leito fluvial (2), na área do Agreste Central de Pernambuco. Mapa Hipsométrico mostrando a unidade do plano aluvial. ....	62
Figura 23. Mapa Geomorfológico do Agreste Central de Pernambuco .....	64
Figura 24. Perfil de um raster antes e depois da correção. Adaptado de Tarboton (1991). ....	69
Figura 25. Matrix do raster, demonstrando os valores do pixel na agregação de valores proximos para identificação do direcionamento do fluxo superficial. Adaptado de Greenlee (1987). ....	69
Figura 26. Matrix do raster, demonstrando os valores do pixel na agregação de valores do fluxo superficial. Adaptado de Greenlee (1987). ....	70
Figura 27. Modelo de pequenas bacias hidrográficas, adaptado de Tarboton (1991) .....	70
Figura 28. Classificação dos canais utilizando a proposta de Strahler. d’Aarlhac (2008). ....	70
Figura 29. Rede de drenagem do Agreste Central de Pernambuco, extraída dos dados de radar interferométrico SRTM, mostrando um maior detalhe da rede de drenagem e do escoamento superficial .....	72
Figura 30. Rede de drenagem disponibilizada no banco de dados do ZAPE (SILVA, 2001), para a área do Agreste Central de Pernambuco. ....	73
Figura 31. Microbacias do Agreste Central sem classificação, obtidos a partir do SRTM. ....	74
Figura 32. Microbacias Classificadas com total de 708 para o Agreste Central de Pernambuco. ....	74
Figura 33. Microbacias do Agreste Central Pernambucano, organizadas e classificadas por área de influência municipal, com a quantidade respectiva para cada município. ....	75
Figura 34. Gráfico com o percentual de bacias por municípios do Agreste Central de Pernambuco. ....	76
Figura 35. Porcentagem da rede de drenagem hierarquizada do Agreste Central. ....	77

Figura 36. Número de canais por ordem de hierarquia, na área do Agreste Central de Pernambuco, segundo a metodologia de Strahler (1952). .....	77
Figura 37. Rede de drenagem do Agreste Central de Pernambuco, hierarquizada segundo Strahler (1952). .....	78
Figura 38. Localização das duas bacias estudadas, 1 Riacho Caraíbas, 2 Riacho da Macambira, localizadas no município de São Bento do Una - PE. ....	83
Figura 39. 1 – Detalhe do Riacho Caraíbas; 2 – Detalhe do Riacho da Macambira, Localizados no Município de São Bento do Una – PE. ....	83
Figura 40. Esquema teórico de construção de uma nomenclatura da cobertura da terra. Adaptado de Heymann (1994) <i>in</i> : IBGE (2006). ....	84
Figura 41. Coleta do solo para análise da fertilidade na profundidade de 0-20 cm .....	86
Figura 42. Exemplificação da retirada das amostras. Cinco amostras por transecto e cinco transectos na bacia do Riacho Caraíbas, e o total de cinco amostras em sete transectos na bacia do riacho Macambira. ....	86
Figura 43. Fluxograma metodológico para determinação da variação espacial dos nutrientes das bacias localizadas no município de São Bento do Una - PE. ....	87
Figura 44. Pontos de coletas nas áreas de várzea das bacias analisadas, Bacia do Riacho Macambira e Caraíbas, localizadas no município de São Bento do Una - PE. ....	88
Figura 45. Tipos de uso da terra na bacia do riacho da Macambira, localizadas no município de São Bento do Una - PE. ....	89
Figura 46. Mapa do Uso da Terra do riacho da Macambira, localizado no município de São Bento do Una - PE. ....	90
Figura 47. Tipos dos usos da terra na bacia do riacho Caraíbas, localizada no município de São Bento do Una - PE 1a - área de pecuária, 2a - área de cultivo de palma para alimentação do gado, 2b – área de cultivo de subsistência com milho, separada pela estrada da área de descanso. ....	91
Figura 48. Tipos dos usos da terra na bacia do riacho Caraíbas, localizada no município de São Bento do Una – PE. 3 – área de extrativismo, 4 – área de descanso ou repouso, 1b – área de pecuária na parte baixa do rio sobre os depósitos fluviais, 1c – detalhe da área de pecuária onde aparece o leito do riacho seco. ....	92
Figura 49. Mapa do Uso da Terra do riacho Caraíbas, localizado no município de São Bento do Una - PE. ....	93
Figura 50. Textura do solo da Bacia do riacho Macambira, localizado no município de São Bento do Una. 1 – Textura Arenosa, 2 – Textura Franco-Arenosa, 3 – Textura Franco-Siltosa. ....	94
Figura 51. 1- Distribuição espacial do Fósforo; 2 – distribuição espacial do pH; 3 – Gráfico representando os valores do Fósforo e do pH. ....	95
Figura 52. 1 - Distribuição espacial do Alumínio; 2 – distribuição espacial do Potássio; 3 – Gráfico representando os valores do alumínio e do potássio. ....	96

Figura 53. 1 - Distribuição espacial do Cálcio; 2 – distribuição espacial do Magnésio; 3 – Gráfico representando os valores do cálcio e do magnésio. ....	97
Figura 54. Textura do solo da Bacia do riacho Caraíbas, localizado no município de São Bento do Una. 1 – Textura Arenosa, 2 – Textura Franco-Arenosa. ....	98
Figura 55. 1 - Distribuição espacial do Fósforo; 2 – distribuição espacial do pH; 3 – Gráfico representando os valores do Fósforo e do pH. ....	99
Figura 56. 1-Distribuição espacial do Alumínio; 2–distribuição espacial do Potássio; 3–Gráfico representando os valores do alumínio e do potássio. ....	100
Figura 57. 1 - Distribuição espacial do Cálcio; 2 – distribuição espacial do Magnésio; 3 – Gráfico representando os valores do cálcio e do magnésio. ....	101

## LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1. Elementos de Nutrientes Essenciais e Suas Fontes. Adaptado de BRANDY (1989) ...	26
Tabela 1. Valores do NDVI, utilizados na seleção para classificação supervisionada .....	44
Tabela 2. Relação Classes/Número de Pixel/Porcentagem do Índice de vegetação.....	48
Tabela 3. Critérios de classificação textural do solo. Fonte: adaptado de <a href="http://www.ecosystema.ru/08nature/soil/i07.htm">http://www.ecosystema.ru/08nature/soil/i07.htm</a> .....	85

# SUMÁRIO

## INTRODUÇÃO GERAL

2. HIPÓTESE GERAL.....	20
3. OBJETIVOS .....	20
3.1    Objetivo Geral.....	20
3.2    Objetivos Específicos .....	20

## CAPÍTULO I

CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	22
Definições sobre o conceito de Microbacias Hidrográficas .....	23
Considerações sobre a Fertilidade do solo.....	26
Sobre os solos de várzeas .....	27
Considerações sobre Sensoriamento remoto .....	27
CARACTERIZAÇÃO FISIOGRÁFICA DO AGRESTE CENTRAL .....	28
Localização Geográfica .....	28
Geologia.....	28
Relevo .....	30
Solos.....	31
Cobertura vegetal .....	37

## CAPÍTULO II

MAPEAMENTO E QUANTIFICAÇÃO DA COBERTURA VEGETAL NO AGRESTE CENTRAL DE PERNAMBUCO UTILIZANDO O NDVI .....	38
1. INTRODUÇÃO.....	39
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	40
2.1 Aquisição, registro e mosaico das imagens .....	40
2.2 Empilhamento das bandas e extração das nuvens e sombras .....	42
2.3 Calibração Radiométrica.....	42
2.4 Cálculo da Reflectância .....	43
2.5 Cálculo do <i>Normalized Difference Vegetation Index</i> - NDVI.....	44
2.6 Classificação Supervisionada .....	45
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	45
4. CONCLUSÕES .....	50

## CAPÍTULO III

MAPEAMENTO MORFOESTRUTURAL E GEOMORFOLÓGICO PARA O AGRESTE CENTRAL DE PERNAMBUCO .....	51
1. INTRODUÇÃO.....	52
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	53
2.1 Modelagem Numérica do Terreno - MNT;.....	53
2.2 Mapeamento Geomorfológico .....	54
2.3 Utilização de imagens de Satélite.....	54
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	54
3.1 Mapa Morfoestrutural.....	54
3.2 Mapa Geomorfológico.....	56
4. CONCLUSÕES .....	65
CAPÍTULO IV	
EXTRAÇÃO DA REDE DE DRENAGEM E DELINEAMENTO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS UTILIZANDO DADOS TOPOGRÁFICOS.....	66
1. INTRODUÇÃO.....	67
2. MATERIAS E MÉTODOS.....	68
2.1 Modelagem Numérica do Terreno - MNT .....	68
2.2 Extração da rede de drenagem .....	68
2.3 Delimitação das bacias hidrográficas .....	70
2.4 Hierarquização da rede de drenagem .....	71
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	72
4. CONCLUSÕES .....	78
CAPÍTULO V	
USO E COBERTURA DA TERRA E ANÁLISE E ASPECTOS DA FERTILIDADE DO SOLO EM VÁRZEAS DE DUAS PEQUENAS BACIAS HIDROGRÁFICAS NO MUNICÍPIO DE SÃO BENTO DO UNA - PE....	80
1. INTRODUÇÃO.....	81
2. MATERIAS E MÉTODOS.....	82
2.1 Localização das Bacias .....	82
2.2 Mapeamento do Uso da Terra .....	84
2.3 Coleta, Textura e Avaliação da fertilidade dos solos .....	85
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	88
3.1 Do Uso e Ocupação da Terra .....	88
3.2 Da Textura e fertilidade dos solos de várzea.....	94
4. CONCLUSÕES .....	101

CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	103
REFERÊNCIAS .....	106

# INTRODUÇÃO GERAL

---

O Estado de Pernambuco compreende uma área de 98.000 km<sup>2</sup>, dividido em três zonas fisiográficas, Mata, Agreste e Sertão, as duas últimas correspondendo à região semi-árida. Os problemas socioeconômicos são mais acentuados na área semi-árida, que se estende por cerca de 70.000 km<sup>2</sup> (SUDENE, 1997).

A principal atividade econômica na região semi-árida é a agricultura de subsistência, com plantios de milho, feijão e mandioca, geralmente. Esta atividade é praticada numa grande variedade de sistemas de exploração dependentes dos diferentes tipos de solo, topografias, posições na paisagem e padrões de chuva. O sistema tradicional de exploração agrícola é incompatível com as condições de semi-aridez e os problemas se multiplicam durante as secas cíclicas. Esse desequilíbrio se manifesta na dimensão ambiental, pela exploração excessiva dos recursos naturais e na dimensão econômica, pelos baixos níveis de produtividade agrícola, com reflexos nas condições de pobreza da população.

A disponibilidade de água é o principal fator limitante à produção agrícola. A irregularidade das chuvas e a capacidade de armazenamento de água no solo influenciam diretamente no estabelecimento e na produção das culturas. As áreas preferidas dos agricultores para as culturas de subsistência são, principalmente, as áreas de baixios (várzeas). Os terraços aluviais ou as chamadas áreas de várzeas ou baixio são unidades geomorfológicas constituídas pelas faixas de terra distribuídas ao longo dos rios e riachos, formadas por materiais de transporte fluvial, gerando solos de constituição diversificada. Em geral, ocorrem Neossolos Flúvicos e Cambissolos, cuja posição na paisagem favorece a captação de água. No semi-árido, onde o fator mais limitante é a disponibilidade de água, estes solos representam áreas de grande importância para a agricultura. A permanência de

água por um período mais longo durante o ano, assegurando a produção agrícola, ainda por um período após a estiagem, sua profundidade e alta fertilidade justificam a preferência dessas áreas para plantio nas pequenas propriedades do semi-árido. Entretanto, são solos que requerem manejos cuidadosos, pois, em função das condições climáticas, por vezes, tornam-se salinizados.

No Estado de Pernambuco, as áreas de várzea das grandes bacias hidrográficas são relativamente estudadas. Existem alguns trabalhos para o Nordeste, mas sempre tratando de dados generalizados. Em relação a grandes bacias (LEPRUN, 1983; SUDENE, 1986; GONDIN-FILHO, 1994). Entretanto, as pequenas bacias no interior do Estado são pouco caracterizadas e não existem referências ao tamanho dessas áreas ou ao tipo de uso. Devido a sua pequena abrangência, isoladamente, elas não são contempladas nos mapeamentos existentes. As áreas mapeadas são aquelas dos rios e riachos mais largos e que puderam ser representados na escala de 1:100.000, no semi-árido de Pernambuco. A malha de drenagem extensa e diversificada, mas com rios estreitos e que não puderam ser mapeados na escala de 1:100.000 permanece sem informações qualitativas e quantitativas ou com informações fragmentadas de alguns estudos pontuais. A falta de informações desses ambientes de alta importância para o desenvolvimento da agricultura familiar foi que motivou a elaboração deste projeto de pesquisa que tem por objetivo fazer um Zoneamento das pequenas bacias hidrográficas na microrregião Agreste Central, no estado de Pernambuco.

Os dados gerados neste estudo servirão de base para subsidiar tomadas de decisões pelo poder público, principalmente na escala Municipal, Estadual e Federal. Atualmente, não existem políticas públicas voltadas especificamente para

estas que são as áreas com maior potencial produtivo no semi-árido. Os zoneamentos agrícolas que servem para financiamento não distinguem estas áreas de várzea das outras áreas do município. A caracterização das áreas de várzea permite um refinamento do zoneamento e pode contribuir para um financiamento agrícola com base mais realista. Também permite uma avaliação mais criteriosa dos processos de desapropriação de terras e divisão de lotes nas políticas de reforma agrária.

## **2. HIPÓTESE GERAL**

No semi-árido, onde o fator mais limitante é a disponibilidade de água, os solos aluviais representam áreas de grande importância para a agricultura, pois a permanência de água por um período mais longo durante o ano pode assegurar a produção agrícola, ainda por um período após a estiagem. A profundidade e a alta fertilidade destes solos justificam a preferência das áreas de várzea para plantio nas pequenas propriedades do semi-árido.

## **3. OBJETIVOS**

### **3.1 Objetivo Geral**

Zoneamento das pequenas bacias hidrográficas na microrregião Agreste Central, no estado de Pernambuco.

### **3.2 Objetivos Específicos**

- Determinar indicadores de cobertura vegetal (proporção da área sem cobertura vegetal);

- Realizar mapeamento geomorfológico de acordo com a UGI - União Geográfica Internacional;
- Obtenção dos limites de pequenas bacias do Agreste Central de Pernambuco
- Fazer o mapeamento do uso da terra em pequenas bacias hidrográficas selecionadas.
- Avaliar a fertilidade dos solos aluviais em pequenas bacias hidrográficas selecionadas.

# CAPÍTULO I

---

## CONSIDERAÇÕES GERAIS

## **Definições sobre o conceito de Microbacias Hidrográficas**

Apesar de não constar nos principais e mais recentes dicionários e vocabulários técnicos nacionais e internacionais editados nas áreas das ciências ambientais, o termo “microbacia” vem sendo cada vez mais utilizado e citado em livros e artigos, principalmente por profissionais envolvidos com projetos de planejamento.

Acredita-se que o conceito de microbacia esteja fortemente relacionado ao planejamento e conservação ambiental. Para sua definição, deve-se acrescentar à própria conceituação de bacia hidrográfica a condição do estabelecimento de uma área, cuja extensão é função da análise de alguns elementos que estarão envolvidos na pesquisa, como técnica, recursos materiais, equipe de trabalho e tempo disponíveis. É preciso reconhecer também os interesses das comunidades diretamente envolvidas nos projetos de planejamento, que podem ser tanto mais diversificados quanto maior for a área considerada. Dessa forma, a microbacia deve abranger uma área suficientemente grande para que se possam identificar as inter-relações existentes entre os diversos elementos do quadro sócio-ambiental que a caracteriza, e pequena o suficiente para estar compatível com os recursos disponíveis (GUERRA, 2008).

A criação do Programa Nacional de Microbacia Hidrográfica (PNMH), através do Decreto-lei nº 94.076, de 5 de março de 1987, expandiu o uso do termo, que foi definido como sendo uma área drenada por um curso d'água e seus afluentes, a montante de uma determinada seção transversal, para a qual convergem às águas que drenam a área considerada (BRASIL, 1987), porém este conceito, é idêntico ao de bacia hidrográfica.

Segundo Lima (1989), o conceito de “microbacia” é um tanto vago; primeiro, porque não há um limite de tamanho para a sua caracterização, e em segundo lugar, porque há que se fazer distinção entre dois critérios:

a) Do ponto de vista hidrológico as bacias hidrográficas são classificadas em grandes e pequenas, não com base em sua superfície total, mas nos efeitos de certos fatores dominantes na geração do deflúvio. Define-se "microbacia" como sendo aquela cuja área é tão pequena que a sensibilidade a chuvas de alta intensidade e às diferenças de uso do solo não seja suprimida pelas características da rede de drenagem.

b) Do ponto de vista de programas e políticas de uso do solo de recente estabelecimento no país - os programas de manejo de microbacias: o critério de caracterização da microbacia, neste caso, é eminentemente político e administrativo.

De acordo com Lima (1994), uma bacia hidrográfica corresponde a um sistema geomorfológico aberto, ou seja, com *in put* e *out put* de energia, compreende entrada e saída dos elementos que a compõem, como por exemplo a água disponível na bacia, inseridas no sistema por meio de agentes climáticos e eliminadas por meio do escoamento superficial, a bacia hidrográfica como sistema aberto pode ser descrita em termos de variáveis interdependentes, que oscilam em torno de um padrão e, desta forma, uma bacia mesmo quando não perturbada por ações antrópicas, encontra-se em equilíbrio dinâmico.

Existe ainda a noção de microbacia hidrográfica como uma “unidade espacial mínima”, definida a partir da classificação de uma bacia de drenagem em seus diferentes níveis hierárquicos, subdividindo-a até a menor porção possível (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1993). Assim, é aplicada a hierarquização da rede de drenagem (Figura 1), sendo o método mais utilizado a classificação proposta por Strahler (1952), onde os canais ligados as nascentes são considerados rios de

primeira ordem, os canais de segunda ordem surgem da confluência de dois canais de primeira ordem, os de terceira ordem surgem da confluência de dois canais de segunda ordem, podendo receber canais de ordem inferior, e assim sucessivamente. Esta visão equivaleria à noção de bacia hidrográfica de ordem zero, correspondendo aos canais efêmeros ou cabeceiras de drenagem. Tal concepção, entretanto, parece não corresponder ao conceito de microbacias utilizado nos últimos dez anos pelos pesquisadores.

No entanto, vale salientar que a definição por meio da hierarquização dos canais de drenagem de uma bacia possibilita o melhor entendimento da dinâmica global do sistema hidrográfico e a identificação das unidades que o compõem. Subdivide-se a bacia em unidades menores até que se possa chegar a uma unidade espacial mínima, compreendendo uma definição mais coerente, pois utiliza algum parâmetro na sua definição.

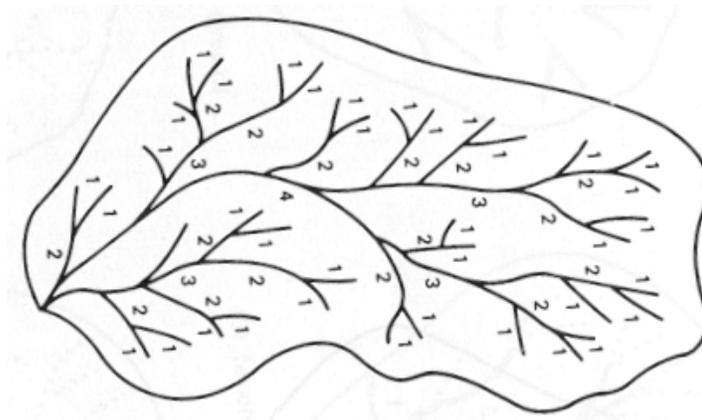


Figura 1. Esquema da Hierarquização da rede de drenagem segundo Strahler (1952), onde o número 1 representa os canais de primeira ordem, podendo ser representados pelas nascentes ou cabeceiras de drenagem, os outros números (2, 3...) representam a hierarquia dos canais de acordo com o somatório de dois canais anterior de mesma ordem que deságuam no mesmo.

Segundo Bertoni e Lombardi (1993), para fins conservacionistas de aplicação de um plano de manejo de solo e água, a unidade espacial mínima que ele denomina de microbacia hidrográfica deverá ter uma área variável de 1.000 a 5.000 hectares, visando possibilitar um planejamento integrado dos problemas ambientais de uma bacia.

### **Considerações sobre a Fertilidade do solo**

Segundo Cavalcanti *et al*, (2008), a fertilidade dos solos diz respeito à capacidade em fornecer, na forma em que as plantas absorvem, e em quantidades e proporções adequadas, os elementos químicos essenciais para o desenvolvimento vegetal. Sendo assim, as plantas, para o funcionamento do metabolismo celular e para a produção de alimentos, necessitam de elementos químicos conhecidos como nutrientes essenciais.

Segundo Arnon e Stout (1939), um elemento químico é considerado essencial quando em sua ausência a planta não contempla o ciclo e vida, e não pode ser substituído por nenhum outro. Cerca de dezessete elementos (Quadro 1) são considerados universalmente essenciais para o crescimento vegetal. Três deles originam-se do ar e da água e quatorze dos sólidos do solo.

Quadro 1. Elementos de Nutrientes Essenciais e Suas Fontes. Adaptado de BRANDY (1989).

Do ar e da água		Dos sólidos do solo	
Carbono	Nitrogênio	Ferro	Cloro
Hidrogênio	Fósforo	Manganês	Cobalto
Oxigênio	Potássio	Boro	
	Cálcio	Molibdênio	
	Magnésio	Cobre	
	Enxofre	Zinco	

## **Sobre os solos de várzeas**

Os solos aluviais são predominantemente formados por estratos sem relação pedogenética entre si, e, por conseguinte, são considerados solos jovens. Esta característica de solos “imatuross” é, de fato, o traço dominante dos solos aluviais (SAINT-LAURENT, 2008). Os estudos conduzidos por Aslan e por Autin (1998), Kraus e Bown (1986) e Daniels (2003), em particular, mostram que os solos sujeitos às fases de agradação apresentam pouca maturação e os processos da pedogênese são retardados pela constante deposição dos pacotes aluvionares na zona sujeita a inundações ou terraço fluvial. Estes solos aluviais apresentam basicamente as mesmas características, isto é, pouca estrutura, e pouco desenvolvimento do horizonte.

Os solos de várzeas no semi-árido são muito procurados para o plantio, ocupando posições baixas no relevo e tendendo a acumular água na época da chuva. Os Neossolos Flúvicos, segundo Araújo *et al.* (2008), apresentam-se como um dos solos mais férteis do semi-árido, junto com os Vertissolos, pois apresentam altas quantidades de fósforo total e outros nutrientes tais como, principalmente Ca, Mg, Na, K.

## **Considerações sobre Sensoriamento remoto**

Sensoriamento Remoto é uma tecnologia que permite a aquisição de dados e informações sobre alvos sem que ocorra o contato físico com eles (NOVO, 1992; ROSA, 1995). Atualmente, é de grande importância no monitoramento de diversos fenômenos no ambiente (SILVA *et al.*, 2005). Diversas são as aplicações do sensoriamento remoto, principalmente nas ciências da terra: atualizando a cartografia; desenvolvendo mapas; monitorando áreas minerais, de bacias de drenagem, de agricultura, de florestas, desastres ambientais (enchentes, erosão,

deslizamentos de terras, secas); identificando desmatamento e áreas de preservação permanente; e avaliando o uso do solo (SAUSEN *et al.*, 1990).

O sensoriamento remoto, apesar de ser um método rápido, viável e de grande importância ao monitoramento ambiental, necessita de um processamento digital das imagens para que seus dados sejam utilizados com maior precisão. Portanto, formas de processamento através de métodos estatísticos e matemáticos são direcionados para essa aplicação, entre eles, os índices de vegetação, destacando-se o NDVI - *Normalized Difference Vegetation Index*, por ser o um dos índices mais utilizados para análise da vegetação (NOVO, 1992).

## **CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA DO AGRESTE CENTRAL**

### **Localização Geográfica**

Localizada na mesorregião do Agreste Pernambucano, a Região de Desenvolvimento do Agreste Central tem uma área de 10.117 km<sup>2</sup>. É formada por 26 municípios que, de acordo com o censo demográfico divulgado pelo IBGE no ano de 2000, somava uma população de 881.422 habitantes, equivalente a 12% da população do Estado - sendo 596.744 habitantes na área urbana e 284.678 habitantes na zona rural.

### **Geologia**

O subsolo do Agreste central pernambucano (CPRM, 2001) é formado predominantemente por rochas pré-cambrianas (Figura 2), com idade de até 3,2 bilhões de anos. Tais rochas são representadas pelas seguintes unidades litológicas:

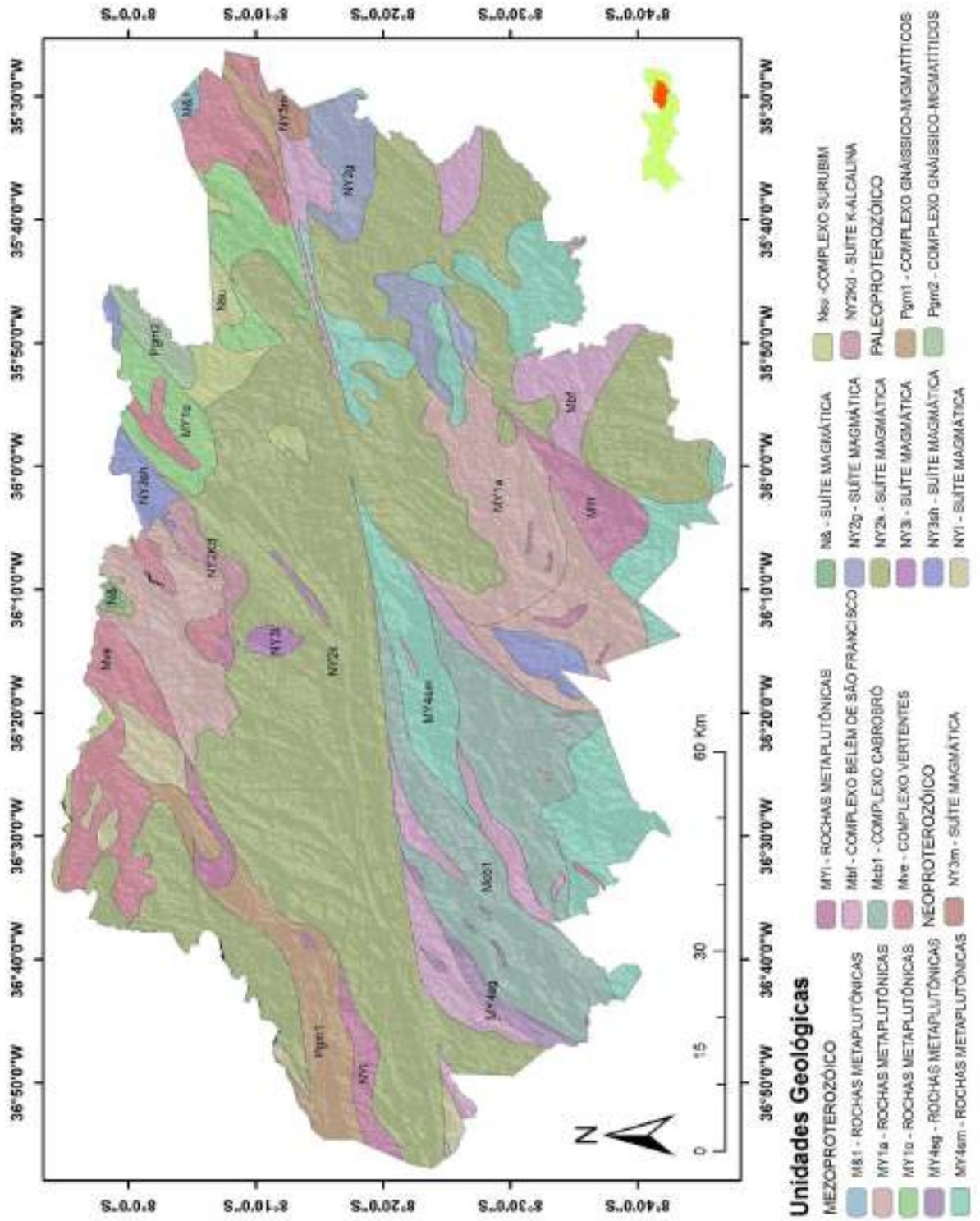


Figura 2. Distribuição das Unidades geológicas no Agreste central.

As Rochas Metaplutônicas estão presentes na porção oeste do Terreno Pernambuco-Alagoas, correlacionáveis a esta suíte. A sua composição é similar a basaltos e picritos de uma série toleítica.

O Complexo Belém do São Francisco e o Complexo Cabrobó é formado por ortognaisses e migmatitos com restos de supracrustais. Constituem-se unidades supracrustais, onde se pode distinguir uma seqüência metavulcano-sedimentar e uma seqüência metassedimentar. O Complexo Vertente corresponde a uma seqüência metavulcanosedimentar constituída por metapelitos, metaturbiditos, paragnaisses, e gnaisses anfibolíticos.

A Suíte granítica subalcalina e alcalina é composta por monzogranitos, granodioritos, monzonitos, quartzo diorito, álcali-feldspato granito, sienitos, ocasionalmente trondhjemito. A Suíte Magmática provém da intensa atividade magmática relacionada com a orogênese Brasileira na Província Borborema, representada por inúmeros corpos com dimensões e formas variadas, constituindo às vezes extensos batólitos.

O complexo Surubim corresponde a um complexo de paragnaisses e biotita xistos, com intercalações de quartzitos, anfibolitos e calcários cristalinos. O complexo Gnaíssico-migmatítico compõe-se, em grande parte, por ortognaisses homogêneos de composição tonalítica. São rochas pobres em máficos, normalmente biotita e hornblenda.

## **Relevo**

O relevo da área estudada apresenta características variadas, predominando extensas superfícies planas ao sul do lineamento Pernambuco,

desenvolvidas em diferentes tipos litológicos e cotas topográficas variadas. Intercaladas a estas superfícies sobressaem-se superfícies de relevos dissecados formados por erosão superficial. Ao norte do Lineamento, o relevo é representado por superfícies remobilizadas, diferenciando-se da parte norte pela litologia.

### **Solos**

Os solos dominantes no Agreste Central, de acordo com o Zoneamento Agroecológico de Pernambuco – ZAPE (SILVA *et. al.*, 2001), são Latossolos Amarelos, Argissolos Vermelho, Argissolos Amarelo, Gleissolos, Planossolos e Planossolos Háplicos, Planossolos Nátricos, Cambissolos, Luvisolos, Vertissolos, Neossolos Flúvicos, Neossolos Regolíticos e Neossolos Litólicos (Figura 3).

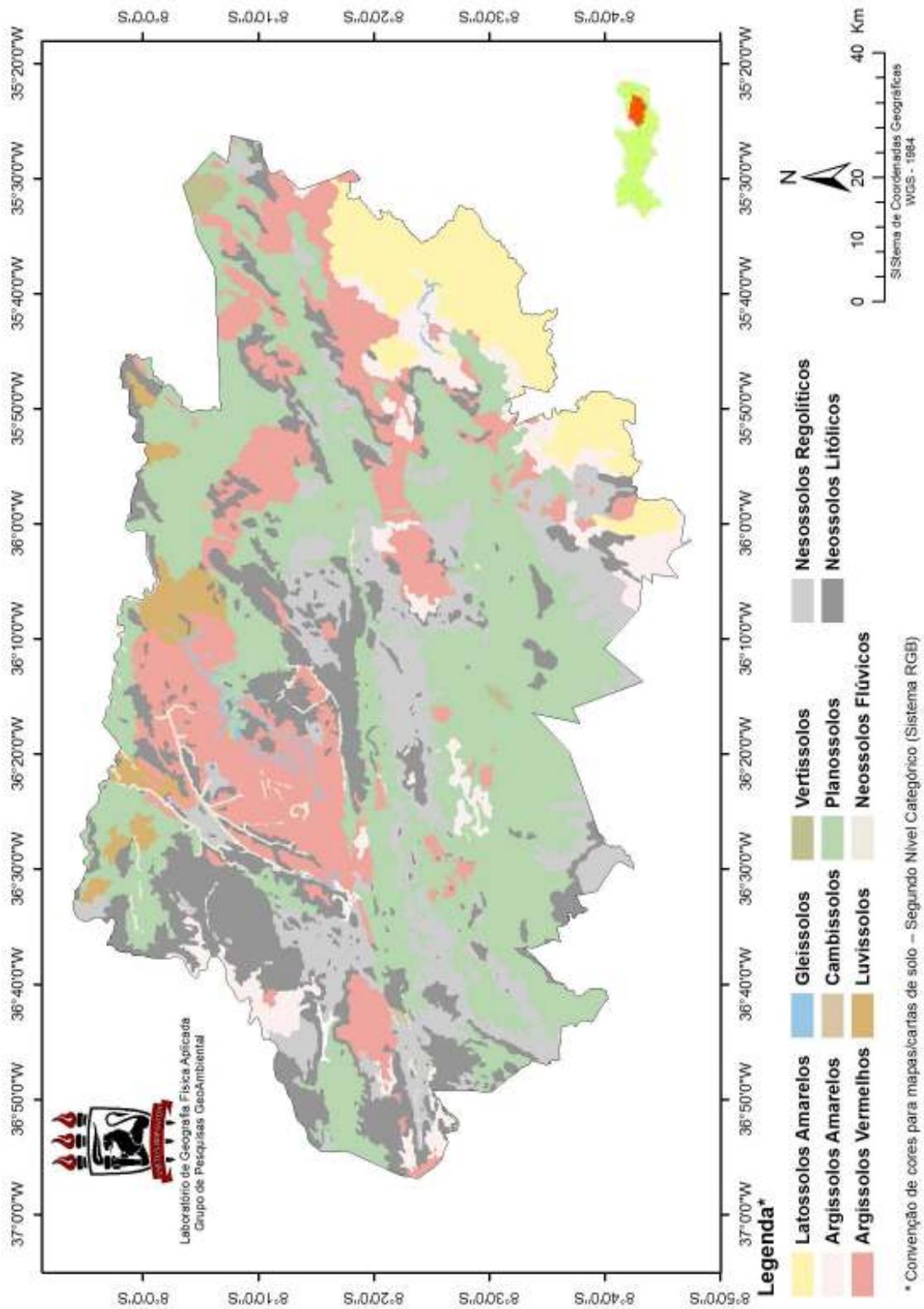


Figura 3. Distribuição dos principais solos do Agreste Central de Pernambuco. Fonte: ZAPE, 2001, editado.

Os Latossolos são solos minerais muito desenvolvidos, reconhecidos por apresentarem horizonte B latossólico, ou seja, totalmente intemperizado imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte **A** (EMBRAPA, 2006). Os Argissolos são solos constituídos por material mineral, apresentando horizonte B textural imediatamente abaixo do horizonte **A** ou **E**, predominantemente com argila de atividade baixa. Os que apresentam argila de atividade alta são distróficos.

Os Gleissolos são constituídos por material mineral com horizonte Glei iniciando-se dentro dos 150 cm da superfície, imediatamente abaixo de horizonte **A** ou **E**. Os Planossolos compreendem solos minerais imperfeitamente ou mal drenados, com horizonte superficial ou subsuperficial eluvial, de textura mais leve que contrasta abruptamente com o horizonte **B** plânico. Os cambissolos são formados por material mineral com horizonte B incipiente, subjacente a qualquer tipo de horizonte superficial. Os Luvisolos são solos minerais não hidromórficos, com horizonte **B** textural com argila de atividade alta e saturação por bases, também alta imediatamente abaixo do horizonte **A** ou **E**. Os Vertissolos compreendem solos constituídos por material mineral apresentando horizonte vértico e pequena variação textural ao longo do perfil, nunca suficiente para caracterizar um horizonte B textural (EMBRAPA, 2006).

Os Neossolos são solos constituídos por material mineral, ou por material orgânico pouco espesso, que não apresentam alterações expressivas em relação ao material originário devido à baixa intensidade de atuação dos processos pedogenéticos, seja em razão de características inerentes ao próprio material de origem, com maior resistência ao intemperismo ou composição químico-

mineralógica, ou por influência dos demais fatores de formação, que podem impedir ou limitar a evolução dos solos.

## Clima

O clima semi-árido do Brasil é considerado um dos mais complexos do mundo pela sua azonalidade, principalmente devido a seu sistema de circulação atmosférica (SILVA, 2007). Pela sua proximidade ao Equador, seu ritmo climático é diferente da maioria das regiões semi-áridas, com os índices pluviométricos entre 200 e 800 mm de precipitação anual (Figura 4), originando importantes períodos de seca que variam entre 1 a 11 meses (MELO, 2008), a amplitude térmica anual é mínima (25 e 30 °C).

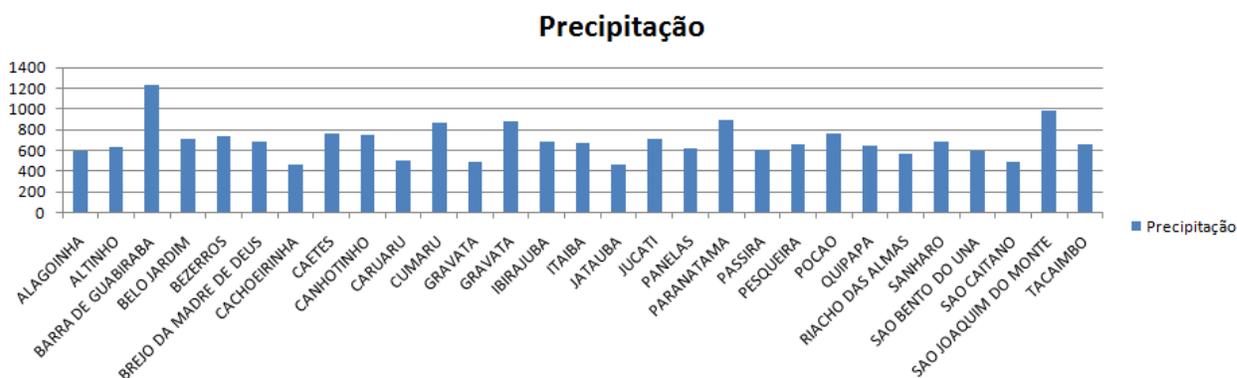


Figura 4. Distribuição da precipitação por municípios do Agreste Central.

O Nordeste do Brasil é uma região, do ponto de vista climático, com características peculiares. Na maior parte dessa região, a precipitação é escassa e apresenta flutuações muito elevadas, com altas temperaturas relativamente homogêneas o ano todo. No decorrer do ano, a região nordeste brasileira compreende área de influência das altas pressões subtropicais provenientes do anticiclone semi-fixo do Atlântico Sul (SOUZA, 2008). Entretanto, a variabilidade da distribuição das chuvas (Figura 5) nesta região está relacionada com as mudanças

nas configurações de circulação atmosférica: os sistemas frontais e a zona de convergência intertropical (ZCIT).

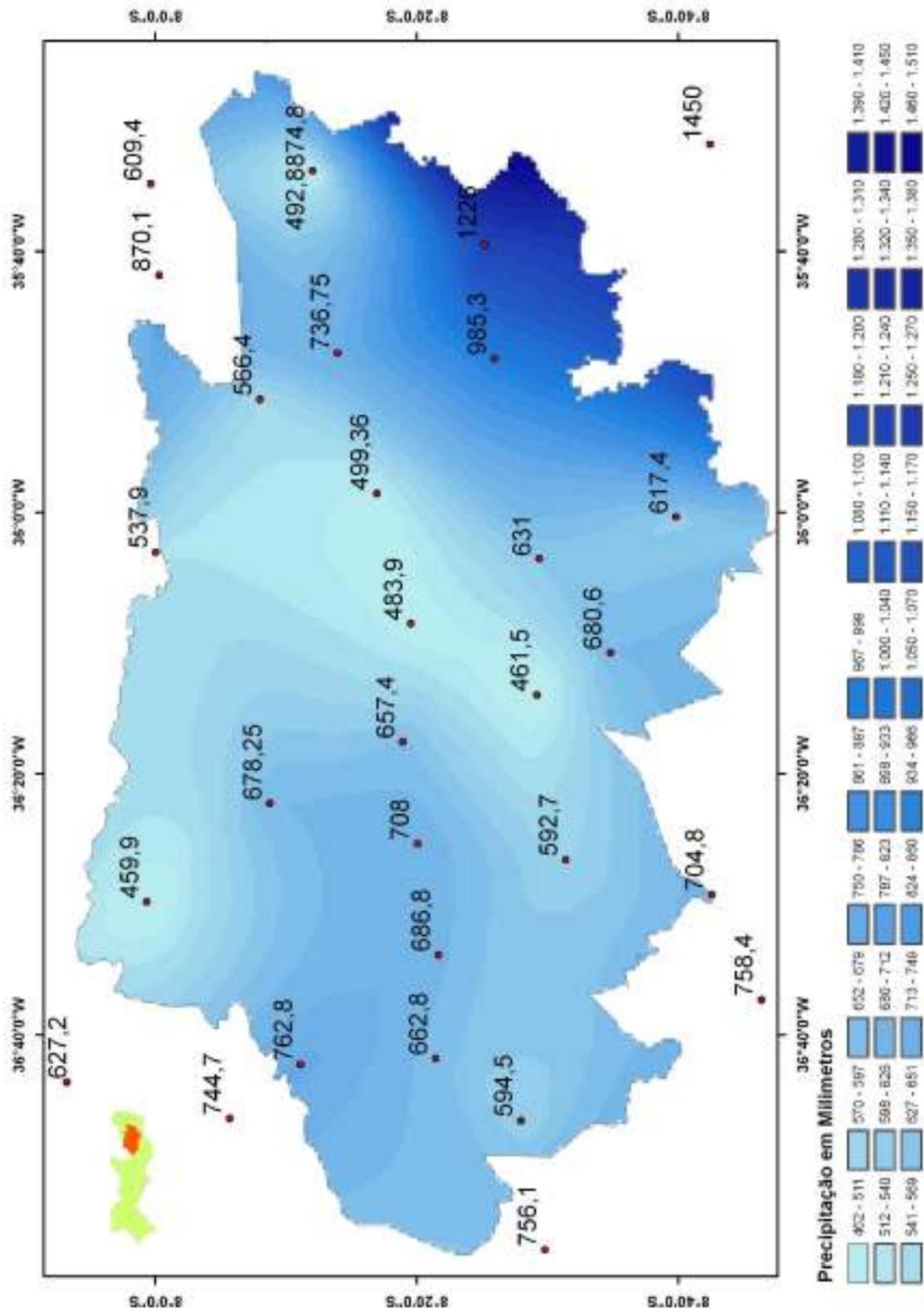


Figura 5. Distribuição da Precipitação média do Agreste Central.

## **Cobertura vegetal**

A vegetação do agreste central é composta por dois biomas, o bioma da Mata Atlântica e o da Caatinga. Este último é típico de regiões com baixos índices de chuvas e, suas principais características são a presença de arbustos com galhos retorcidos, cactos e bromélias, e a caducifolia dos arbustos, que costumam perder, quase que totalmente, as folhas nas épocas secas (LIRA, MOTA FILHO 2007).

A Mata Atlântica é a segunda maior floresta pluvial tropical do continente americano, que originalmente estendia-se de forma contínua ao longo da costa brasileira, penetrando até o leste do Paraguai e nordeste da Argentina em sua porção sul. Extremamente heterogênea em sua composição, a Mata Atlântica estende-se de 4° a 32° S e cobre diversas zonas climáticas e formações vegetacionais, de tropicais a subtropicais (MANTOVANI, 2003). Variações longitudinais são igualmente marcantes. Quanto mais interioranas, mais sazonais tornam-se as florestas, com índices de pluviosidade caindo de 4000 mm a 1000 mm. Várias formações encontram-se associadas ao bioma, como mangues, restingas, formações campestres de altitude e brejos (florestas úmidas resultantes de precipitação orográfica em meio a formações semi-áridas no nordeste brasileiro) (SILVA, 2009).

# CAPÍTULO II

---

MAPEAMENTO E QUANTIFICAÇÃO DA COBERTURA VEGETAL NO AGRESTE  
CENTRAL DE PERNAMBUCO UTILIZANDO O NDVI

## 1. INTRODUÇÃO

O avanço nas pesquisas e gerações de novos sensores orbitais e sua distribuição de forma mais acessível aos usuários, tornam as imagens de satélite um dos produtos do sensoriamento remoto mais utilizado para análises da cobertura vegetal das terras. Essas tecnologias contribuíram para o mapeamento, monitoramento, fiscalização e controle da cobertura vegetal de extensas áreas da superfície terrestre (PONZONI, 2001).

O mapeamento e monitoramento da cobertura vegetal receberam considerável impulso nas últimas décadas, com o advento do sensoriamento remoto, processamento digital de imagens e políticas de combate ao desmatamento. Segundo Fonseca (2000), o uso das imagens de satélites funciona como fonte de informações para produção de mapas.

O NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) é o índice de vegetação mais amplamente usado no processamento de dados de satélite, pois explora as propriedades espectrais da absorção da vegetação nos comprimentos de onda do visível. A vegetação absorve mais no visível por causa da clorofila e tem seu pico de reflectância no infravermelho, dependendo da anatomia da folha (MYNENI *et al.*, 1995). Esse índice pode ser um estimador da radiação usada dentro do processo da fotossíntese que ocorre nas folhas, assim como das variações sazonais e interanuais ligadas à planta (STÖCKLI; VIDALE, 2004; STÖCKLI, 2005). Ele foi proposto por Rouse em 1974, devido a sensibilidade à presença de vegetação verde (BANNARI *et al.*, 1995). Responde bem às mudanças na quantidade de biomassa verde, conteúdo de clorofila e estresse por água (LIANG, 2004), além de

auxiliar na estimativa de colheitas agrícola e das precipitações pluviométricas em áreas semi-áridas.

O NDVI é simples e fácil de ser executado, podendo ser efetivo na predição de propriedades da superfície quando a copa da vegetação não é muito densa ou muito esparsa, pois, se a copa for muito esparsa, o sinal do solo (ou outra feição) interferirá no NDVI e, por outro lado, se a copa for muito densa, a reflectância no vermelho não altera muito, mas, no infravermelho próximo, continua a aumentar, saturando o NDVI (LIANG, 2004). Torna-se assim, insensível, ou saturado, para valores de IAF – Índice de Área Foliar de 3 a 4, que está abaixo da média global das florestas tropicais (média de 4,7) (ASNER *et al.*, 2004).

A região do Agreste Central de Pernambuco compreende um mosaico vegetacional, pois está em uma área de transição entre dois biomas, Mata Atlântica e Caatinga, sendo este último o mais expressivo na região. Estas são caracterizadas distintamente. Porém, ocorrem misturas e interseções desses dois biomas em alguns segmentos na paisagem, principalmente próximo às zonas de contato entre os dois biomas e nas áreas de brejo de altitude, dentro do semi-árido, que proporcionam condições do surgimento de florestas ombrófilas densas (AB'SABER, 2008).

## **2. MATERIAIS E METÓDOS**

### **2.1 Aquisição, registro e mosaico das imagens**

Para a realização deste estudo foram utilizadas três cenas do sensor TM/LANDSAT-5, disponibilizadas gratuitamente pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), de pontos e orbitas: 214/66; 215/66 e 215/65. A primeira é de 29 de agosto de 2007 e as duas últimas de 19 de julho de 2007, compondo um

mosaico. A escolha foi feita tomando como referência imagens com datas próximas e com pouca cobertura de nuvem para facilitar a visualização dos alvos analisados. As cenas utilizadas compreendem o período de maior precipitação (Figura 6), pois sendo a área de estudo, em sua maior parte, uma zona climática semi-árida será enfatizado o maior vigor da vegetação.

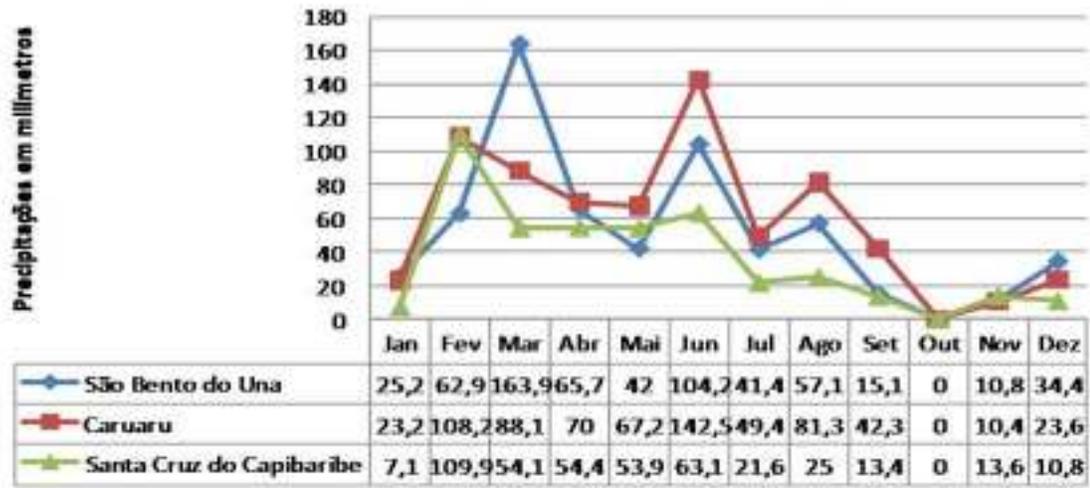


Figura 6. Precipitações mensais do ano de 2007 um município por cena. São Bento do Una, 215/66; Caruaru, 214/66; Santa Cruz do Capibaribe, 215/65.

Foi feito um registro, tomando como base pontos colhidos com o auxílio de um aparelho GPS, tendo sido possível percorrer grande parte da área coberta pelo mosaico e pela área de estudo. Cada banda espectral do satélite Landsat 5TM possui uma resolução de 30m, isto é, cada “*pixel*” congrega uma área quadrangular de 30m X 30m. Assim, um “*pixel*” pode comportar mais que um tipo de “corpo terrestre”, isto é, corpos que refletem a energia solar de formas distintas.

A diferença de tonalidades entre uma das cenas (Figura 7 (a) e (b) da (c)) ocorre devido à diferença de dias na passagem do satélite, interferindo no ângulo

de visada, ângulo zenital (em relação à iluminação solar, sombreamento), também em relação à umidade relativa e aparente e, principalmente, na precipitação.

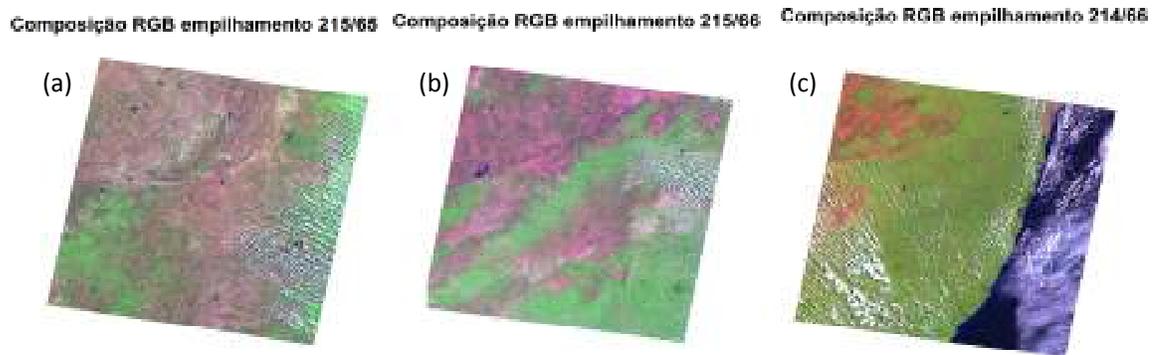


Figura 7. Cenas do satélite Landsat 5 TM, com as bandas 1,2,3,4,5 e 7 empilhadas com a composição RGB falsa cor. (a) ponto e órbita 215/65; (b) ponto e órbita 215/66; (c) ponto e órbita 214/66

## 2.2 Empilhamento das bandas e extração das nuvens e sombras

Para o empilhamento foram somadas as bandas 1 a 5 e a 7 que compõem as imagens, no software Erdas 9.3 do laboratório de Geografia Física Aplicada/Grupo de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento.

Para a extração das nuvens, primeiramente foi realizada uma classificação supervisionada do mosaico, contando com as classes de nuvens, sombras e uma classe com todos os outros componentes do mosaico. O segundo passo transformou essa classificação supervisionada em uma máscara na qual foram atribuídos valores iguais a zero nas classes de nuvens e sombras.

## 2.3 Calibração Radiométrica

Essa etapa constitui o cômputo da radiância espectral de cada banda, ou seja, efetivação da Conversão Radiométrica, em que o número digital de cada pixel

da imagem é convertido em radiância espectral monocromática (SILVA, 2009). Segundo Markham e Baker (1987), essas radiâncias representam a radiação solar refletida por cada pixel, por unidade de área, de tempo, de ângulo sólido e de comprimento de onda, medida ao nível do satélite Landsat TM 5, para as bandas 1 a 5 e 7 (equação 1).

$$L_{\lambda_i} = a_i + \frac{b_i - a_i}{255} ND \quad (1)$$

Onde para obter  $L_{\lambda_i}$ , **a** e **b** são as radiâncias espectrais mínima e máxima, **ND** é a intensidade do pixel, e **i** corresponde as bandas do satélite.

A radiância calculada é a conversão radiométrica do número digital em valor espectral monocromático, neste caso o valor de radiância que é apresentado pelo “*pixel*” corresponde à média das radiâncias de todos os corpos abrangidos, ponderada pela área ocupada, sendo parte crucial para o cálculo do NDVI.

## 2.4 Cálculo da Reflectância

É definida como sendo a razão entre o fluxo da radiação solar refletida e o fluxo de radiação solar incidente (equação 2).

$$\rho_{\lambda_i} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda_i}}{k_{\lambda_i} \cdot \cos Z \cdot d_r} \quad (2)$$

Onde  $L_{\lambda_i}$  é a radiância espectral de cada banda,  $k_{\lambda_i}$  é a irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera,  $Z$  é o ângulo zenital solar e  $d_r$  é o quadrado da razão entre a distância média Terra-Sol ( $r_0$ ) e a distância Terra-Sol ( $r$ ), em dado dia do ano. A reflectância espectral de uma dada superfície é extremamente complexa, sendo afetada pela diversidade de materiais presentes e

suas concentrações, pelo tamanho de seus constituintes, além da geometria de visada. Todos os atributos do solo são importantes, porém, em diferentes graus (FIORIO *et al.*, 2001).

A reflectância apresentada pelas fitofisionomias na região do visível onde a vegetação é mais densa apresenta menores valores, sendo decorrentes da maior absorção da radiação dos raios solares pela vegetação. Os valores vão aumentando a medida que a absorção diminui e há mais reflexão da radiação solar. Sendo assim, os solos expostos são os que refletem mais a radiação do sol (SILVA, 2009).

## 2.5 Cálculo do *Normalized Difference Vegetation Index* - NDVI

Para o cálculo do Índice, foram utilizados os dados das imagens 215/66 e 65 e 214/66, para todo o mosaico já que estão na mesma faixa, e apresentam-se mais homogêneos. O NDVI é obtido por meio da razão entre a diferença das refletividades do infravermelho próximo e do vermelho (equação 3).

$$\text{NDVI} = (\mathbf{A} - \mathbf{B}) / (\mathbf{A} + \mathbf{B}) \quad (3)$$

Onde: **A** é a reflectância no infravermelho próximo; **B** é a reflectância no vermelho

Para melhor visualização do resultado, o NDVI foi dividido e classificado em cinco classes, de acordo com os índices referentes à imagem (Tabela 1).

Tabela 1. Valores do NDVI, utilizados na seleção para classificação supervisionada

Classes	Índices
Nuvens e sombras	< -0,1

Solo exposto	0,01 a 0,1
Vegetação Densa	> 0,6
Vegetação Esparsa	0,2 a 0,4
Vegetação Rala	0,1 a 0,2

## 2.6 Classificação Supervisionada

Para a classificação supervisionada foi realizado um novo empilhamento das imagens só que, desta vez, trocando a banda 3 pelo NDVI, dando um maior realce na vegetação, facilitando a identificação dos diferentes tipos de vegetação. Foram aplicados métodos estatísticos convencionais, como a análise de “*clusters*” e interação de “*pixel*”, onde cada *pixel* pode interagir com vizinhos de valores próximos, definidos pelo valor de *cluster*.

Na função *Signature* do software Erdas 9.3 foram retiradas amostras dos valores de cada componente de interesse da imagem, água, solo exposto e os diversos tipos de vegetação, de acordo com os pontos marcados com o GPS e com a classificação sugerida por Lourenço e Landim (2004). Para rodar a classificação da imagem, os valores mais altos do índice são associados à maior densidade da cobertura vegetal, resultando em cinco classes distintas.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a realização do mosaico (Figura 8) e da geração do índice foi realizado um desmembramento das bandas de reflectância para compor um novo empilhamento com as bandas 1, 2, 4, 5 e 7 e o NDVI no lugar da banda 3, com o objetivo de realçar a vegetação e o solo exposto, pois as áreas com solo exposto na região do Agreste Central pernambucano se mostraram com pouca ou nenhuma presença de vegetação com o resultado do NDVI, logo fez-se necessário essa

substituição da banda 3 pelo NDVI para realçar melhor a vegetação mais esparsas e rala (Figuras 8 e 9).

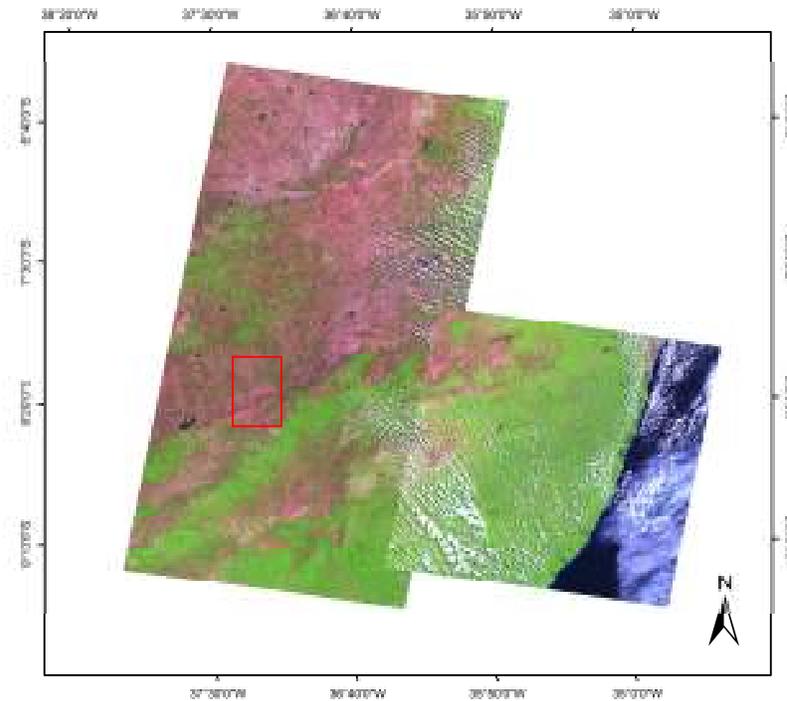


Figura 8. Mosaico das cenas 214/66, 215/66 e 65 na composição RGB falsa cor.

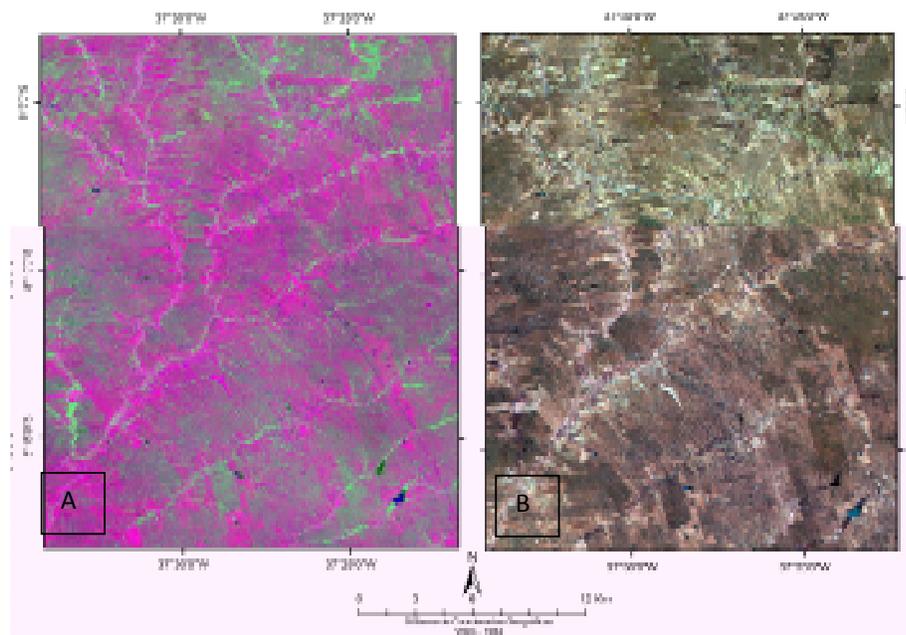


Figura 9. Combinação das bandas 5, 3, 2 em falsa cor, representando uma amostra do Agreste Central pernambucano. A – Empilhamento de banda com o

NDVI, realçando a vegetação em cor verde do solo exposto na cor roxa, onde o NDVI substitui a banda 3. B - Empilhamento comum sem o NDVI com a Banda 3.

Segundo Ponzoni e Shimabukuro (2007), para o sensoriamento remoto, a vegetação responde de acordo com a estação do ano. Em climas semi-áridos, a melhor resposta do porte vegetal é obtida durante o período chuvoso, pois a vegetação é encontrada no seu porte mais vigoroso. Porém, os autores afirmam que mesmo que tenha passado o período chuvoso, a vegetação em climas semi-áridos continua com vigor por dois a três meses após o término das precipitações.

Na imagem do NDVI, os níveis de cinza mais claro (Figura 10), expressam valores que representam altos índices de vegetação, enquanto os níveis de cinza mais escuro representam baixos índices de vegetação com níveis de cinza próximos a zero. Estes valores baixos correspondem a alvos urbanos, solos expostos e água.

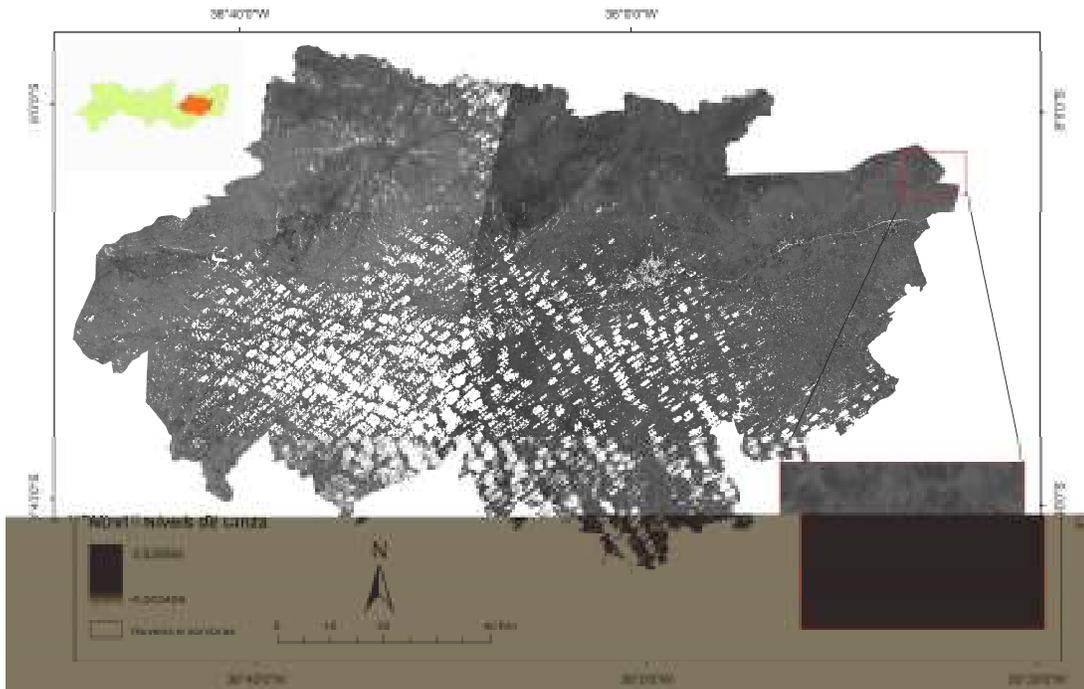


Figura 10. NDVI em escala de cinza no Agreste Central de Pernambuco, com extração das Nuvens e Sombras, onde os níveis de cinza mais claro representam a vegetação mais densa, enquanto que os mais escuros são alvos com baixos índices de vegetação.

As áreas de solo exposto representam 10,5% do Agreste central; aparecem principalmente ao oeste da região, fruto das condições climáticas e da pressão antrópica, na retirada da vegetação para transformação em pastagem e produção de lenha.

A vegetação densa ocupa uma área de 39,7% (Tabela 2) da região de desenvolvimento do Agreste central. Essas áreas correspondem, em sua maioria, às áreas elevadas, como topos das serras, também conhecidas como áreas de exceção ou brejos de altitudes. Essas áreas presentes no semi-árido nordestino correspondem a vestígios de mata em plena zona de menor precipitação, suportados pelo fator altitude.

Tabela 2. Relação Classes/Número de Pixel/Porcentagem do Índice de vegetação

Classes	Número de Pixel	Porcentagem (%)
Nuvem/Sombra	2.438.682	21,8%
Solo Exposto	1.148.074	10,5%
Vegetação Densa	4.436.695	39,7%
Vegetação Esparsa	1.511.232	13,6%
Vegetação Rala	1.617.300	14,3%

Com uma área de 13,6%, a vegetação esparsa mais típica do clima semi-árido apresenta-se muito próxima das áreas de exceção, ocupando principalmente os sopés das serras, sofrendo intensa pressão antrópica para transformação

destas áreas em pastagens para gado ou área de agricultura, pois apresentam relativa umidade, devido à proximidade das serras. A vegetação rala pode ser apresentada como fruto do desmatamento, compondo áreas de pastagens, principalmente na parte sul da região de desenvolvimento, com uma área de 14,3%, (Figura 11).

As nuvens representam 21,8% do recorte da área, sendo quase impossível obter imagens sem a presença das mesmas, devido à atuação das ondas de leste e das massas de ar atuantes da região.

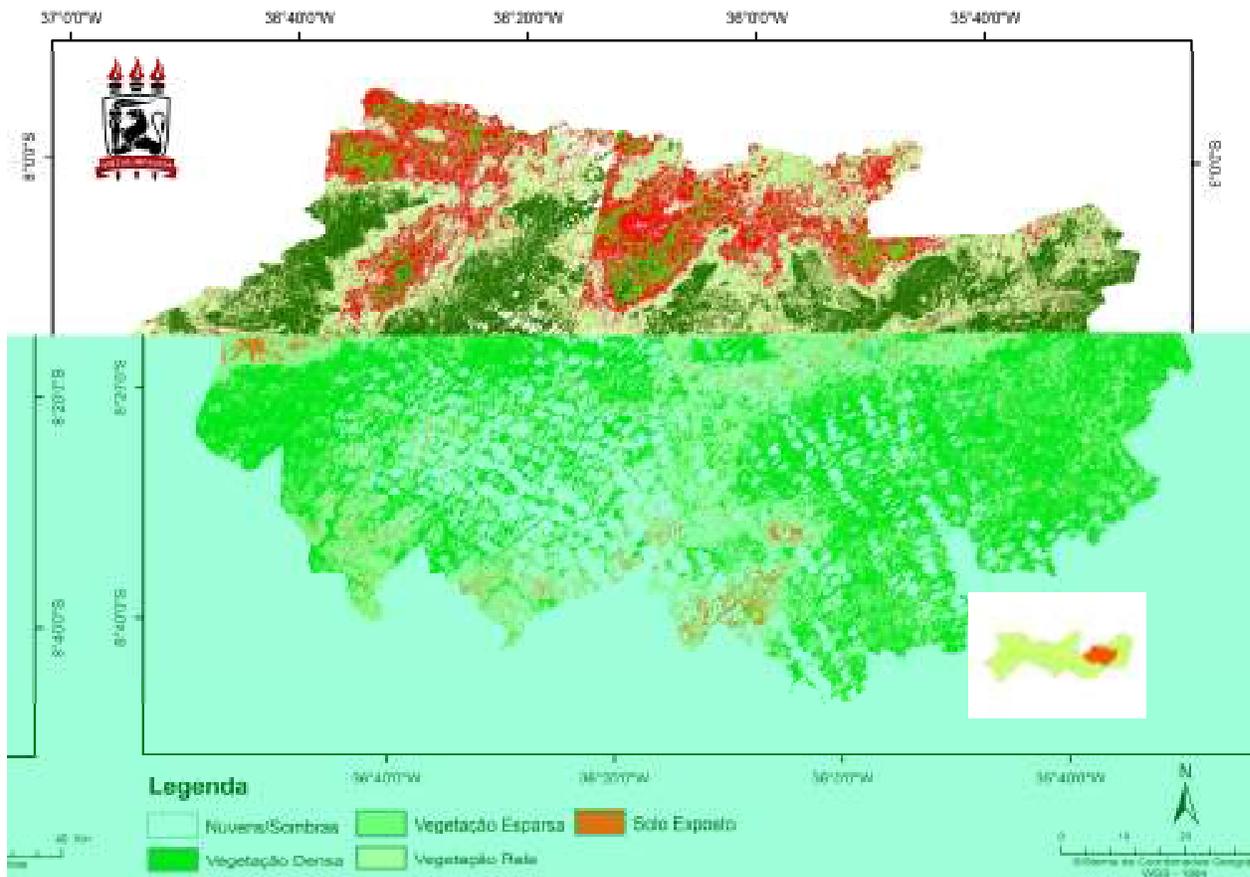


Figura 11. NDVI classificado do Agreste Central, apresentando cinco categorias, nas quais três são referentes às vegetações, uma de solo exposto e, a última, de nuvens e sombras de nuvens.

#### **4. CONCLUSÕES**

O NDVI apresentou uma caracterização satisfatória para a classificação do estado da vegetação do ano de 2007 para o Agreste Central pernambucano, porém ocorreu uma confusão com os índices de nuvens, sombras e solos exposto.

O Agreste Central, assim com outras áreas do semi-árido do estado de Pernambuco, sofre intensa pressão antrópica, principalmente por fatores já conhecidos como a retirada da vegetação para agricultura, formação de pastagens.

Os maiores índices de vegetação encontram-se localizados sobre as áreas mais elevadas, como os topos das serras conhecidas também como brejos de altitudes ou áreas de exceção, por estarem dentro do clima semi-árido e apresentarem índices de precipitações que dão suporte a uma vegetação de maior porte dentre outros fatores.

Em relação às áreas de transição de Mata, Agreste, não foi possível obter uma maior discriminação dos biomas encontrados na área, devido às influências e interseções entre os biomas.

# CAPÍTULO III

---

MAPEAMENTO MORFOESTRUTURAL E GEOMORFOLÓGICO PARA O  
AGRESTE CENTRAL DE PERNAMBUCO

## 1. INTRODUÇÃO

Os mapas geomorfológicos apresentam a possibilidade de mostrar as formas de relevo que estruturam a paisagem e tem por finalidade a representação do relevo quanto a suas formas estruturais e esculturais, buscando apresentar uma proximidade máxima à realidade, de acordo com a escala. Pode-se dizer que a compartimentação geomorfológica possibilita uma visão integrada do ambiente, pois considera as variáveis responsáveis pela estrutura e escultura resultante do meio físico. O Agreste pernambucano compreende uma região de transição morfoclimática, segundo Ab'Saber (2008), situa-se entre dois morfoclimas distintos, um mais úmido e outro semi-árido. Nesse contexto, o relevo dessa área compreende formas típicas tanto de zonas secas quanto de áreas com maior disponibilidade de água. A proposta desse trabalho justifica-se pela carência de mapeamentos do relevo em escala regional no estado de Pernambuco.

Com o avanço das tecnologias, a realização dos mapeamentos do relevo conta hoje com técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, pois, o recobrimento de extensas áreas imageadas por satélites orbitais e radares interferométricos atende à perspectiva da análise regional da geomorfologia, uma vez que nelas sobressaem os grandes quadros estruturais (TAVARES et. al. 2009). Com isso, ampliam-se as possibilidades da realização de levantamentos dos recursos naturais de países de dimensões continentais, como é caso do Brasil. O objetivo deste trabalho consiste em realizar o mapeamento do relevo da Região de Desenvolvimento do Agreste Central de Pernambuco, a fim de sistematizar os dados no que diz respeito às unidades de relevo da área analisada. Localizada na mesorregião do Agreste pernambucano, a região de desenvolvimento do Agreste

Central com uma área de 10.117 km<sup>2</sup>, delimita-se entre as coordenadas geográficas 36° 50' 00" e 35° 30' 00" Oeste e 8° 40' 00" e 8° 0' 0" Sul.

A área mapeada compreende uma parte do nordeste brasileiro situado sobre o Planalto da Borborema, tendo como característica as extensas zonas de cisalhamento (LIMA, 2008). O Lineamento Pernambuco é a principal estrutura pré-cambriana recorrente na área estudada (Figura 12).

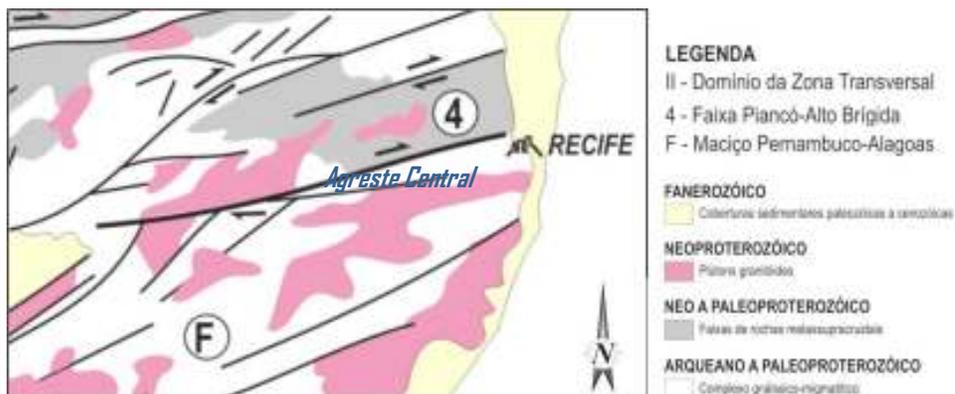


Figura 12. Mapa geológico simplificado da província Borborema do litoral ao agreste de Pernambuco, exibindo seus principais domínios geotectônicos. Editado de Lima (2008) em Jardim de Sá (1994).

## 2. MATERIAIS E METÓDOS

### 2.1 Modelagem Numérica do Terreno - MNT;

A modelagem numérica do terreno foi realizada a partir dos dados *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) Miranda (2005). A modelagem foi realizada para a obtenção dos mapas de Declividade, Hipsometria, Curvas de Nível, Densidade de Drenagem, Indicação de Fluxo do Escoamento Superficial e Modelo Digital de Elevação, segundo LANDIM et. al. (2007). Serviu também para confecções de perfis topográficos para identificação das unidades do relevo. O processamento dos dados foi realizado com o auxílio dos *softwares* ArcGis 9.3,

MicroDEM, Surfer 9 e 3DEM (disponíveis no Departamento de Ciências Geográficas - UFPE).

## **2.2 Mapeamento Geomorfológico**

Utilizaram-se as normas estabelecidas pela comissão de mapeamento de detalhe da União Geográfica Internacional – UGI (DEMECK, 1972), e as normas do manual técnico de Geomorfologia do IBGE (NUNES, 1995). A partir das análises da base de dados formados pelos mapas Geológico e Estrutural (BRASIL, 2001), mapa de Solos (SILVA *et. al*, 2001), modelagem numérica do terreno e trabalho de campo, utilizando a metodologia recomendada pelo IBGE (1995) para identificação de formações superficiais, obteve-se o mapa geomorfológico.

## **2.3 Utilização de imagens de Satélite**

Para a identificação das feições do relevo e conseqüentemente da geomorfologia por meio de combinações de bandas, foi utilizada a proposta de Florenzano (2007) que indica, no caso de predomínio do solo exposto, vegetação de baixo porte e pouca densidade, as combinações do infravermelho médio. Como a área do Agreste Central pernambucano não apresenta uma vegetação densa, utilizou-se a combinação TM 4-7-5, auxiliando nas interpretações e caracterização da área a partir das imagens de satélite Landsat 5 TM.

# **3. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

## **3.1 Mapa Morfoestrutural**

No mapa morfoestrutural são reconhecidas duas morfoestruturas distintas, os pediplanos centrais da Borborema, ao sul do Lineamento Pernambuco, e os Maciços Remobilizados da Zona Transversal, ao norte do Lineamento Pernambuco

(Figura 13). Esta última foi remobilizada com mais agilidade durante o período Cenozóico por ser mais falhada, além de ter encaixada uma grande diversidade de granitos e granitóides Brasileiros que se destacam por erosão diferencial, relacionados à Faixa Piancó-Alto Brígida, unidade geotectônica (BRITO NEVES, 1975) compreendida entre dois importantes lineamentos de direção leste/oeste, o lineamento de Patos, ao norte, e o de Pernambuco, ao sul. Os terrenos ao sul do lineamento são dominados por gnaisses e rochas metamórficas do complexo Belém do São Francisco, muito mais antigo e sem grandes intrusões Brasileiras, formando pedimentos, levemente arqueados pela flexura, relacionados à zona de cisalhamento, séria candidata a ser limite de terrenos (SILVA JÚNIOR, 1997), microplacas ou faixas e exerceram papel marcante na colagem de blocos no final da orogenia Brasileira.

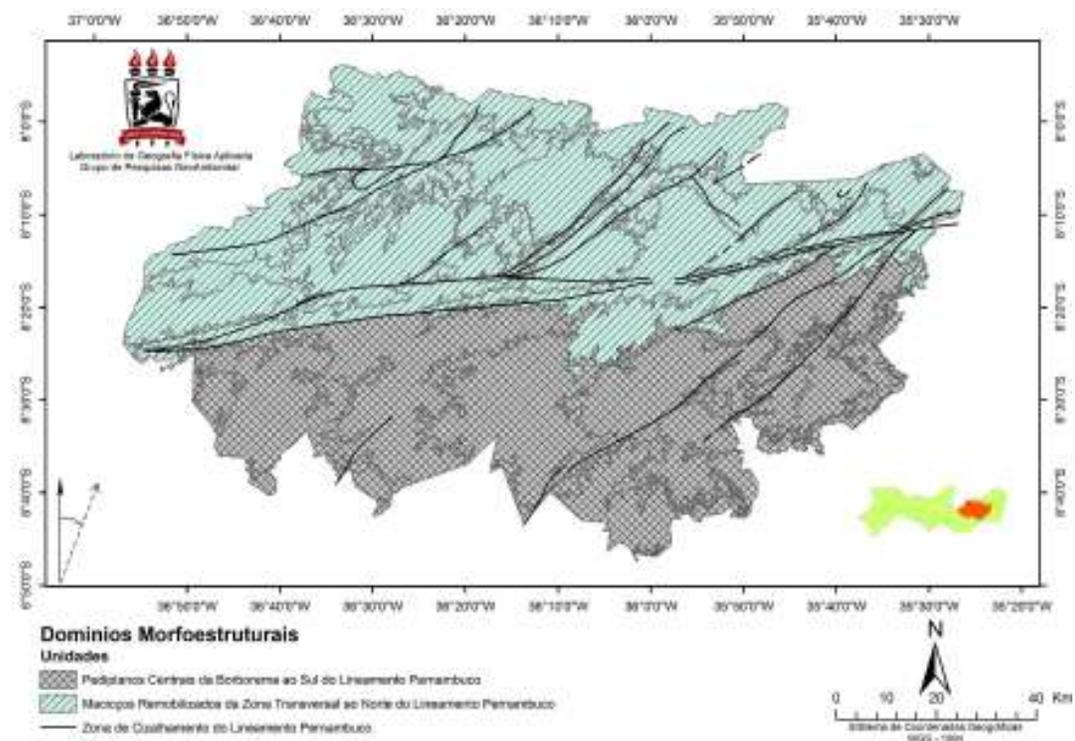


Figura 13. Mapa Morfoestrutural do Agreste Central pernambucano, subdividido em: Pedimentos Centrais da Borborema ao Sul do Linemaneto Pernambuco e

Maciços Remobilizados da Zona Transversal ao Norte do Lineamento Pernambuco.

### 3.2 Mapa Geomorfológico

Para confecção do mapa geomorfológico, primeiramente identificaram-se as possíveis rupturas do relevo, a partir do mapa de declividade (Figura 14) que podem servir de indicativo de limites entre unidades de relevo, junto ao mapa hipsométrico (Figura 15) e as imagens de satélite Landsat, com combinação de banda adequada (Figura 16), para a área de estudo.

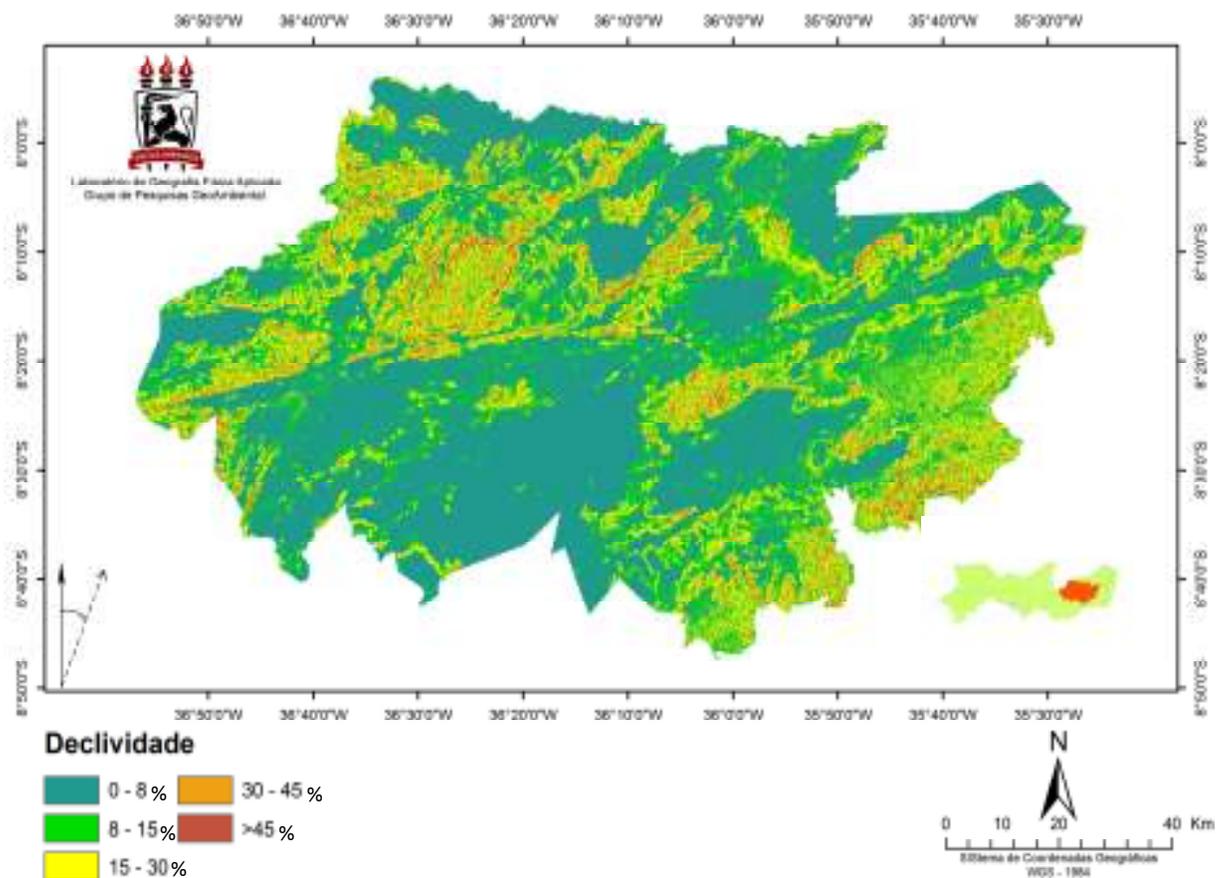


Figura 14. Mapa da declividade geral do Agreste Central pernambucano.

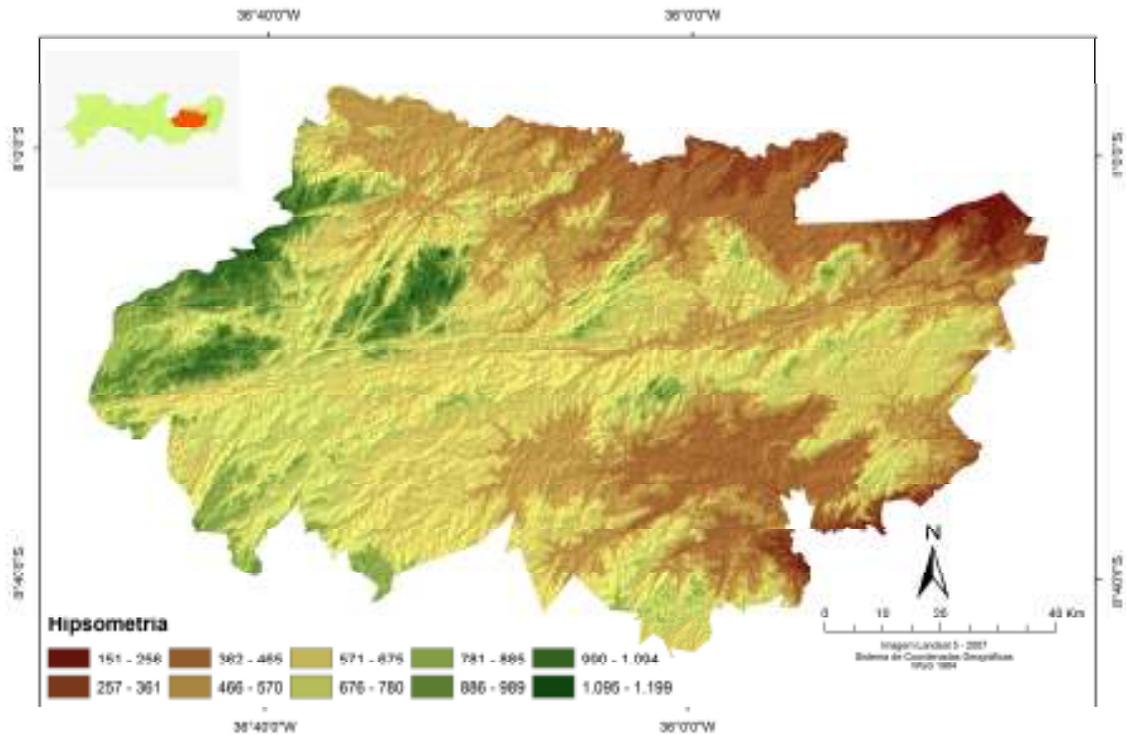


Figura 15. Mapa Hipsométrico do Agreste Central.

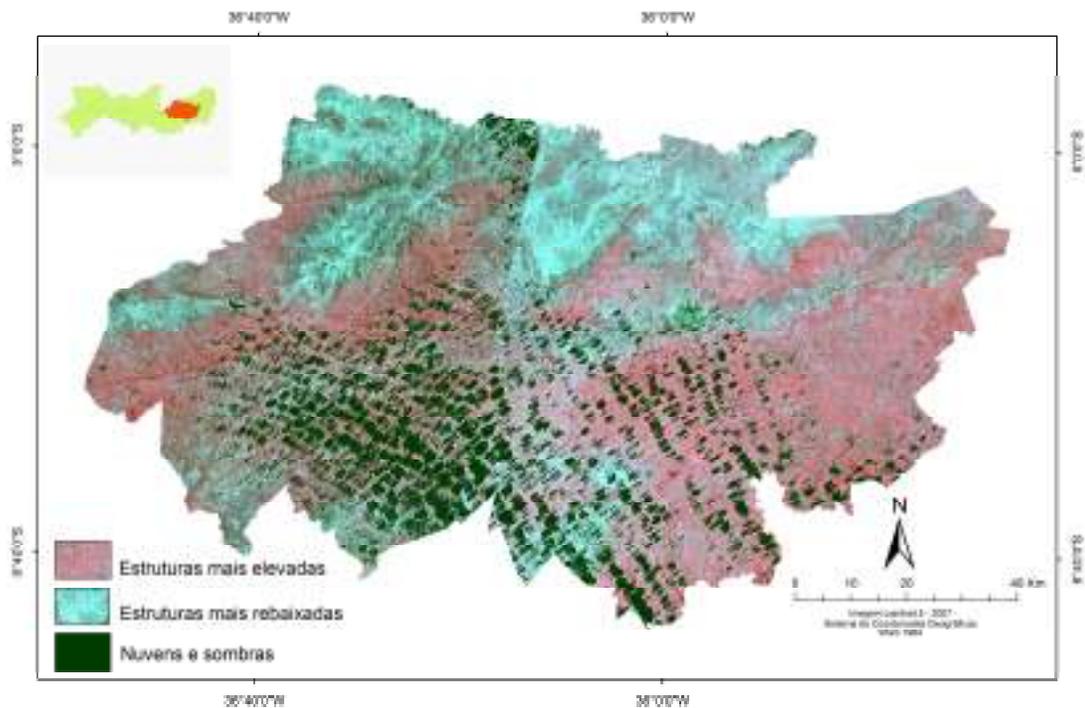


Figura 16. Imagens de satélite Landsat 5 – 215/66, 215/65 e 214/66, com combinação de banda 4-7- 5, realçando as principais estruturas de relevo, mais baixas e mais elevadas.

### 3.2.1 Pedimentos em Diversas Altitudes

São áreas moderadamente planas (Figura 17), com declividade inferior a 7% restringidas por maciços residuais formando áreas de retirada de sedimentos com estrutura superficial dominada por Planossolos e Neossolos Litólicos, sobre os quais se formam pavimentos detríticos pela retirada das fáceis mais finas devido à atuação da erosão laminar.



Figura 17. Fotografia evidenciando unidade pedimentar, na área do Agreste Central pernambucano.

Esta unidade morfoescultural delimita-se pelas curvas topográficas de 800 a 200m, interpondo-se entre superfícies de cimeira e maciços residuais, podendo ser subdividida nas seguintes unidades a partir da desarticulação altimétrica entre os níveis de pedimentos (Figura 18).

- Pedimento Detrítico a 200, 400, 500 e 600m;

- Pedimento Rochoso a 700 e 800m.

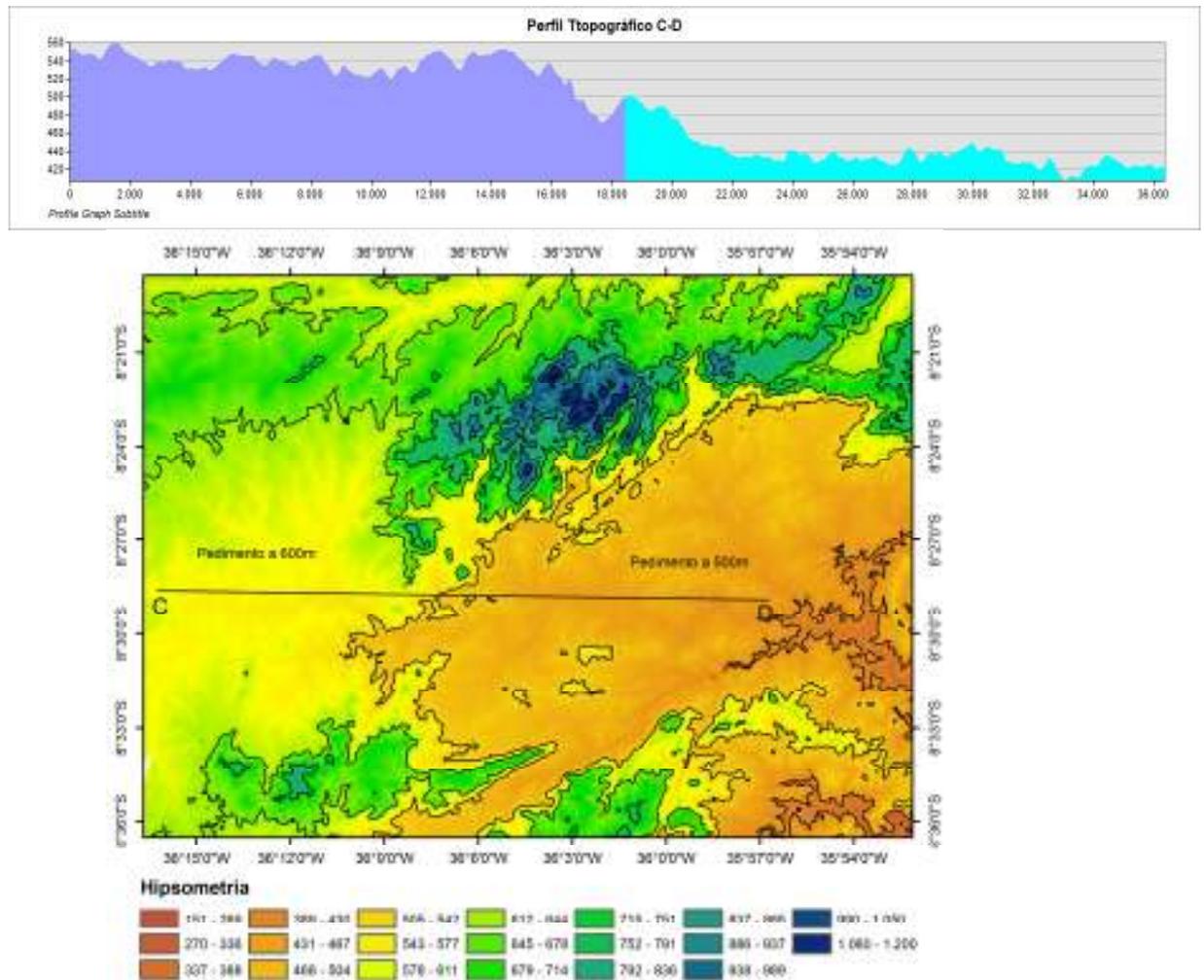


Figura 18 Perfil Topográfico C - D da unidade Pedimentar de 600 e 500m mostrando a ruptura das unidades na área do Agreste Central de Pernambuco. Mapa Hipsométrico evidenciado as formas de pedimentos a 600 e 500m, no Agreste Central de Pernambuco.

### 3.2.2 Maciços Residuais, Inselbergs e Cristas

São corpos intrusivos isolados na paisagem (Figura 19), delimitados por encostas íngremes sob a influência, sobretudo, do intemperismo físico (SILVA, 2007). Em virtude do gradiente de suas encostas, encontram-se sujeitos a

processos gravitacionais com presença, por vezes, de depósitos de talús em sua base.



Figura 19. Estrutura do inselberg ao fundo, na área do Agreste Central de Pernambuco.

Os inselbergs (Figura 20) ocorrem por toda parte na área de estudo, elevando-se sobre quase todas as superfícies. As cristas encontram-se alinhadas de acordo com a tendência regional do direcionamento das falhas e juntas. Estes segmentos foram divididos em cinco unidades aflorantes, Maciços remobilizados a 200, 400, 500, 600, 700 e 800m; Maciço residual a 500, 600 e 700m; Maciço residual em crista a 600 e 700m; e Inselbergs.

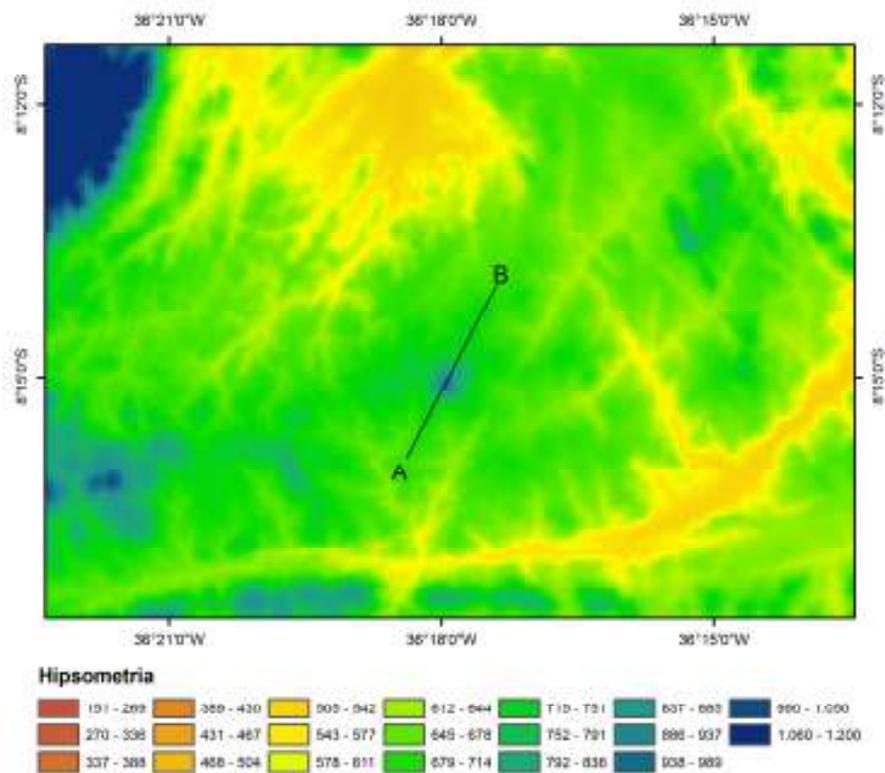
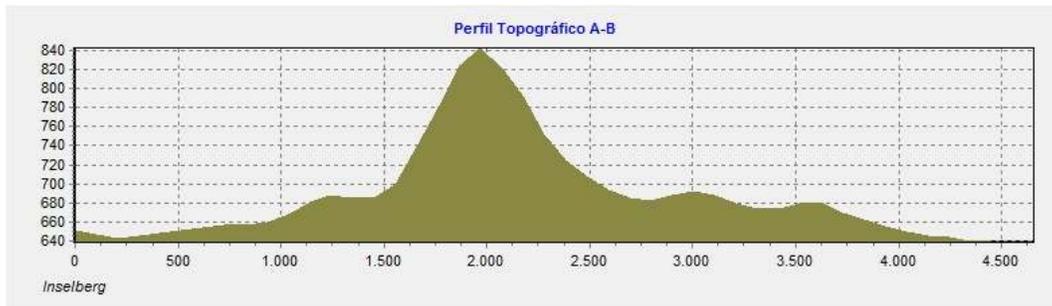


Figura 20. Perfil topográfico A-B, mostrando a forma de um inselberg típico no Agreste Central pernambucano. Mapa Hipsométrico mostrando a unidade de inselberg, na área do Agreste Central de Pernambuco.

### 3.2.3 Unidade de Cimeira

Correspondem aos níveis conservados da dissecação vertical (SOUZA, 2008) nos topos dos compartimentos planálticos e maciços residuais com uma morfologia de topo plana (Figura 21), essas áreas são cobertas por solos mais maduros, como os Latossolos ou ainda Argissolos, segundo Ker (1997), os

Latossolos em climas semi-áridos são considerados como solos-testemunhos de condições climáticas pretéritas mais úmidas, ou neste caso são resposta a uma maior estabilidade da condição do clima nessas áreas elevadas. Esta unidade também pode apresentar morfologia em crista, desprovida de cobertura sedimentar. Esta unidade encontra-se subdividida em:

- Cimeira a 700 e 900m.

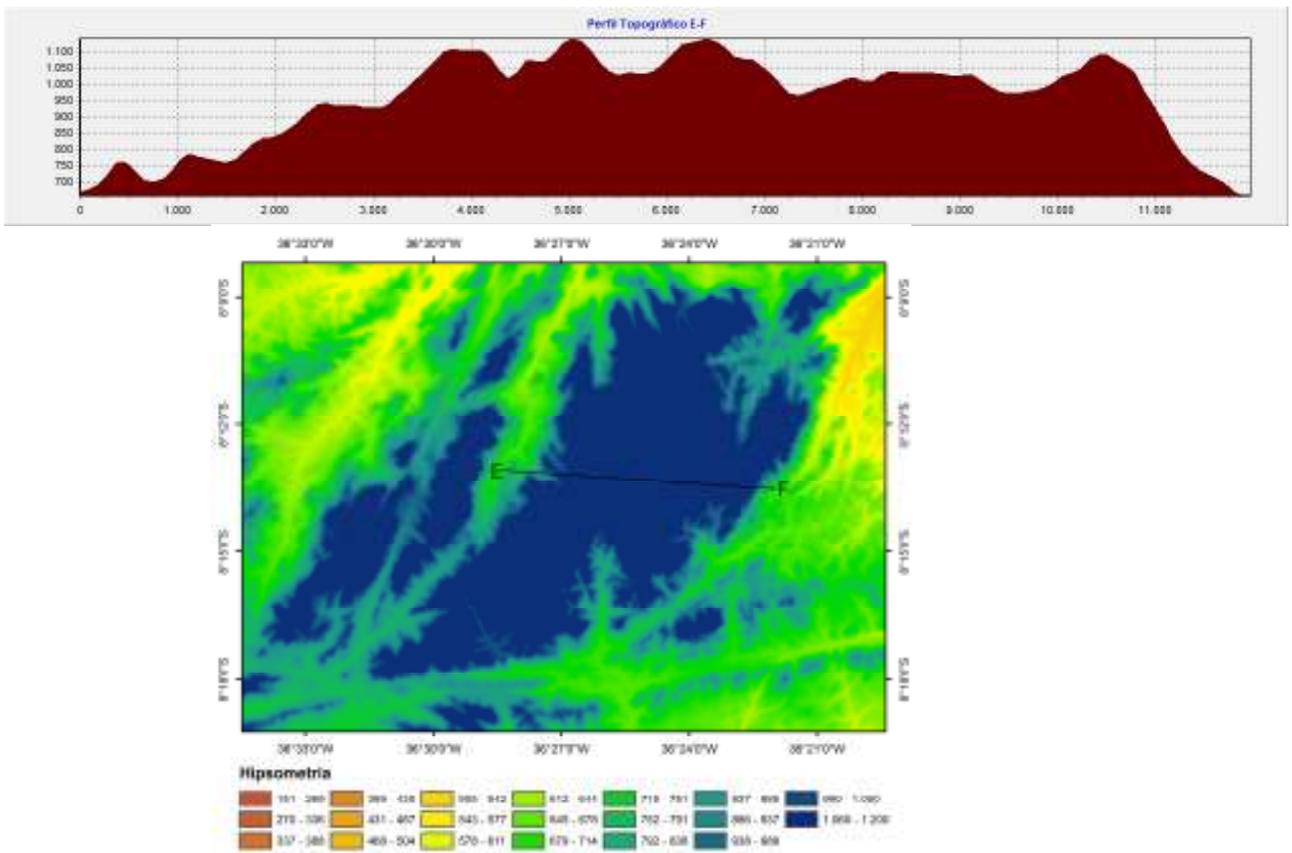


Figura 21. Perfil Topográfico E – F, mostrando uma das unidades de cimeira do Agreste Central de Pernambuco. Mapa Hipsométrico Mostrando a superfície de cimeira, compondo a superfície somital do Agreste Central de Pernambuco.

### 3.2.4 Plauto Aluvial

Este compartimento corresponde às áreas baixas e planas (Figura 22), que ocorrem ao longo dos vales, englobando as formas resultantes da deposição

(MELO 2008). São formas alongadas onde predomina o escoamento superficial. O compartimento pode ser subdividido em duas subunidades. A primeira são os terraços erosivos composto por diversos tipos de sedimentos. Para Lang (2003), em bacias de drenagem, o colúvio sofre interferência lateral pelos depósitos fluviais da planície de inundação e estes diferentes tipos de sedimentos muitas vezes não podem ser diferenciados. A outra unidade é o leito fluvial, onde predominam a deposição de aluviões compostos de areia grossa e grânulos, podendo ser observados na Figura 23.

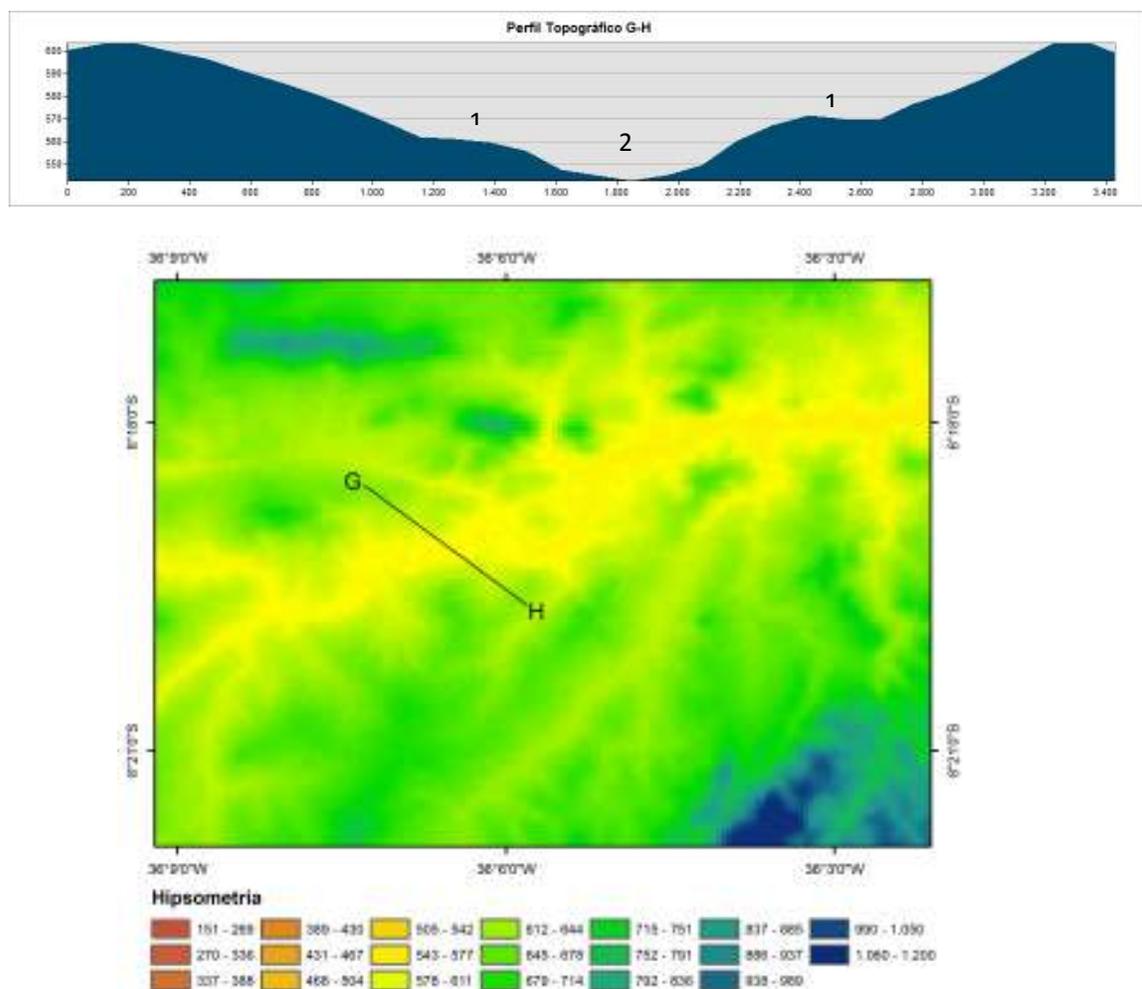


Figura 22. Perfil topográfico G – H onde aparecem os terraços erosivos (1) e o leito fluvial (2), na área do Agreste Central de Pernambuco. Mapa Hipsométrico mostrando a unidade do plano aluvial.

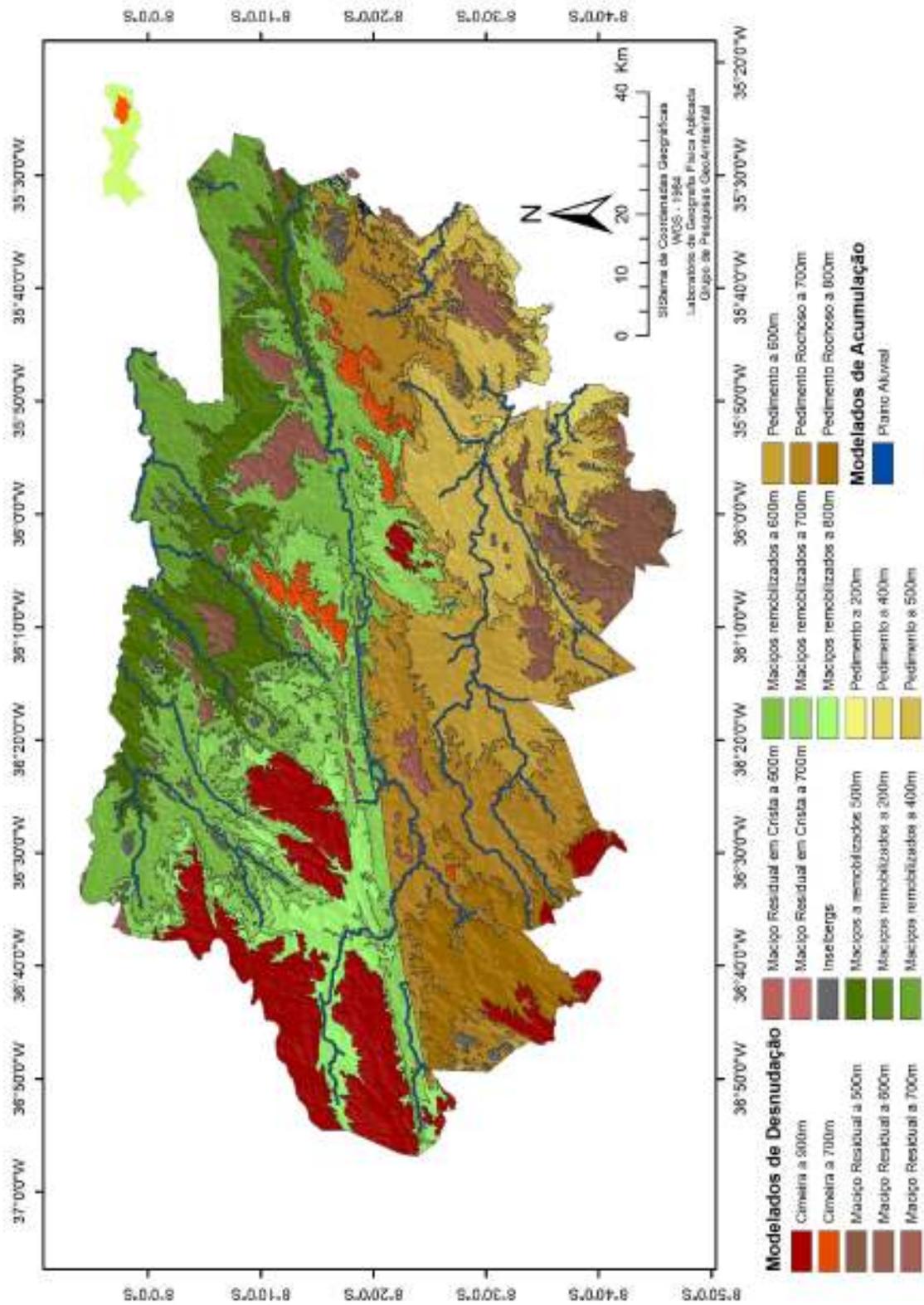


Figura 23. Mapa Geomorfológico do Agreste Central de Pernambuco.

#### **4. CONCLUSÕES**

A geomorfologia da área estudada é controlada fortemente por fatores geotectônicos relacionados com a zona transversal do lineamento Pernambuco, permitindo uma evolução diferenciada para cada segmento da área dividida pelo lineamento, estando a parte, ao norte do lineamento, bastante fraturada pelo cisalhamento dos lineamentos Patos (mais ao norte) com o Pernambuco. Logo, o desenvolvimento do relevo se dá de modo diferenciado. A parte ao sul do lineamento encontra-se sobre rochas mais antigas e menos fraturadas, dominando um relevo mais aplainado, tendendo a suave.

As superfícies de cimeira constituem praticamente a superfície somital do Planalto da Borborema, com altitudes variando entre 800 e 1.000 m. Essas podem ser as superfícies mais antigas, pois nessas áreas encontram-se mapeadas importantes manchas de latossolos, ou seja, grandes mantos eluviais bem desenvolvidos, pois solos bem desenvolvidos em áreas elevadas podem não ser decorrentes de depósitos, sendo mais provável que sua origem seja de intemperização da rocha matriz.

As áreas de Várzeas representadas no mapa em conjunto com o plano aluvial e terraços aluvionares, encontram-se diretamente relacionada com a rede de fraturas e falhas da Zona de Cisalhamento.

# CAPÍTULO IV

---

EXTRAÇÃO DA REDE DE DRENAGEM E DELINEAMENTO DE BACIAS  
HIDROGRÁFICAS UTILIZANDO DADOS TOPOGRÁFICOS

## 1. INTRODUÇÃO

A disponibilidade de dados físicos geográficos para o Nordeste do Brasil é baixa e essa escassez é agravada quando se trata na região semi-árida. Por esses motivos são necessários métodos que venham suprir essa carência de dados, portanto esta parte do trabalho aplicará esses métodos para obtenção de dados da rede hidrográfica do Agreste Central de Pernambuco, que constituem um elemento importante nos estudos de desenvolvimento ambiental, pois são parte integrante e imprescindível dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), no que diz respeito às análises e gerenciamento de recursos naturais.

Segundo Rassol (1984) e Graf (1988), as zonas áridas e semi-áridas representam 40% de toda a superfície terrestre e são ocupadas por cerca de 20% da população mundial. Os rios destas regiões são de extrema importância na economia, mesmo sendo sistemas efêmeros, ou seja, os rios e riachos são irregulares e seus fluxos superficiais desaparecem durante o período de estiagem que constituem a principal característica hidrográfica do Semi-Árido brasileiro. Esta característica relaciona-se diretamente com as condições climáticas da região, pois o domínio dos rios intermitentes está associado aos limites do clima semi-árido.

Mediante a esses fatores, as pequenas bacias hidrográficas em clima semi-árido são áreas de grande importância para a produção agrícola local, uma vez que nela encontra-se uma maior disponibilidade de água. Isto é função das pequenas várzeas e dos depósitos fluviais que servem como micro aquíferos por um determinado tempo mesmo após o término das chuvas. Porém, existe uma grande dificuldade conceitual em relação à definição de microbacias hidrográficas, apesar do Programa Nacional de Microbacia Hidrográfica (PNMH), através do decreto-lei

nº 94.076, de 5 de março de 1987, ter expandido o uso do termo, definido como uma área drenada por um curso d'água e seus afluentes, a montante de uma determinada seção transversal, para a qual convergem às águas que drenam a área considerada (BRASIL, 1987). Ocorre, entretanto, que conceito não difere em nada do conceito de bacia hidrográfica. Existe ainda a noção de microbacia hidrográfica como uma “unidade espacial mínima”, definida a partir da classificação de uma bacia de drenagem em seus diferentes níveis hierárquicos, subdividindo-a até a menor porção possível (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1993). O objetivo central deste artigo consiste na obtenção da rede de drenagem mais adensada, quantificação e classificação dos canais além dos limites das pequenas bacias hidrográficas do Agreste Central pernambucano

## **2. MATERIAS E MÉTODOS**

### **2.1 Modelagem Numérica do Terreno - MNT**

A modelagem numérica do terreno foi realizada a partir dos dados da *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), com resolução de 90m<sup>2</sup> por pixel e escala de trabalho aproximada de 1:250.00 organizado por Miranda (2005), para a extração da rede de drenagem, indicação de fluxo do escoamento superficial, direção do fluxo acumulado no terreno, segundo (MEISELS, 1995) e elaboração do Modelo Digital de Elevação, segundo Landin *et. al.* (2007). O processamento dos dados foi realizado com o auxílio do *software* ArcGis 9.3, disponíveis no Departamento de Ciências Geográficas - UFPE.

### **2.2 Extração da rede de drenagem**

Para a extração da rede de drenagem, primeiramente o raster contendo os dados numéricos foram corrigidos (Figura 24), preenchidos os vazios do raster e removidos os ruídos (TARBOTON *et. al.* 1991). Em seguida, obteve-se o direcionamento do fluxo, que é obtido pelos valores topográficos de cada pixel e agregando valores próximos (Figura 25). A partir deste, elaborou-se o fluxo acumulado no terreno (Figura 26) no qual os dados de acumulação igual a zero são locais topograficamente altos e podem ser usados para identificar cumes ou divisores d'água. Por fim, delineou-se a rede de drenagem com os dados dos rasters da direção de fluxo e do fluxo acumulado.

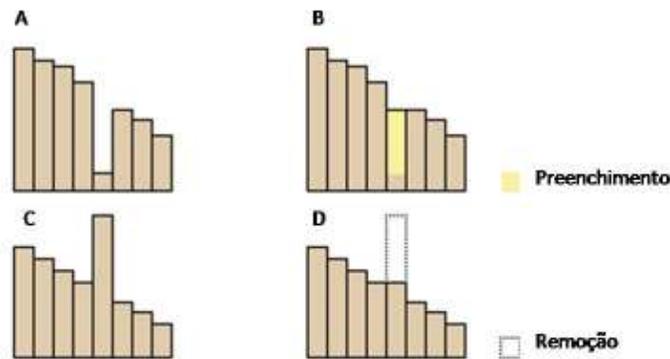


Figura 24. Perfil de um raster antes (A e C) e depois da correção (B e D). Adaptado de Tarboton (1991).

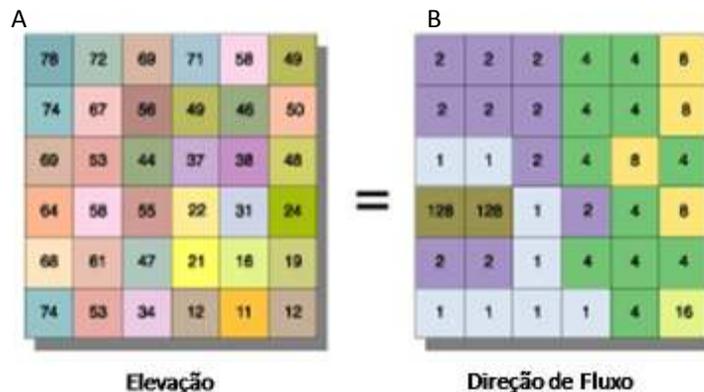


Figura 25. Matrix do raster, demonstrando os valores do pixel na agregação de valores próximos para identificação do direcionamento do fluxo superficial.

Adaptado de Greenlee (1987). A – rastes de topografia (SRTM) e B – direção do fluxo, resultado do agrupamento dos dados topográficos

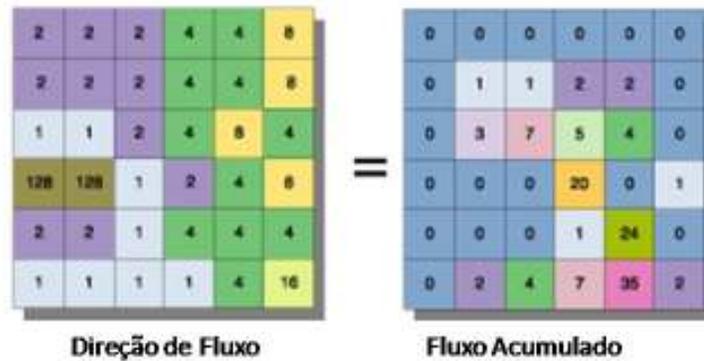


Figura 26. Matrix do raster, demonstrando os valores do pixel na agregação de valores do fluxo superficial. Adaptado de Greenlee (1987). A – direção do fluxo, resultado do agrupamento dos dados topográficos, B – Fluxo acumulado

### 2.3 Delimitação das bacias hidrográficas

Na delimitação das bacias hidrográficas, utilizou-se o raster de direção do fluxo, dividindo as principais bacias de acordo com os dados. O delineamento das bacias de drenagem identifica os divisores d'água entre bacias e analisa o sentido do fluxo para encontrar todos os conjuntos de células (pixel) ligadas que pertencem à mesma bacia de drenagem. As bacias hidrográficas são delimitadas localizando os pontos de vazão ou ruptura do relevo (Figura 27).

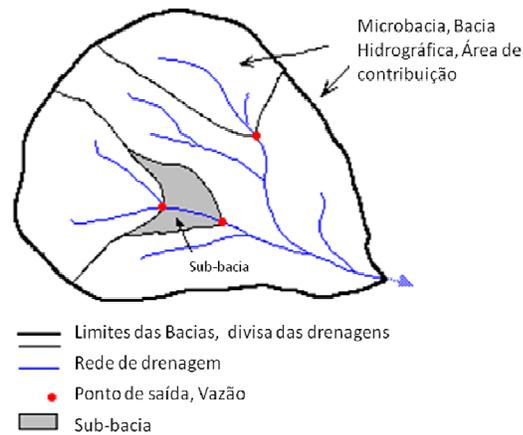


Figura 27. Modelo de pequenas bacias hidrográficas, adaptado de Tarboton (1991).

## 2.4 Hierarquização da rede de drenagem

Para a hierarquização dos canais de drenagem foi utilizada a proposta de Strahler (1952), que consiste em atribuir valores aos canais de drenagem a partir da nascente até a desembocadura da bacia (Figura 28).

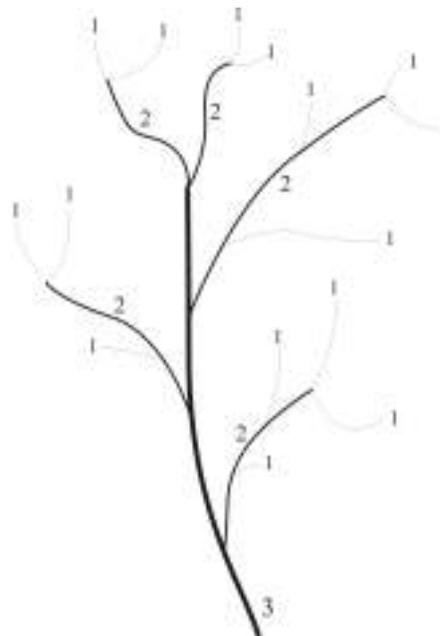


Figura 28. Classificação dos canais utilizando a proposta de Strahler, d'Aarlhac (2008).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A drenagem delineada dos dados SRTM (Figura 29) apresenta uma melhora nos únicos dados da rede de drenagem disponíveis para Pernambuco e da área estudada, delineando uma drenagem mais densa. Até então, a drenagem disponível correspondia a do ZAPE - Zoneamento Agroecológico de Pernambuco (SILVA, 2001), na qual os rios foram digitalizados de cartas topográficas de décadas passadas que recobrem o Estado, constituindo, assim, uma base de dados um tanto quanto antiga (Figura 30). Além do que, as drenagens digitalizadas de cartas topográficas podem não ser tão precisas em região de clima semi-árido, pois dependem de levantamentos de órgãos governamentais, nem sempre feitos nos períodos úmidos no qual os rios efêmeros estão cheios.

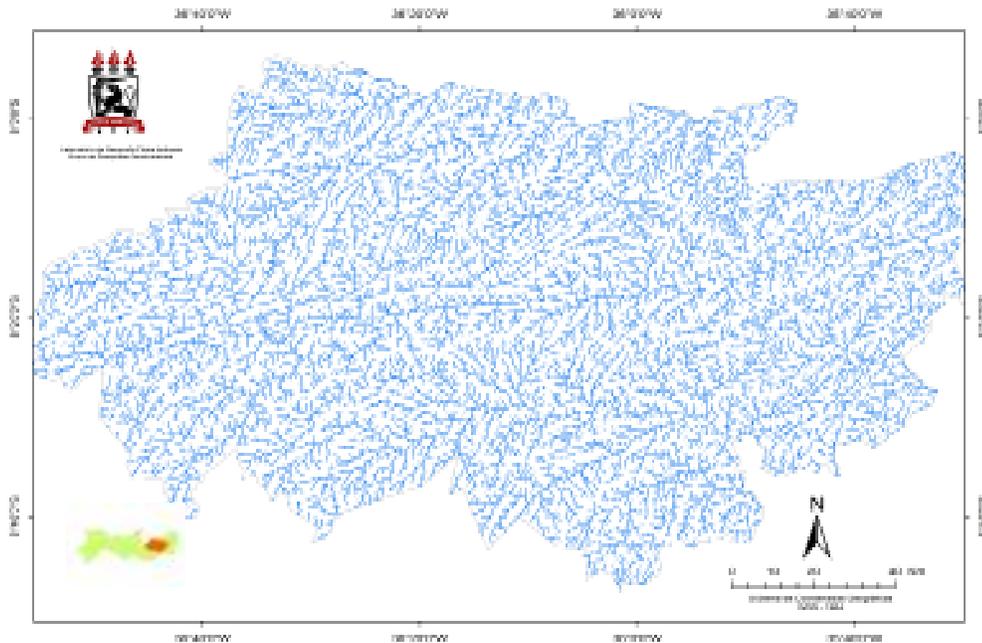


Figura 29. Rede de drenagem do Agreste Central de Pernambuco, extraída dos dados de radar interferométrico SRTM, mostrando um maior detalhe da rede de drenagem e do escoamento superficial em relação ao ZAPE (SILVA *et. al.*, 2001)

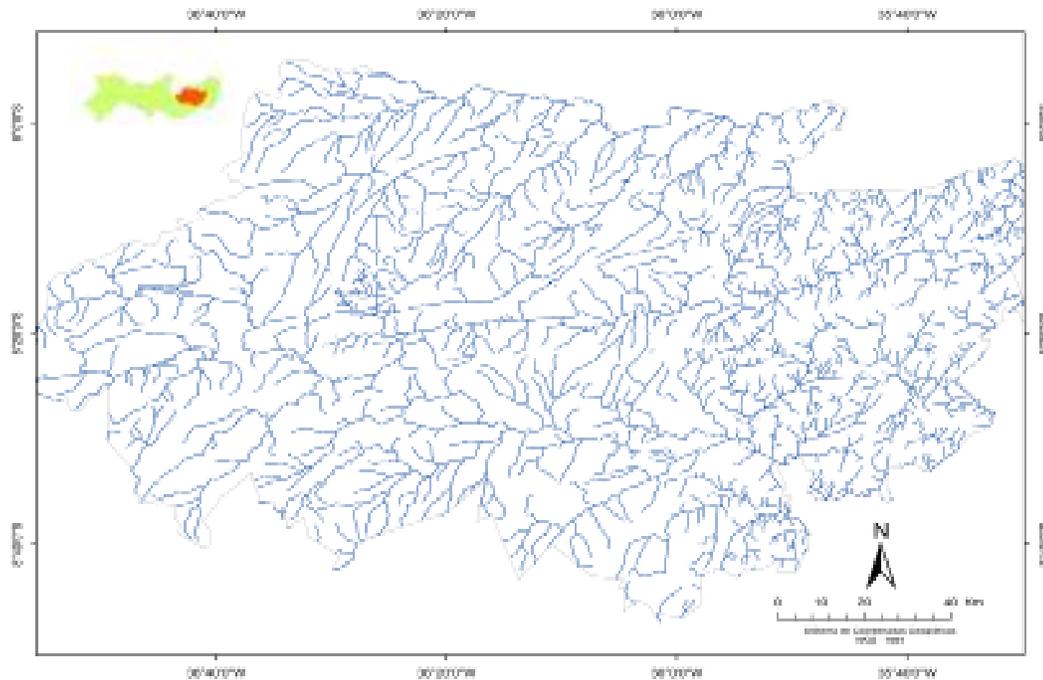


Figura 30. Rede de drenagem disponibilizada no banco de dados do ZAPE (SILVA *et. al.*, 2001), para a área do Agreste Central de Pernambuco.

A partir desta nova base da rede de drenagem, foi possível a delimitação das pequenas bacias hidrográficas da região de Desenvolvimento do Agreste Central de Pernambuco, com um total de 708 unidades destas pequenas bacias, que tiveram comprimento médio de 10 km (Figuras 31 e 32).

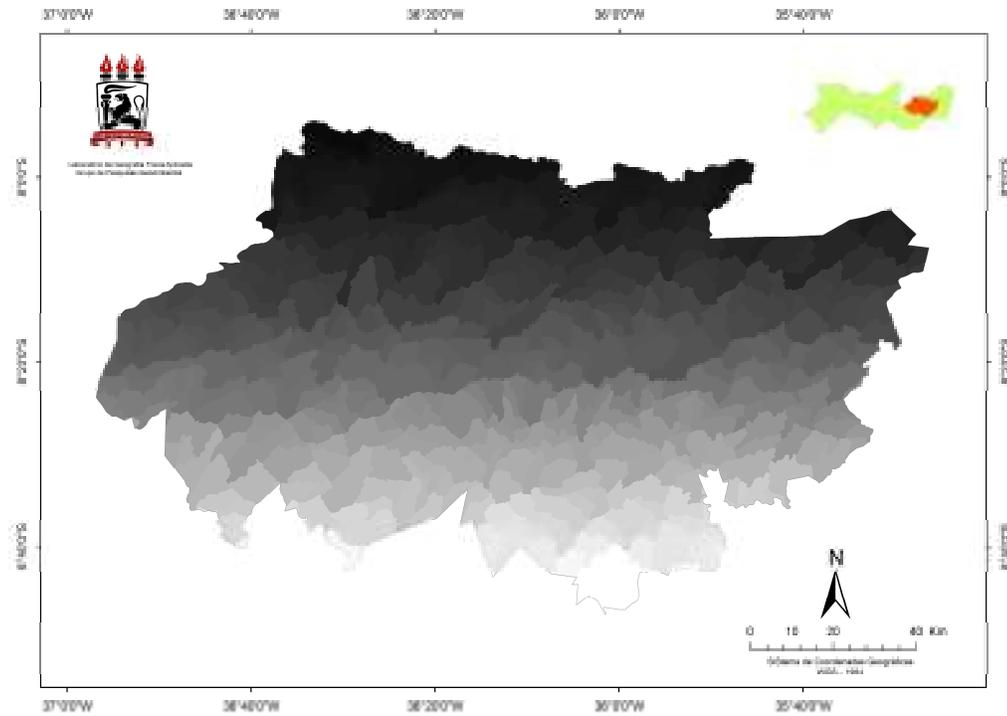


Figura 31. Microbacias do Agreste Central sem classificação, obtidos a partir do SRTM.

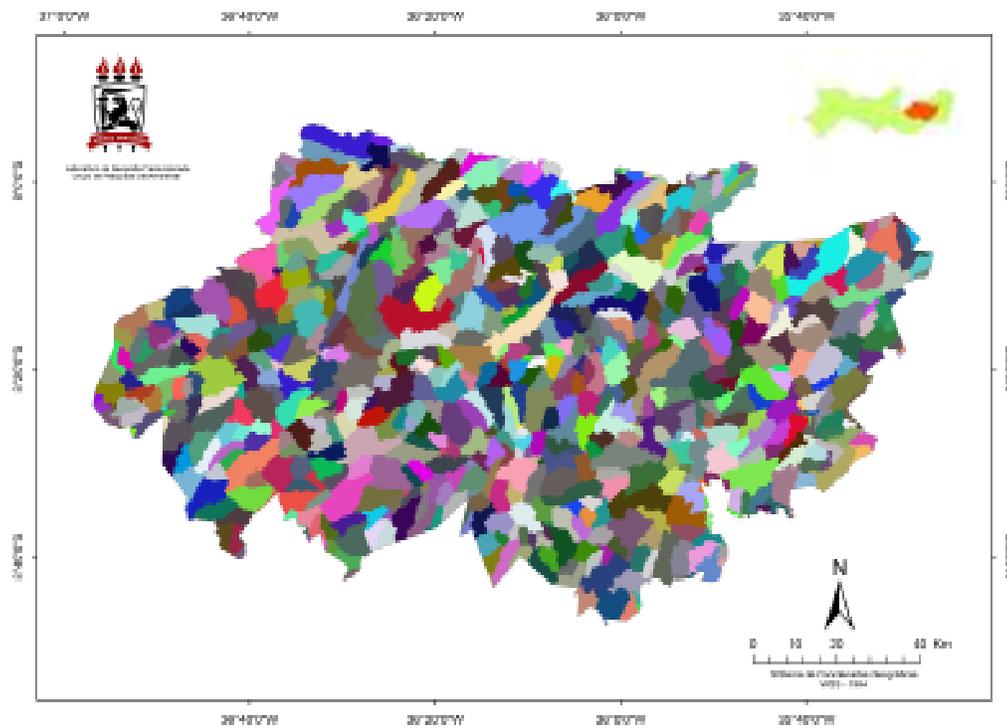


Figura 32. Microbacias Classificadas com total de 708 para o Agreste Central de Pernambuco.



e o mais baixo) é maior ao norte do lineamento Pernambuco (300m) que ao sul (150m). Isto pode levar a um maior número de bacias, pois resulta em um maior número de quebras de declives no terreno. Este maior número pode ficar mais visível com a relação da porcentagem de bacias por municípios (Figura 34).

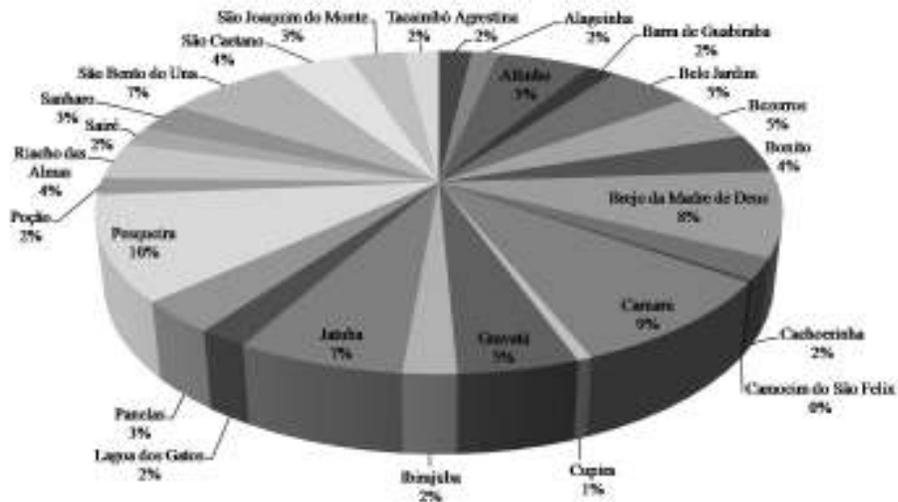


Figura 34. Gráfico com o percentual de bacias por municípios do Agreste Central de Pernambuco.

A diferença de  $\Delta h$  pode ser vista também na hierarquia da rede de drenagem, com maior número de rios de 1ª ordem, correspondendo a cerca de 50% de toda a drenagem da área (Figuras 35 e 36) que cobre boa parte principalmente da porção Norte (Figura 37). Já a porção ao Sul é composta, em sua maior parte, por relevo em níveis de pedimentos escalonados.

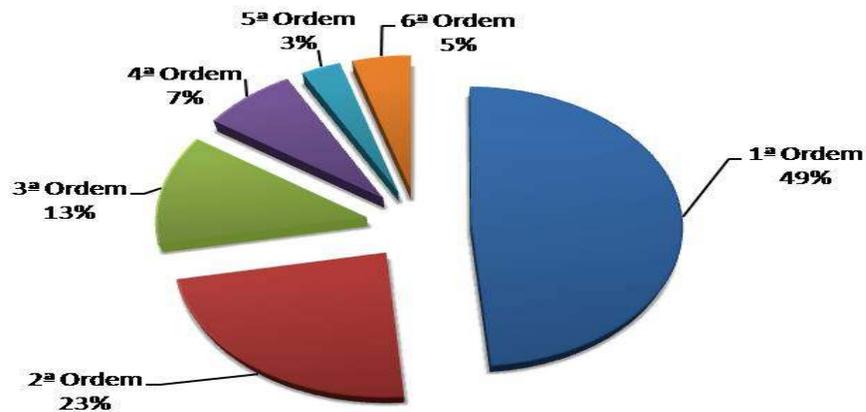


Figura 35. Porcentagem da rede de drenagem hierarquizada do Agreste Central.

A sexta ordem aparece com mais frequência do que a quinta ordem (Figura 36) na área de estudo, uma vez que para a obtenção dos produtos da drenagem, a extração é feita com uma área maior que a área representada pelo estudo. Logo as drenagens de quinta ordem que descem para a sexta ordem algumas se encontram fora do Agreste Central.

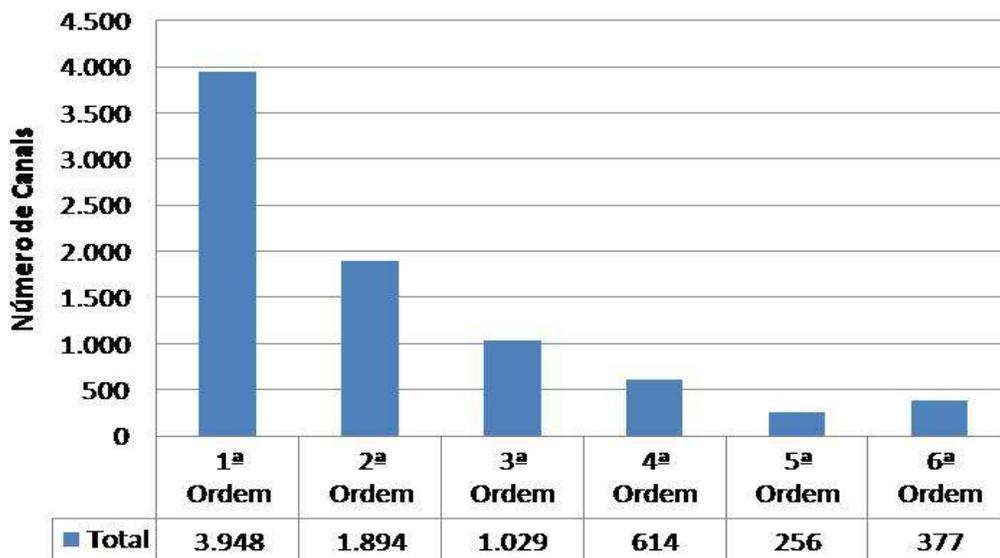


Figura 36. Número de canais por ordem de hierarquia, na área do Agreste Central de Pernambuco, segundo a metodologia de Strahler (1952).

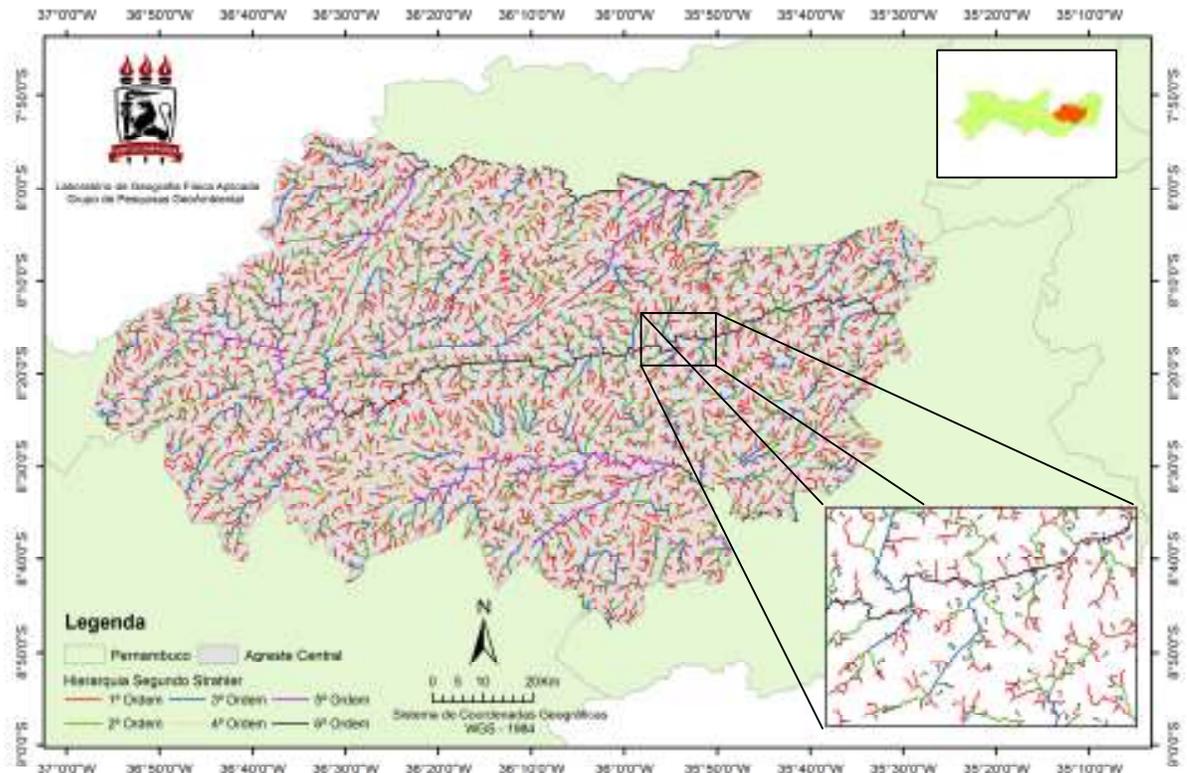


Figura 37. Rede de drenagem do Agreste Central de Pernambuco, hierarquizada segundo Strahler (1952).

#### 4. CONCLUSÕES

A extração da rede de drenagem a partir dos dados de radar interferométrico da missão SRTM possibilitou a quantificação e descrição da rede de drenagem do Agreste central de Pernambuco, com mais detalhes do que as informações vigentes no Zoneamento Agroecológico do estado de Pernambuco na escala de 1:100,000.

As pequenas bacias do Agreste Central são comandadas pelas formas do relevo como também pelo embasamento geológico. As bacias situadas na porção norte, da zona de cisalhamento e com relevos com maiores diferenças entre as

cotas topográficas são, em sua maioria, bacias e drenagens de 1ª ordem, apresentando assim um maior número de cabeceiras de drenagem. As bacias de drenagem na porção sul da região apresentam um padrão de baixas amplitudes topográficas do relevo dentro da área da bacia, devido principalmente ao fator regional do relevo formado por pedimentos suaves.

Os canais de 1º ordem dominam quase toda a área do Agreste Central pernambucano, correspondendo a 49% da drenagem total da região.

Para a delimitação das bacias hidrográficas, tanto de modo automático quanto de modo manual, cabe ao executor do trabalho ter a noção de qual definição e escala caberá para obtenção dos melhores resultados.

A utilização da definição de microbacias como “unidades espacial mínima” motrou-se de maneira satisfatória para obtenção do objetivo deste trabalho.

# CAPÍTULO V

---

USO E COBERTURA DA TERRA E ANÁLISE E ASPECTOS DA FERTILIDADE DO  
SOLO EM VÁRZEAS DE DUAS PEQUENAS BACIAS HIDROGRÁFICAS NO  
MUNICÍPIO DE SÃO BENTO DO UNA - PE

## 1. INTRODUÇÃO

O uso da terra pode ser entendido como a forma como o espaço está sendo ocupado. Ele pode ocasionar um grande impacto sobre os ecossistemas e os recursos naturais, incluindo a água e o solo. De acordo com Mendonça (1997), a identificação da ocupação e do uso da terra constitui-se em importantíssimo elemento num estudo ligado à temática ambiental, pois o mais atualizado sobre uma determinada localidade auxiliará a identificação e localização dos agentes responsáveis pelas condições ambientais da área, com o intuito de se propor um planejamento. Informação sobre o uso da terra pode ser usada para desenvolver soluções para a gestão de problemas relacionados a recursos naturais. Geralmente, onde não há planejamento do uso adequado, ocorre degradação exacerbada da terra e de seus recursos naturais.

Entende-se por levantamento o conjunto de operações necessárias à elaboração de uma pesquisa temática que pode ser sintetizada através de mapas. O levantamento do uso da terra é importante para a compreensão dos padrões de organização do espaço, uso e ocupação, constituindo importante ferramenta de planejamento e de orientação à tomada de decisão.

Segundo Rosa (2003), a utilização de dados atualizados de uso e revestimento da terra é muito ampla, podendo-se citar, como exemplos: inventário de recursos hídricos, controle de inundações, identificação de áreas com processos erosivos avançados, avaliação de impactos ambientais, formulação de políticas econômicas, etc.

O uso e cobertura da Terra são representados pelos elementos da natureza como a vegetação (natural e/ou plantada), água, rochas aflorantes, areia e

superfícies similares, além das construções criadas pelo homem (BIE; LEEUWEN; ZUIDEMA, 1996; BURLEY, 1961 *apud* ANDERSON *et al.*, 1979).

Esta parte do trabalho busca representar como se dá a ocupação de duas pequenas bacias semi-áridas no município de São Bento do Una do estado de Pernambuco. Também objetivou-se avaliar de forma suscita, a fertilidade dos solos de suas várzeas, consideradas grande importância, uma vez que estas áreas de pequenas várzeas são as mais ocupadas para cultivo dentro da região semi-árida.

## **2. MATERIAS E MÉTODOS**

### **2.1 Localização das Bacias**

As duas pequenas bacias analisadas (Figura 38 e 39) encontram-se inseridas na bacia hidrográfica do rio Una, situada entre 8° 17'14" e 8° 55' 28" de latitude sul, e 35° 07'48" e 36° 42'10" de longitude a oeste de Greenwich. Por sua configuração, a bacia do Una estende-se desde a região Agreste até o litoral do Estado e faz parte de duas Mesorregiões (Agreste e Mata Pernambucana), de quatro Microrregiões (Vale do Ipojuca, Garanhuns, Brejo Pernambucano e Mata Meridional Pernambucana) e de três Regiões de Desenvolvimento: Agreste Meridional, Agreste Central e Mata Sul.

A escolha das bacias para análise da fertilidade e mapeamento do uso do solo deu-se pelo fato do relevo ao sul do Agreste Central ser mais suave, pelo predomínio de pedimentos (ver capítulo II) como também pelo município ser uma das referências na produção agropecuária da região. Optou-se também por bacias de primeira ordem já que as definições sobre pequenas bacias são imprecisas. As

bacias analisadas encontram-se a nordeste e a sudoeste do centro urbano do município de São Bento do Una.

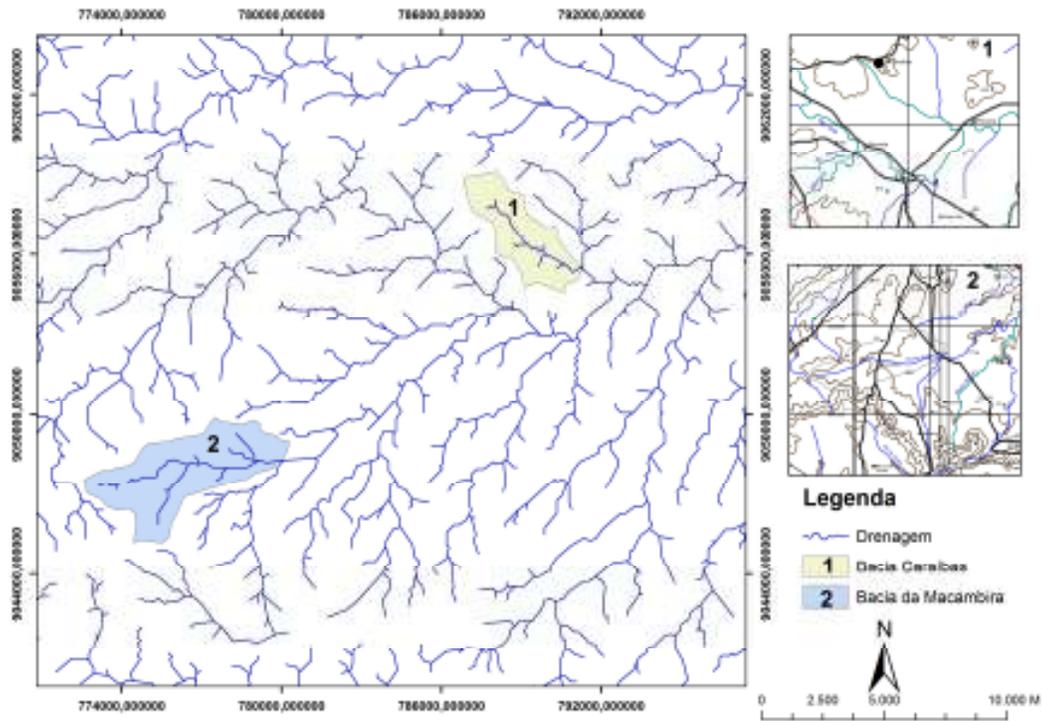


Figura 38. Localização das duas bacias estudadas, 1 Riacho Caraíbas, 2 Riacho da Macambira, localizadas no município de São bento do Una - PE.

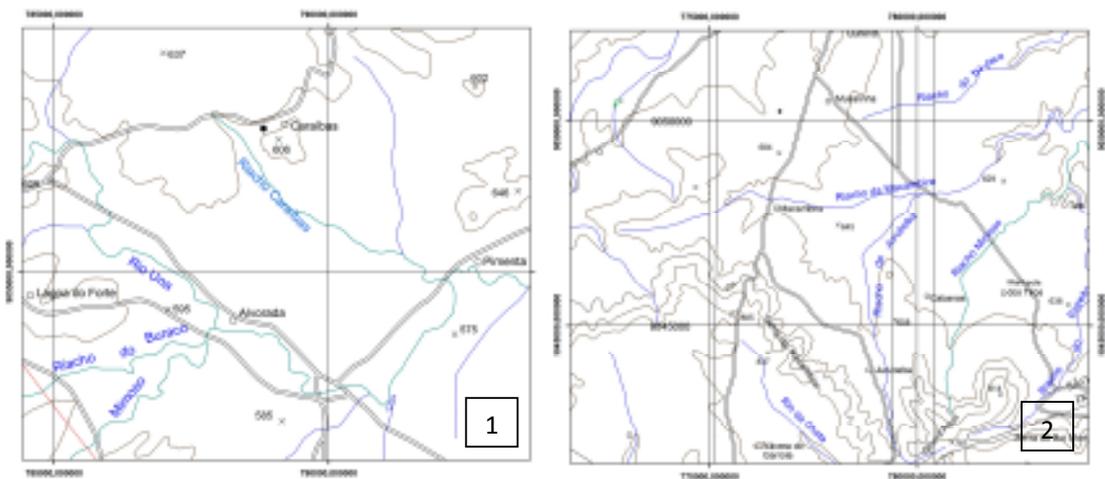


Figura 39. 1 – Detalhe do Riacho Caraíbas; 2 – Detalhe do Riacho da Macambira, Localizados no Município de São Bento do Una – PE.

## 2.2 Mapeamento do Uso da Terra

Na construção do sistema de classificação, e visando à compatibilização entre os vários produtos disponíveis, foram consultados diversos modelos eleitos como fontes básicas de dados para o levantamento e mapeamento da cobertura e do uso da terra (ANDERSON *et al.*, 1979; NATIONAL..., 1999; LAND..., 1997; HEYMANN (1994); BOSSARD, M.; FERANEC, J.; OTAHEL, J., 2000; CERON; DINIZ, 1970; A FRAMEWORK..., 1976; BIE; LEEUWEN; ZUIDEMA, 1996; PEREIRA; KURKDJIAN; FORESTI, 1989; KELLER, 1969; IBGE, 1999). Para a identificação dos tipos e nomenclatura de uso da terra utilizou-se o método sugerido pelo IBGE (2006), organizadas segundo três níveis hierárquicos, comportando desdobramentos para níveis de maior detalhe, dependendo da escala de trabalho (Figura 40).

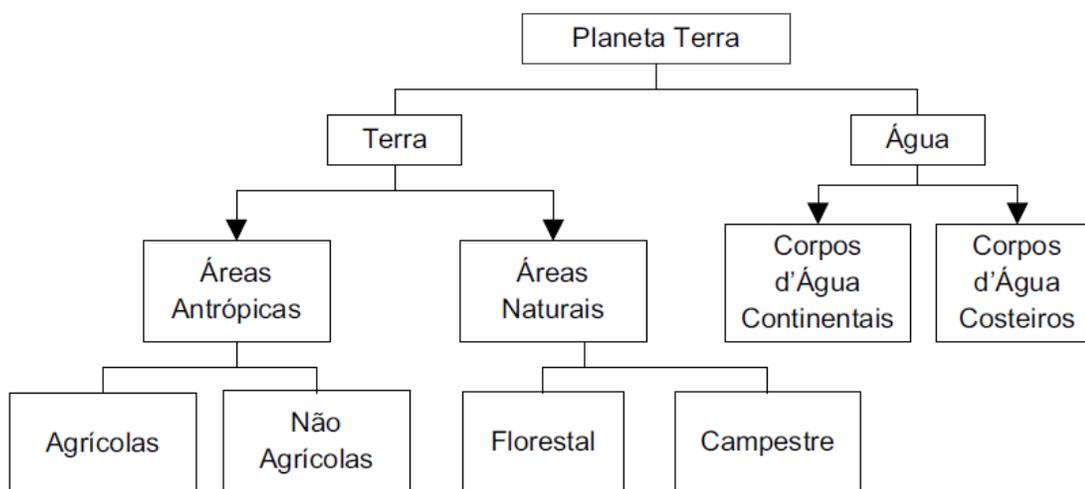


Figura 40. Esquema teórico de construção de uma nomenclatura da cobertura da terra. Adaptado de Heymann (1994) *in*: IBGE (2006).

Foram utilizados os softwares ArcGis 9.3 e Erdas 9.1 (licença disponível no laboratório de geoprocessamento do departamento de Geografia da UFPE). Os

mapas foram gerados a partir da segmentação em campo das unidades de uso com auxílio de GPS.

### 2.3 Coleta, Textura e Avaliação da fertilidade dos solos

De acordo com o uso atual da terra, foram coletadas amostras de solo (Figura 41), para avaliação da fertilidade, na profundidade de 0-20 cm. As amostras foram coletadas em transectos perpendiculares ao curso de água, tendo sido marcados cinco transectos na bacia do Riacho Caraíbas e sete na bacia do Riacho Macambira. Em cada transecto foram obtidas cinco amostras equidistantes (Figura 42), com as distâncias variando de acordo com a largura da várzea.

A textura definida a partir das coletas do solo, tendo-se organizar a massa de solo em uma linha e um anel (se necessário deve-se umedecer a amostra). A classificação do material foi feita de acordo com a Tabela 3.

Tabela 3. Critérios de classificação textural do solo. Fonte: adaptado de <http://www.ecosystema.ru/08nature/soil/i07.htm>

Textura	Características	Exemplo
Arenosa	Não forma alinhamento	
Franco-arenosa	Forma alinhamento rudimentar	
Franco-siltosa	Forma alinhamento, descontínuo, mas não forma anel	
Franca	Forma linha contínua, mas se desmancha quando forçado a formar um anel	
Franco-argilosa	Forma linha contínua e se racha ao formar um anel	
Argilosa	Forma linha contínua e anel	

Cada amostra foi submetida à análise química de rotina no laboratório de fertilidade do solo do Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA, foram analisados: pH, P; K; Al; Ca e Mg.



Figura 41. Coleta do solo para análise da fertilidade na profundidade de 0-20 cm

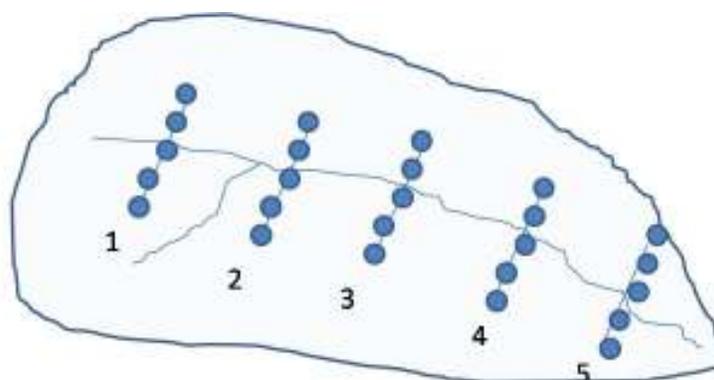


Figura 42. Exemplificação da retirada das amostras. Cinco amostras por transecto e cinco transectos na bacia do Riacho Caraibas, e o total de cinco amostras em sete transectos na bacia do riacho Macambira.

Os pontos de coletas foram georreferenciados (Figuras 42 e 44) e posteriormente analisados em um Sistema de Informações Geográficas – SIG, para obtenção das isolinhas de distribuição espacial dos elementos, analisados de acordo com o fluxograma da Figura 43.

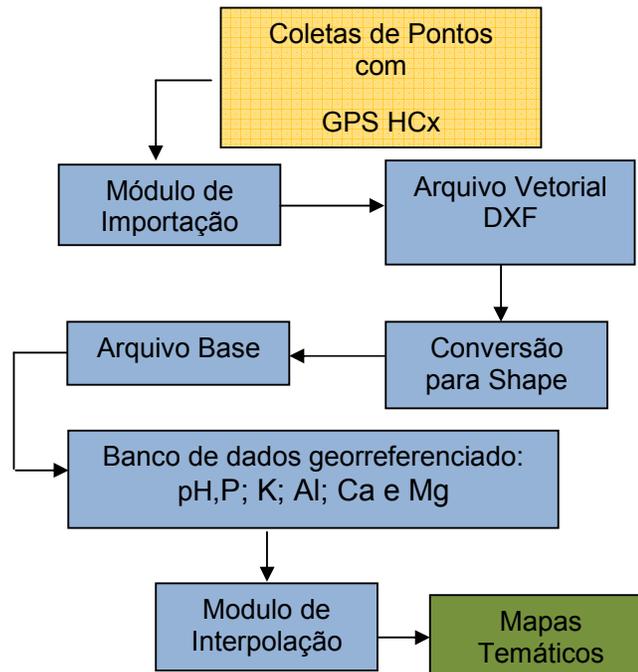


Figura 43. Fluxograma metodológico para espacialização dos nutrientes das bacias localizadas no município de São Bento do Una - PE.

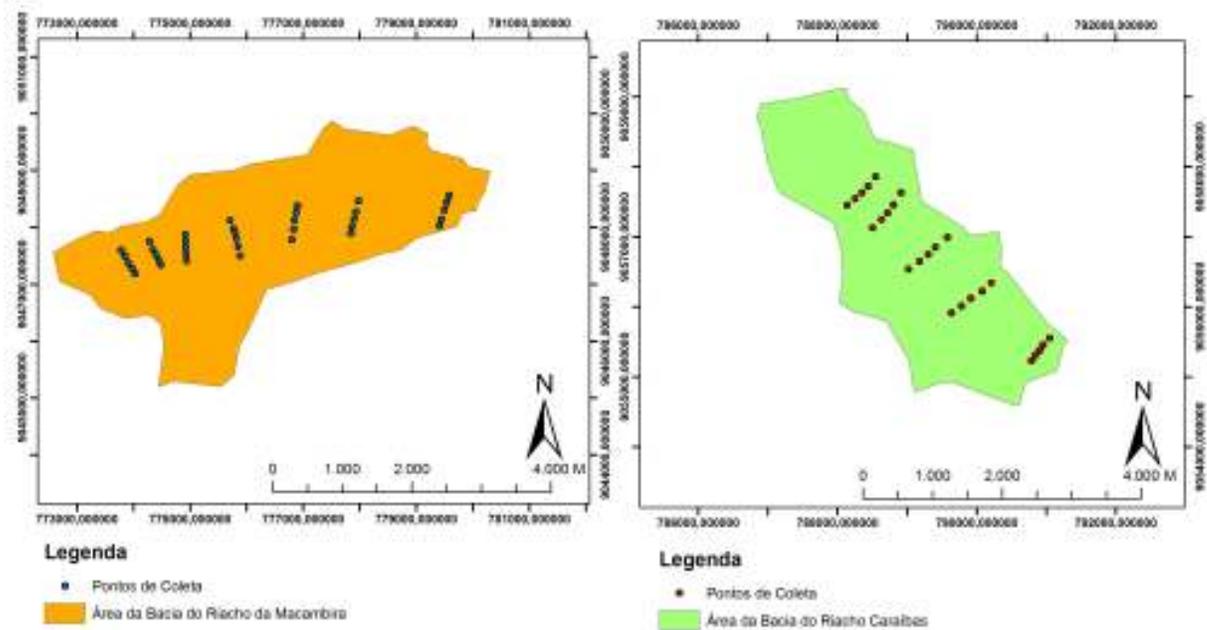


Figura 44. Pontos de coletas nas áreas de várzea das bacias analisadas, Bacia do Riacho Macambira e Caraíbas, localizadas no município de São Bento do Una - PE.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 Do Uso e Ocupação da Terra

O uso da terra na bacia do riacho da Macambira (Figuras 45 e 46) é distribuído da seguinte forma: na parte alta da bacia há uma área não agrícola. Devido à alta declividade, esta área é mais utilizada para extrativismo vegetal e obtenção de lenha. As outras áreas não agriculturáveis também estão relacionadas com a topografia, nos divisores d'água dos limites da bacia, havendo, ainda, uma pequena área preservada particular. A pecuária, principalmente bovina, ocupa as localizações da bacia onde a área de várzea é mais extensa. A agricultura de subsistência fica restrita ao restante das áreas disponíveis, principalmente no entorno do vilarejo.



Figura 45. Tipos de uso da terra na bacia do riacho da Macambira, localizadas no município de São Bento do Una - PE. 1a e 1b- área de pecuária, 2 - área não agrícola/extratativismo, 3 - Área de subsistência, com cultivo de milho.

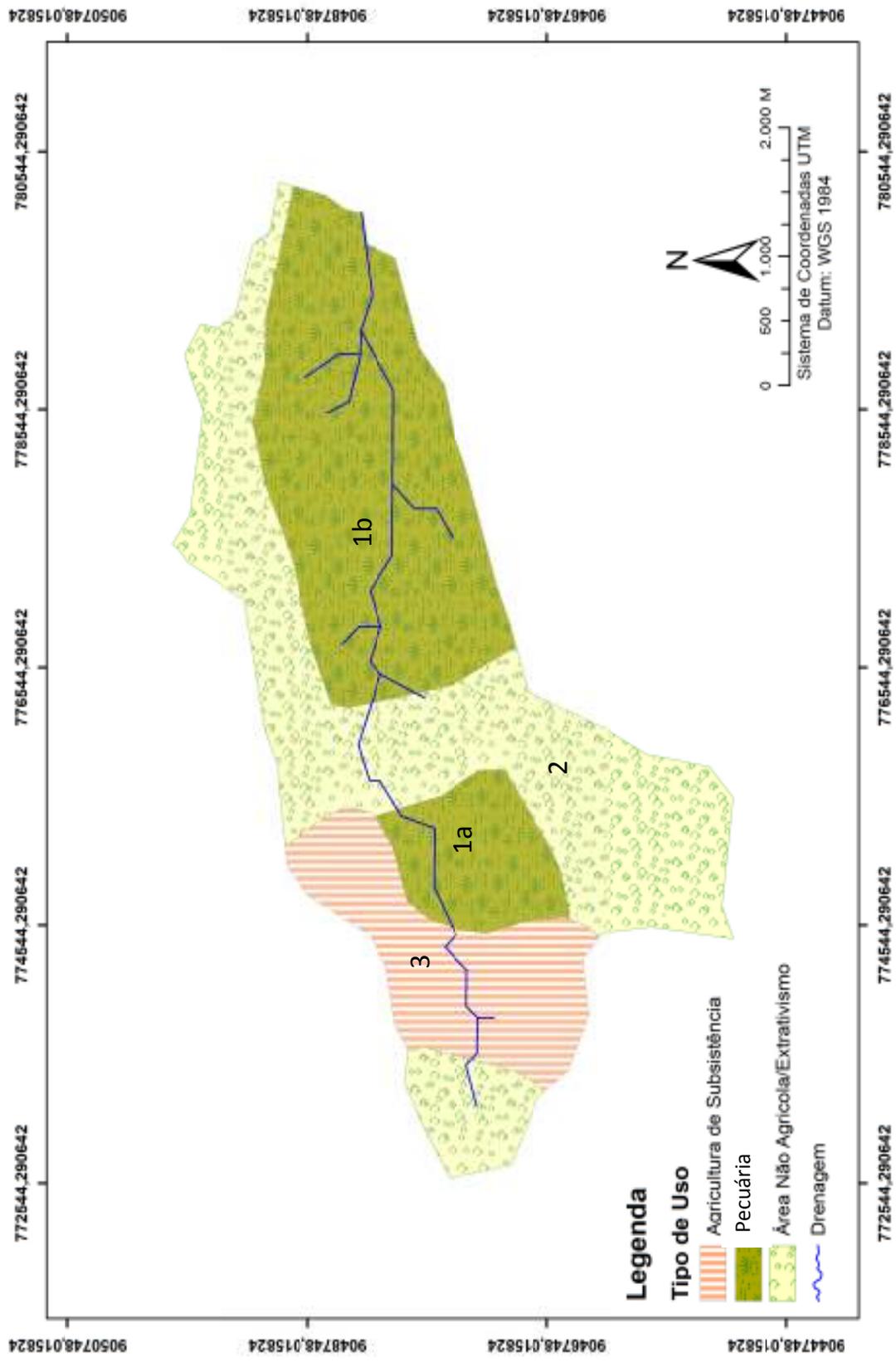


Figura 46. Mapa do Uso da Terra do riacho da Macambira, localizado no município de São Bento do Una - PE

O uso e a ocupação da terra na pequena bacia do riacho Caraíba (Figuras 47, 48 e 49) distribuem-se da forma descrita a seguir. A área de pecuária ocupa tanto a parte alta da bacia quanto a parte baixa. As duas áreas têm por característica serem planas. O alto da bacia é composto por uma rampa suave e a parte baixa é cortada pelo riacho e formada por depósitos fluviais. A agricultura de subsistência ocupa duas áreas de duas pequenas propriedades. As áreas de extrativismo são também de propriedades particulares: a primeira é utilizada para caça e retirada de lenha enquanto a segunda já foi utilizada com agricultura de feijão, milho e palma e está, atualmente, em pousio.



Figura 47. Tipos dos usos da terra na bacia do riacho Caraíbas, localizada no município de São Bento do Una - PE 1a - área de pecuária, 2a - área de cultivo de palma para alimentação do gado, 2b – área de cultivo de subsistência com milho, separada pela estrada da área de descanso.



Figura 48. Tipos dos usos da terra na bacia do riacho Caraíbas, localizada no município de São Bento do Una – PE. 3 – área de extrativismo, 4 – área de descanso ou repouso, 1b – área de pecuária na parte baixa do rio sobre os depósitos fluviais, 1c – detalhe da área de pecuária onde aparece o leito do riacho seco.

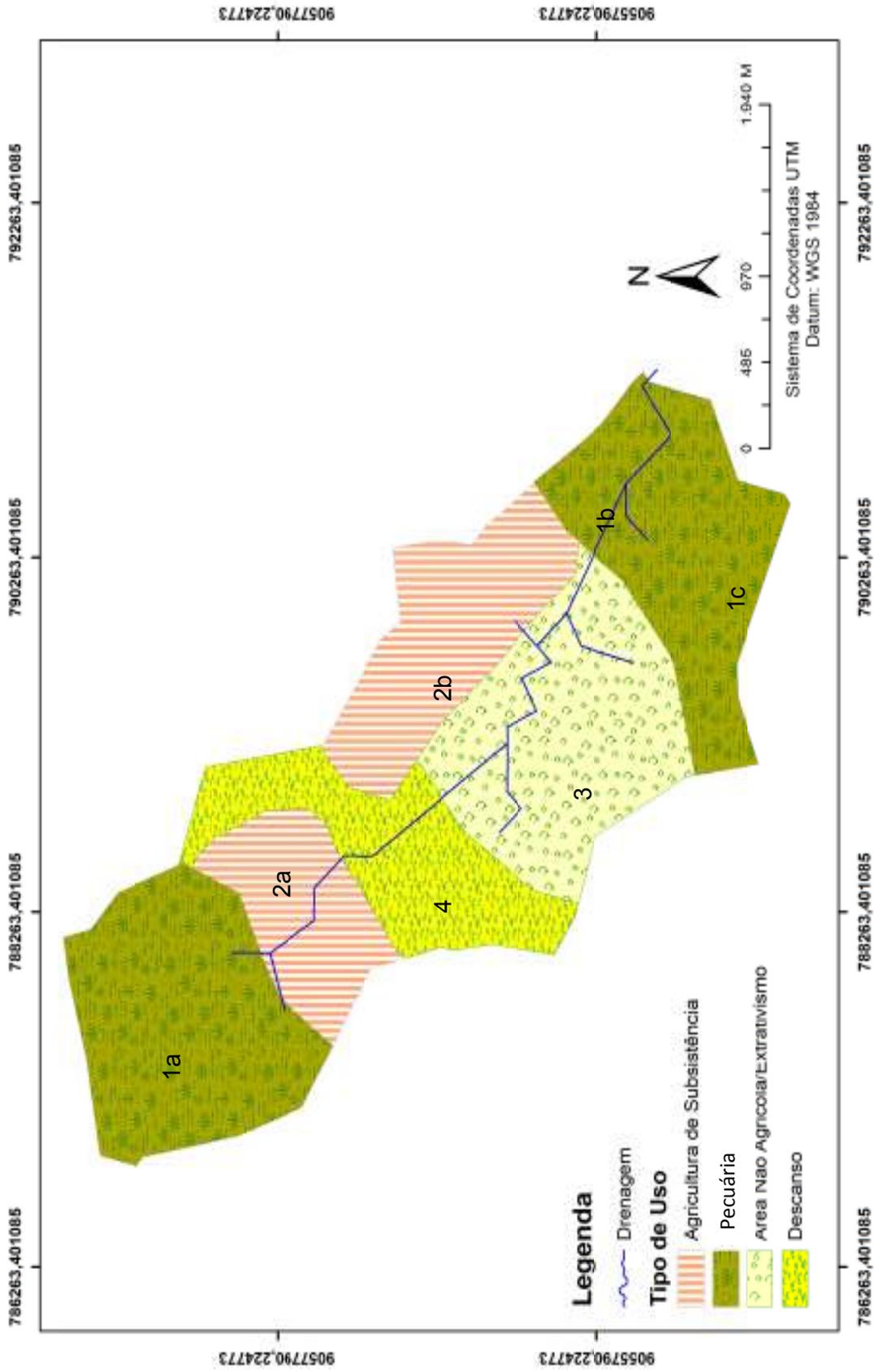


Figura 49. Mapa do Uso da Terra do riacho Caraíbas, localizado no município de São Bento do Una - PE

## 3.2 Da Textura e fertilidade dos solos de várzea

### 3.2.1 Riacho Macambira

A textura superficial do solo na bacia do riacho Macambira (Figura 50), em geral, arenosa, com uma pequena presença da textura Franco-Siltosa e predominando a textura franco-arenosa na parte inferior da Bacia. A textura franco-arenosa, que aparece nas amostras T3C3 e T3C4, se justificam pela presença de um pequeno barramento, fazendo com que o solo retenha uma quantidade maior de sedimentos finos.

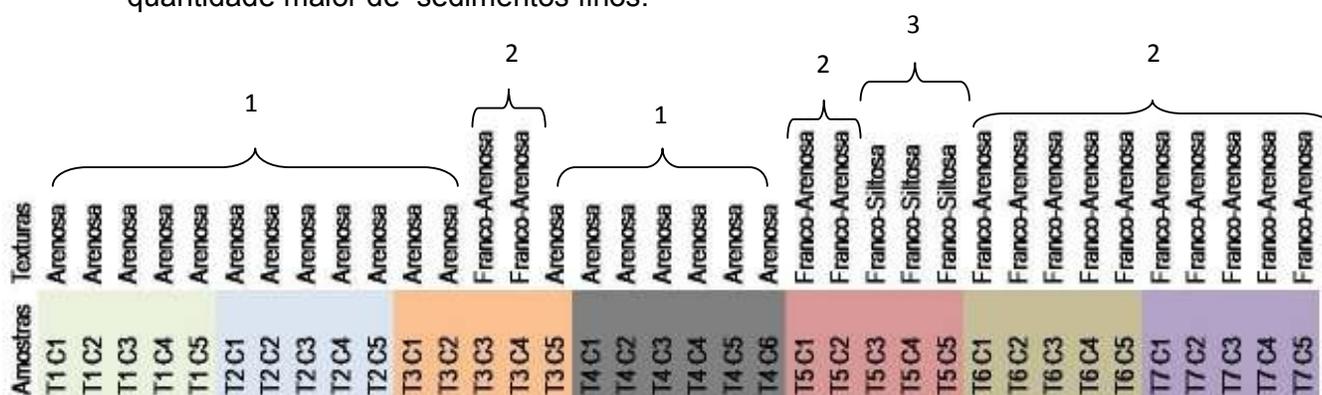


Figura 50. Textura do solo da Bacia do riacho Macambira, localizado no município de São Bento do Una. 1 – Textura arenosa, 2 – Textura franco-arenosa, 3 – Textura franco-siltosa.

De acordo com as análises químicas para fins de fertilidade do solo, o fósforo (Figura 51) variou entre 2 e 40 mg/dm<sup>3</sup> com média de 20,9 mg/dm<sup>3</sup>. Os maiores valores localizam-se no baixo curso do rio, na área de pecuária e de extrativismo. O pH (Figura 51) variou entre 4,7 e 8,5 com média de 6,15. Os maiores valores do pH localizam-se na parte inferior da bacia, podendo ser fator limitante à fertilidade do solo dessa área, pois é indicativo de solo alcalino. O potássio variou de 0,1 a 0,47 Cmol<sub>d</sub>/dm<sup>3</sup>. Os maiores valores estão

localizados do médio ao baixo curso do riacho. A média deste elemento na área de várzea da bacia (Figura 52) é de 0,26 Cmol/dm<sup>3</sup>.

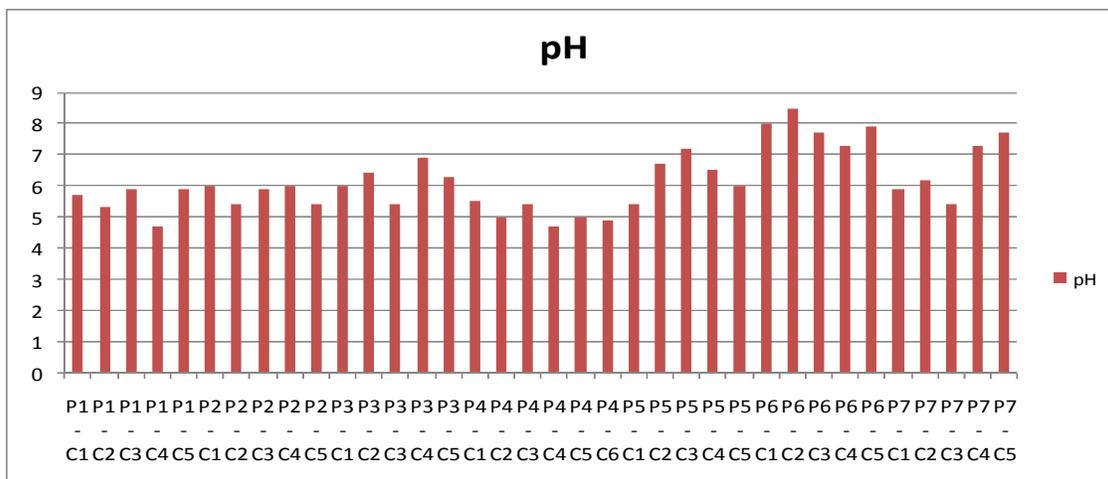
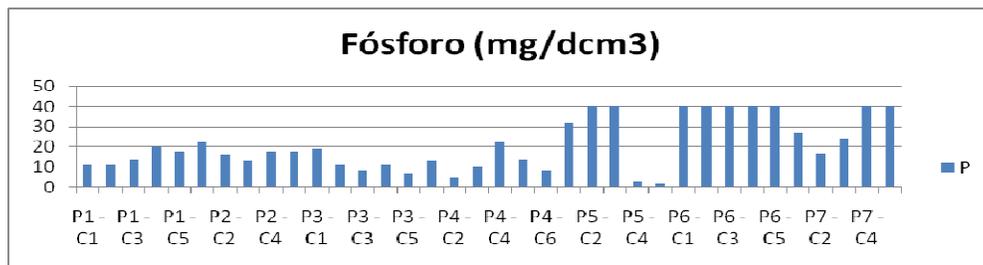
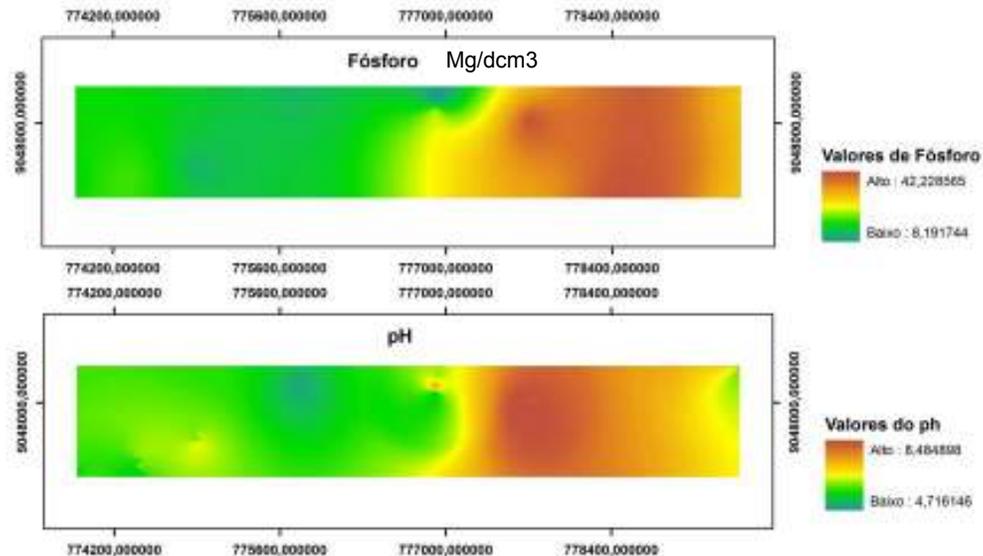


Figura 51. 1- Distribuição espacial do Fósforo; 2 – distribuição espacial do pH; 3 – Gráfico representando os valores do Fósforo e do pH.

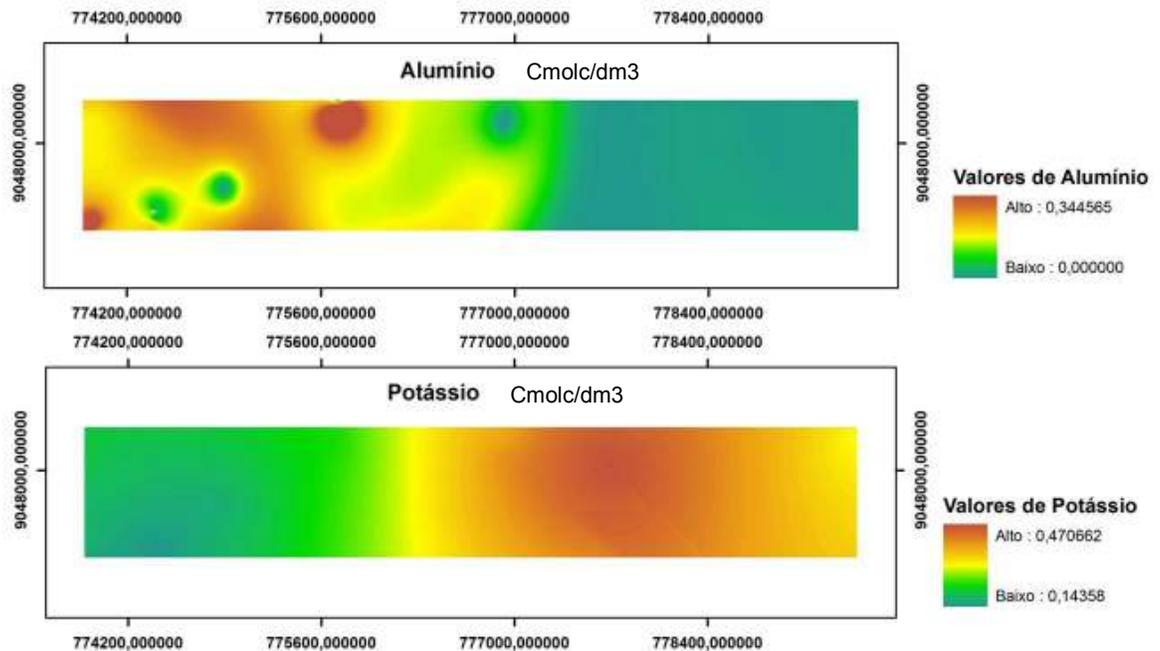


Figura 52. 1 - Distribuição espacial do Alumínio; 2 – distribuição espacial do Potássio; 3 – Gráfico representando os valores do alumínio e do potássio, parte baixa da bacia solos mais eutróficos (fracos em bases) e, portanto menos ácidos, na parte alta, solos mais ácidos onde aparecem mais alumínio.

O alumínio trocável variou de 0 a 0,15  $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$  com média de 0,05  $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ , sendo mais abundante no alto curso do riacho onde os solos são mais ácidos (Figuras 52). O cálcio variou entre 1,0 a 9,3  $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$  (Figura 53), com os maiores valores encontrado no baixo curso do riacho na área de pecuária. A média deste elemento foi de 2,05  $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ . O magnésio variou entre 0,3 e 3,35  $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ , com média de 1,19  $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$  encontrado em maior quantidade nas áreas de pecuária.

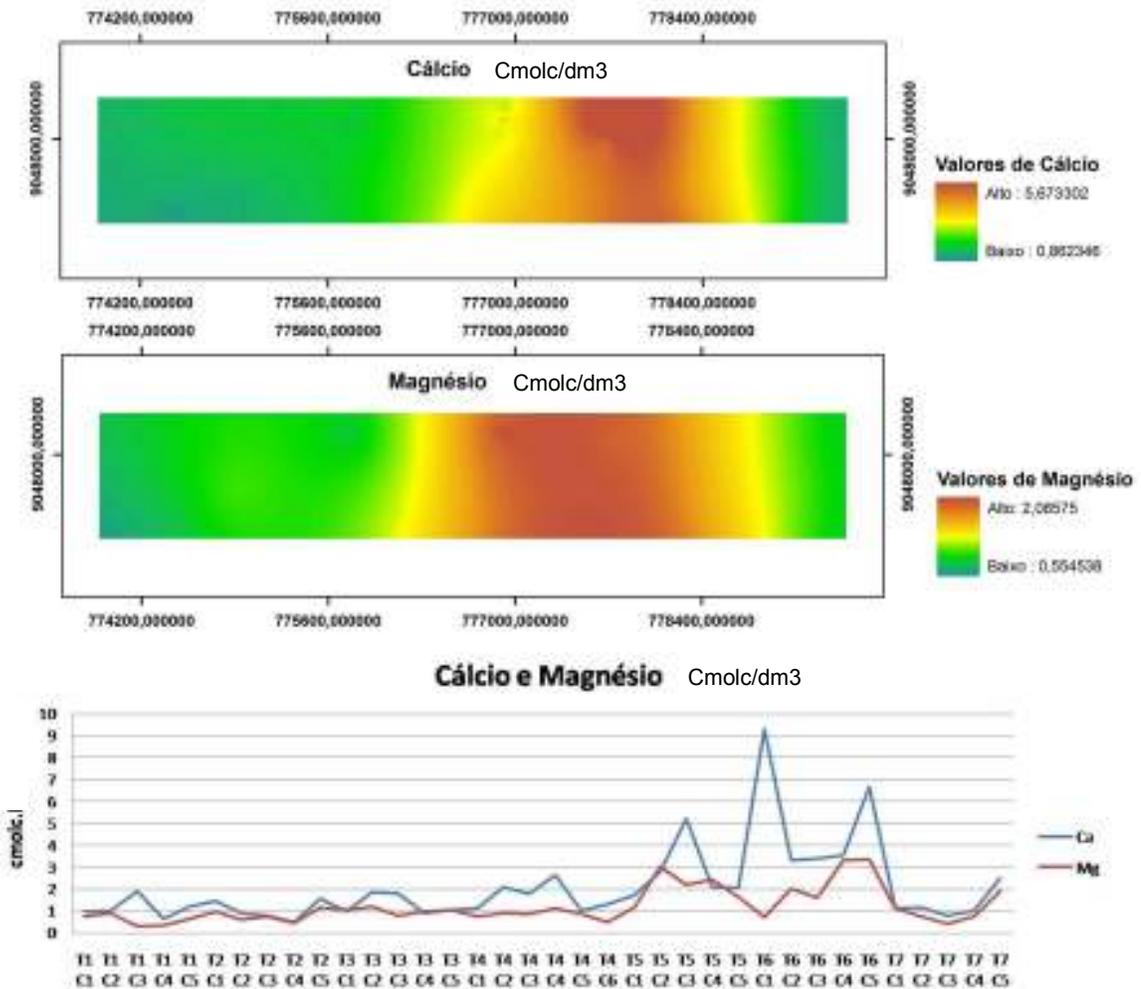


Figura 53. 1 - Distribuição espacial do Cálcio; 2 – distribuição espacial do Magnésio; 3 – Gráfico representando os valores do cálcio e do magnésio.

### 3.2.2 Riacho Caraíbas

A textura da camada superficial do solo na bacia do riacho Caraíbas (Figura 54) é em geral, arenosa, com presença da textura franco-arenosa na parte inferior da Bacia.

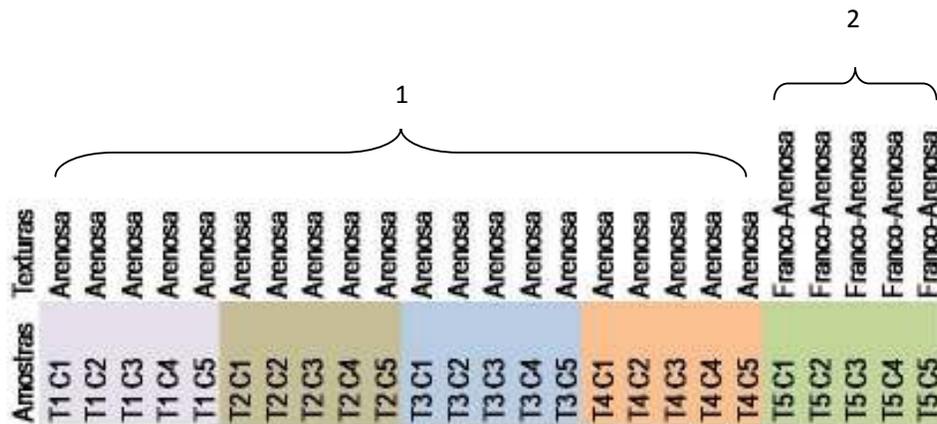


Figura 54. Textura do solo da Bacia do riacho Caraíbas, localizado no município de São Bento do Una. 1 – Textura arenosa, 2 – Textura franco-arenosa.

O fósforo variou entre 3 e 40 mg/dm<sup>3</sup>, com média de 20,5 mg/dm<sup>3</sup>. Os maiores valores localizam-se no baixo curso do rio, nas áreas de pecuária e descanso (Figura 55). O pH variou entre 5,3 e 8,0, com média de 6,2. Os menores valores localizam-se na parte superior da bacia (Figura 49), nas áreas de agricultura de subsistência e pecuária, tornando o solo dessa área ácido, o que limita a fertilidade do solo. O potássio variou de 0,11 a 0,45 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> (Figura 56), os maiores valores foram encontrados no baixo curso do riacho, nas áreas não agrícolas e de pecuária. A média deste elemento na área de várzea na bacia foi de 0,32 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>.

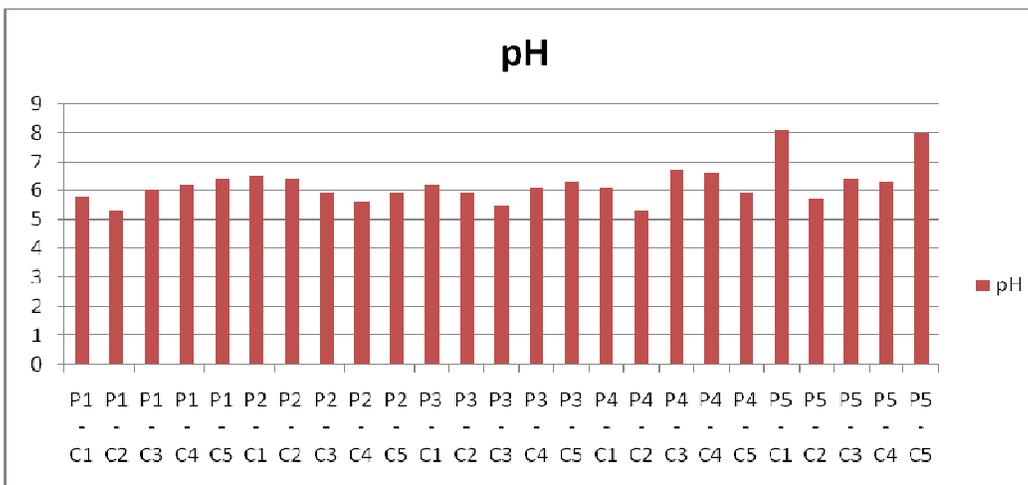
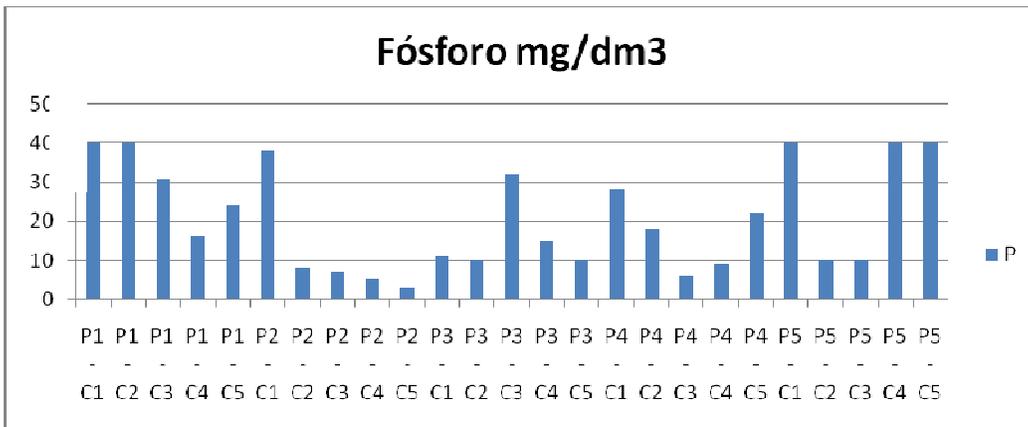
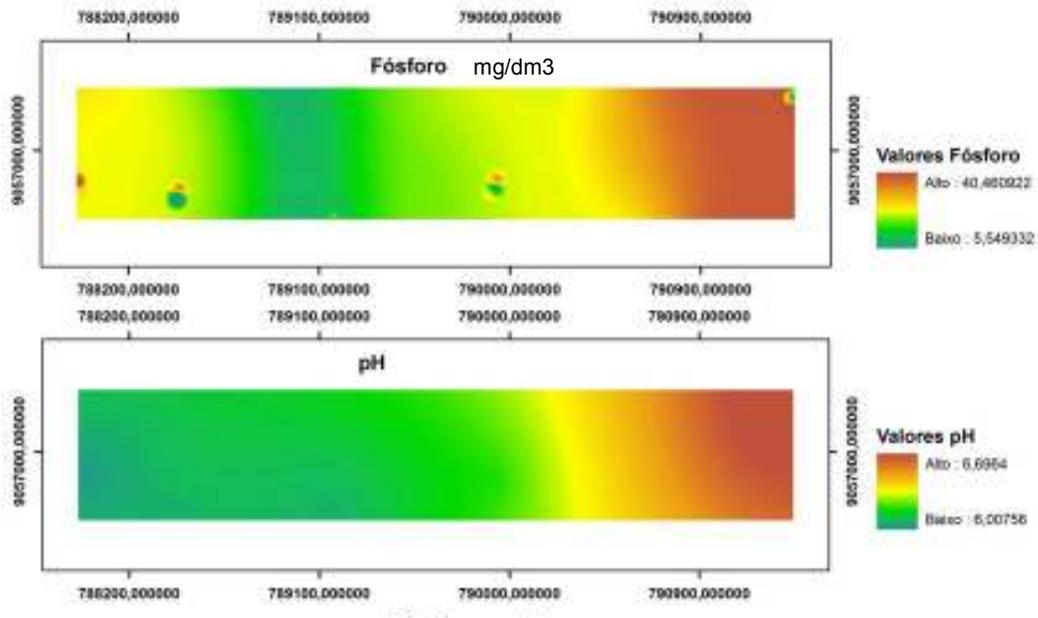


Figura 55. 1 - Distribuição espacial do Fósforo; 2 – distribuição espacial do pH; 3 – Gráfico representando os valores do Fósforo e do pH.

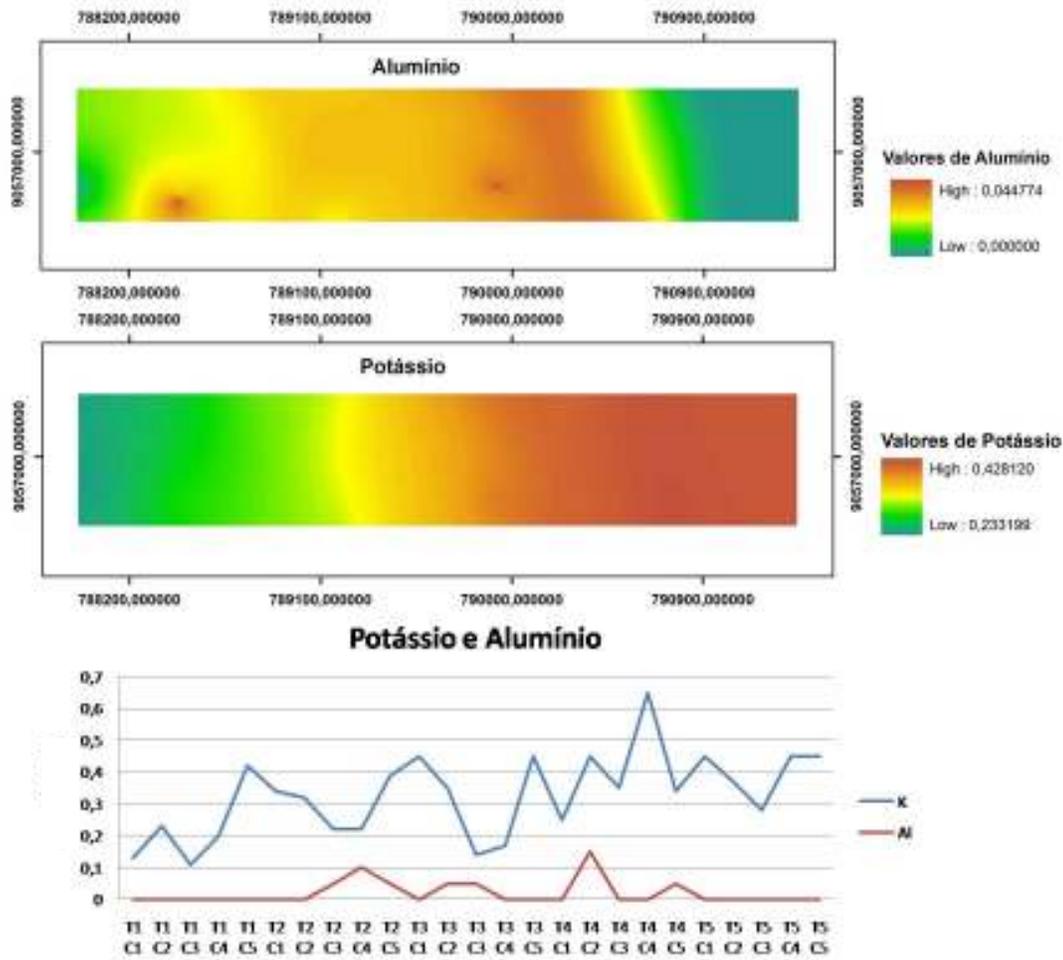


Figura 56. 1 - Distribuição espacial do Alumínio; 2 – distribuição espacial do Potássio; 3 – Gráfico representando os valores do alumínio e do potássio.

O alumínio trocável variou de 0 a 0,15  $\text{cmol}_e/\text{dm}^3$  com média de 0,02  $\text{cmol}_e/\text{dm}^3$ , aparecendo apenas no médio curso do rio, no domínio da pecuária e na área não agrícola. O cálcio situa-se entre 0,65 a 7,15  $\text{cmol}_e/\text{dm}^3$ , com os maiores valores sendo encontrados no exutório da bacia, na área de pecuária (Figura 49). A média deste elemento foi de 2,08  $\text{cmol}_e/\text{dm}^3$ . O magnésio (Figura 57) variou entre 0,55 e 3,85  $\text{cmol}_e/\text{dm}^3$ , com média de 1,66  $\text{cmol}_e/\text{dm}^3$ , bem distribuído dentro das áreas de descanso, agricultura de subsistência e área não agrícola/extrativismo.

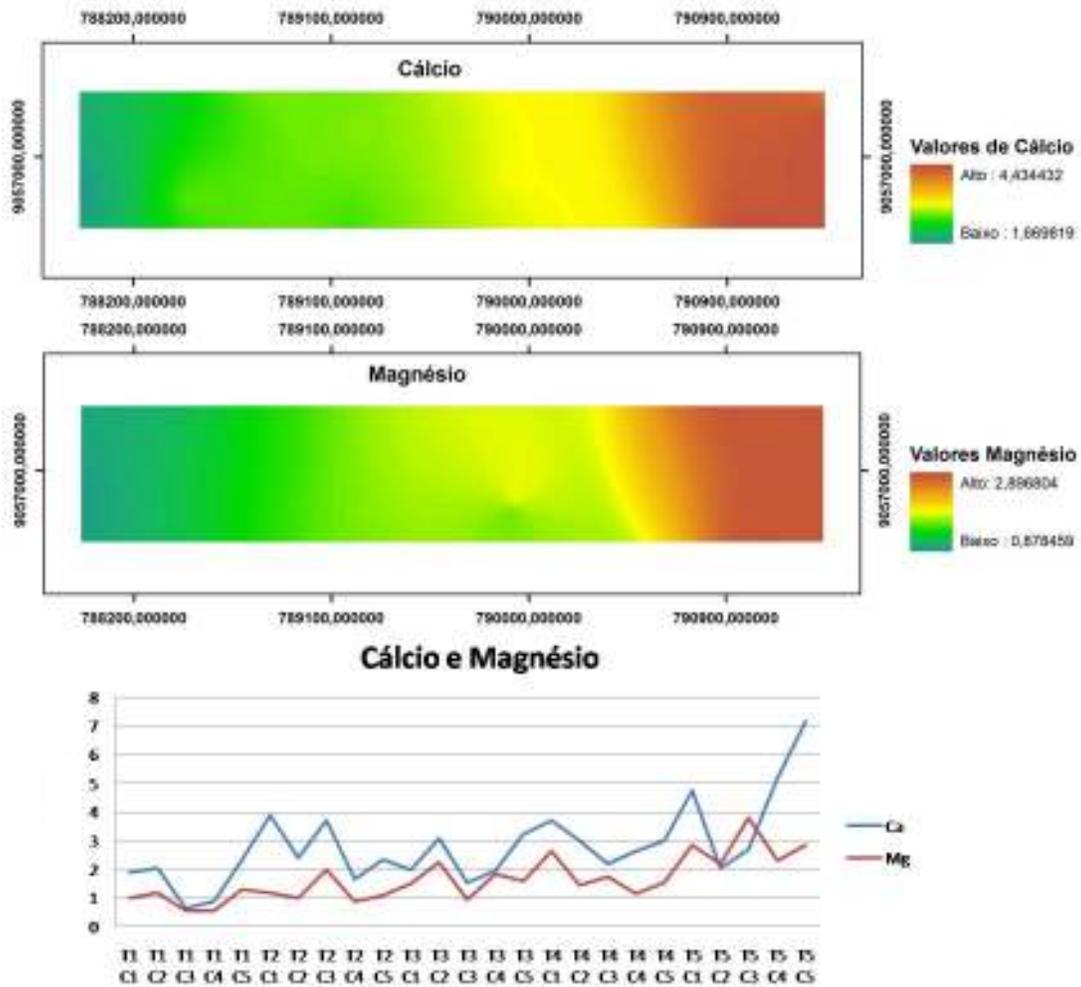


Figura 57. 1 - Distribuição espacial do Cálcio; 2 – distribuição espacial do Magnésio; 3 – Gráfico representando os valores do cálcio e do magnésio.

#### 4. CONCLUSÕES

Os maiores teores dos nutrientes encontram-se nas áreas utilizadas para criação de gado ou ainda em áreas que não são utilizadas por nenhum tipo de cultura. As áreas de agricultura estão localizadas onde os nutrientes são mais escassos, normalmente na parte superior da bacia.

A criação de gado é a principal atividade desenvolvida em ambas as bacias, utilizando principalmente as áreas do baixo curso do riacho que são mais extensas e planas, devido aos depósitos aluviais.

Infere-se que os maiores valores de nutrientes na parte inferior das bacias estejam associados aos sedimentos mais finos que se concentram nesta parte da bacia.

Estima-se que onde ocorrem sedimentos mais finos também ocorrem associados diversos nutrientes como o P, K, Mg, Na e etc.

O pH na faixa alcalina, constatado na bacia do riacho Macambira é indicativo de restrições nutricionais às culturas, porém são necessários estudos complementares para reconhecer as causas da alcalinidade nessa bacia.

# CONSIDERAÇÕES FINAIS

---

O Agreste Central de Pernambuco, assim com outras áreas do semi-árido nordestino, sofre intensa pressão antrópica, pela retirada da vegetação para agricultura, formação de pastagens e produção de lenha.

A geomorfologia da área estudada é controlada fortemente por fatores geotectônicos relacionados com a zona transversal do lineamento Pernambuco, permitindo uma evolução diferenciada para cada segmento da área dividida pelo lineamento.

As superfícies de cimeira constituem praticamente a superfície somital do Planalto da Borborema, com altitudes variando entre 800 e 1.000 metros. Essas podem ser as superfícies mais antigas, pois nessas áreas encontram-se mapeadas grandes manchas de Latossolos, ou seja, grandes mantos eluviais bem desenvolvidos. Solos bem desenvolvidos em áreas elevadas podem não ser decorrentes de depósitos, sendo mais provável que sua origem seja de maturação da rocha matriz. Nessas áreas encontram-se os maiores índices de vegetação, localizados sobre as áreas de exceção, como os topos da serra, correspondendo a áreas de difícil acesso para fins agropecuários.

A extração da rede de drenagem a partir dos dados de radar interferométrico da missão SRTM possibilitou a quantificação e a descrição da rede de drenagem do Agreste central de Pernambuco, como também a sua atualização. Possibilitou, também, visualizar as pequenas bacias do Agreste Central, que são comandadas pelas formas do relevo e pelo embasamento geológico. As bacias situadas na porção norte sobre a zona de cisalhamento no domínio de relevos com maiores diferença entre as cotas topográficas são,

na sua maioria, bacias e drenagens de 1ª ordem. Elas dominam quase toda a área do Agreste Central, correspondendo a 49% da drenagem total.

Os maiores teores dos nutrientes principalmente o fósforo, encontram-se nas áreas utilizadas para criação de gado, principal atividade desenvolvida em ambas as bacias, utilizando principalmente as áreas do baixo curso do riacho que correspondem a áreas mais extensas e planas, devido aos depósitos aluviais mais finos.

# REFERÊNCIAS

---

AB'SABER, A. N. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. 5. ed. Cotia, SP: Ateliê Editorial, 159 p. 2008.

**A FRAMEWORK** for land evaluation. Rome: FAO; Wageningen: ILRI, 1976. 72 p. (FAO Soils Bulletin, n. 29).

ANDERSON, J. R. et al. **Sistema de classificação do uso da terra e do revestimento do solo para utilização com dados de sensores remotos**. Tradução de Harold Strang. Rio de Janeiro: IBGE, 1979. 78 p. (Série Paulo de Assis Ribeiro, n. 9).

ARNON, D. I.; STOUT, P. R. The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with especial reference to copper. **Plant Physiology**, Lancaster, V. 14, p. 371-375, 1939.

ARAÚJO, M. S. B.; SAMPAIO, E. V. S. B.; SILVEIRA, M. M. L.. Estoque de fósforo em solos do semi-árido de Pernambuco e da Paraíba. 47-61P. *in* Menezes, R. S. C.; SAMPAIO, E. V. C.; SALCEDO, I. H.; (Org.). **Fertilidade do solo e produção de biomassa no semi-árido**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 291p. 2008.

ASLAN, A., AUTIN, W.J. Holocene flood-plain soil formation in the southern Lower Mississippi Valley: implications for interpreting alluvial paleosols. **Geological Society of America Bulletin** 110, 433–449. 1998.

BANNARI, A., MORIN, D., BONN, F., HUETE, A. R., A review of vegetation indices, **Remote Sensing Reviews**, v. 13, pp. 95-120. 1995.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F.. **Conservação do solo**. 3.ed. -. São Paulo: Ícone, c1993. 355p.

BRASIL; BRASIL; PERNAMBUCO. **Geologia e recursos minerais do Estado de Pernambuco**. Brasília, DF: CPRM, 2001.

BRASIL. **Programa Nacional de Microbacias hidrográficas**. Manual Operativo. PNMH – decreto n. 94.076, de 05 de março de 1987.

BRITO NEVES, B. B. **Regionalização geotectônica do Pré-cambriano nordestino**. Tese de doutoramento, USP/Inst. de Geoc., 1975. 198p.

BOSSARD, M.; FERANEC, J.; OTAHEL, J. (Org). Project manager: Chris Steenmans. **Corine land cover technical guide: addendum 2000**. Copenhagen: European Environment Agency, 2000. (Technical report, n. 40). Disponível em: <<http://reports.eea.eu.int/tech40add/en/tech40add.pdf>>. Acesso em: 10 dez. 2005.

CAVALCANTI, F. J. A. (Coord.). **Recomendações de adubação para o estado de Pernambuco: 2ª aproximação**. Recife: Instituto Agrônomo de Pernambuco - IPA, 3ª ed. 212p. 2008.

CERON, A. O.; DINIZ, J. A. F. Tipologia da agricultura, questões metodológicas e problemas de aplicação ao Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro: IBGE, v. 32, n. 3, p. 41–72, jul./set. 1970.

CPRM. **Geologia e recursos minerais do estado de Pernambuco**. Governo do estado de Pernambuco. Recife, 215p. 2001.

DANIELS, J.M. Floodplain aggradation and pedogenesis in a semiarid environment. **Geomorphology**, vol. 56, p.225–242, 2003.

D'ARLHAC, E.; CHAPUT-BARDY, A.; FLEURANT, C.; LEMAIRE, C.; RICHER, J.M.; SECONDI, J.. **Gene-Net: a program to simulate dispersal and gene flow in synthetic river networks**. INHP. 2008. Disponível em <<http://www.inh.fr/pageperso/cfleuran/genenet/genenet.html>>

FIORIO, P. R.; DEMATTÊ, J. A. M.; NANNI, M. R. Dados radiométricos nos níveis de laboratório, campo e orbital na discriminação de solos desenvolvidos numa topossequência. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR)**, 10. 2001, Foz do Iguaçu. Anais... São José dos Campos: INPE, 2001. Artigos, p. 1393-1397 CD-ROM, On-line, ISBN 85-1700016-1. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/lise/2001/12.28.15.53>>. Acesso em: jul. 2006.

FLORENZANO, T.G. *In*: FLORENZANO, T.G. (org.) **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de textos, 2007. p.36-72.

FONSECA L. M. G.; **Processamento Digital de Imagens**. INPE, São José dos Campos, 2000.

GUERRA, A.J.T. (Org.) **Erosão e Conservação do Solo**. Janeiro: Bertrand Brasil, 2008.

GRAF, W. L. **Fluvial processes in dryland rivers**. Springer-Verlag, Berlin, p. 346. 1988.

GREENLEE, D. D. Raster and vector processing for scanned linework. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing** 53 (10): 1383–1387. 1987.

Verificar o formato, com v., p. ou neste

IBGE. **Manual técnico de uso da terra**. Rio de Janeiro: IBGE, 1999. 58p. (Manuais técnicos em Geociências, n. 7).

IBGE. **Manual técnico de uso da terra**. Rio de Janeiro: IBGE, v.2. 2006. 91p. (Manuais técnicos em Geociências, n. 7).

KELLER, E. C. de S. Mapeamento da utilização da terra. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro: IBGE, v. 31, n.3, p. 151-160, jul./set. 1969.

KER, J.C.. Latossolos do Brasil: uma revisão. **Geonomos**, Vol. 5, n. 1. 17-40p. 1997.

KRAUS, M.J., BOWN, T.M. Paleosols and time resolution in alluvial stratigraphy. *In*: WRIGHT, V.P. (Ed.), **Paleosols: Their recognition and interpretation**. Princenton University Press, Princenton, pp. 180–207. 1986.

**LAND** use / land cover: classification modified Anderson classification, category, definitions. Reston, VA.: U.S. Department of the Interior, U.S.

Geological Survey – USGS, 1997. Disponível em: <<http://www.usgs.gov>>. Acesso em: 15 set. 2005. HEYMANN, Y. *Corine land cover technical guide*. Colaboração de Chris Steenmans, Guy Croisille e Michel Bossard. Luxembourg: European Commission, 1994. 136 p.

LANDIM, P. M. B.; MONTEIRO, R. C.; CORSI, A. C.. **Introdução à confecção de mapas pelo software Surfer8**. Geomatemática. Texto Didático 8, DGA, IGCE, UNESP/Rio Claro, 2002. Disponível em <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>>. Acesso em: 10 de maio de 2008.

LANG, A. Phases of soil erosion-derived colluviation in the loess hills of South Germany. **Catena: An Interdisciplinary Journal of Soil Science, Hydrology, Geomorphology focusing on Geoecology and Landscape Evolution**, Elsevier n. 51: 209–221, 2003.

LIANG, S., 2004, Quantitative remote sensing of land surfaces, ed. **Wiley Interscience**, New Jersey, USA, 534p.

LIMA, W. P. O **Eucalipto, a sério. Meio Ambiente**. Caderno Especial, Rio de Janeiro, p. 2 - 2, 18 nov. 1994.

LIMA, W. P. **Função hidrológica da mata ciliar**. Simpósio sobre Mata Ciliar. Fundação Cargill: 1989. 25-42.

LIRA, D. R., MOTA FILHO, F. O. **Áreas em Processo de Desertificação no Município de Belém do São Francisco: Avaliação do Desmatamento**. Relatório de pesquisa, PIBIC. 25p. 2007.

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

MEISELS, A.; RAIZMAN, S.; KARNIELI, A. Skeletonizing a DEM into Drainage Network, **Computers & Geosciences**, V. 1, pp. 187-196. 1995

MELO, J. S. **Dinâmica geomorfológica do ambiente de encosta em Brejo da Madre de Deus - PE**: uma abordagem a partir da perspectiva morfoestratigráfica aplicada aos depósitos colúviais. Recife, 2008. 125 folhas. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco. CFCH. Geografia, 2008.

MENDONÇA, F. *et al.* 1997. **O espaço geográfico em análise**. IN: RA'E GA. v.1 Departamento de Geografia/UFPR, Curitiba, Brasil.

MIRANDA, E. E.; (Coord.). **Brasil em Relevo**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 16 jun. 2009.

MYNENI, R. B., HALL, F. G., SELLERS, P. J., MARSHAK, A. L., 1995, The interpretation of spectral vegetation indexes, **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 33, pp. 481–486.

**NATIONAL** land cover data: mapping procedures. Version 05-25-99. Reston, VA.: U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey – USGS, 1999. Disponível em: <[http://landcover.usgs.gov/mapping\\_proc.php](http://landcover.usgs.gov/mapping_proc.php)>. Acesso em: 15 set. 2005.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto, princípios e aplicações**. São Paulo – Edgar Blucher LTDA. 1989.

NUNES, B. E.; RIBEIRO, M. I. C.; ALMEIDA, V. J. ; NATALI-FILHO, T.. **Manual Técnico de Geomorfologia**. IBGE. Rio de Janeiro. 1995. 111p.

PEREIRA, M. N.; KURKDJIAN, M. L. N. O.; FORESTI, C. **Cobertura e uso da terra através de sensoriamento remoto**. São José dos Campos: INPE, 1989. 118 p. (INPE-5032-MD/042).

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos, SP: A. Silva Vieira Ed., 127p. 2007.

RAMALHO FILHO, A.; E.G.; BEEK, K.J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. Brasília: EMBRAPA, 3ª Ed. 1995. 70 p.

RASOOL, S.I. On dynamics of deserts and climate. Em J.T. Houghton (ed.) **The global climate**, New York: Cambridge University Press, 1984. p. 107-120

ROSA, R. **Introdução ao sensoriamento remoto**. 5 ed., Uberlândia: EDUFU, 2003, 228p.

SAINT-LAURENT, D.; ST-LAURENT, J.; LAVOIE, L.; GHALEB, B. Use geopedological methods for the evaluation of sedimentation rates on river floodplains, southern Québec, Canadá. **Catena: An Interdisciplinary Journal of Soil Science, Hydrology, Geomorphology focusing on Geocology and Landscape Evolution**. Elsevier, n. 73. 2008. 321–337p.

SANCHO, C.; PEÑA, J. L.; MUÑOZ, A.; BENITO, G.; MCDONALD, E.; RHODES, E. J.; LONGARES L. A. Holocene alluvial morphopedosedimentary record and environmental changes in the Bardenas Reales Natural Park (NE Spain). **Catena: An Interdisciplinary Journal of Soil Science, Hydrology, Geomorphology focusing on Geocology and Landscape Evolution**. Elsevier, n.73. 2008. 225–238p.

SILVA, D. G. da. **Evolução paleoambiental dos depósitos de tanques em Fazenda Nova, Município de Brejo da Madre de Deus - Pernambuco**. Recife, 2007. 154 folhas Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco. CFCH. Geografia, 2007.

SILVA, F.B.R., SANTOS, J.C.P., SILVA, A.B., CAVALCANTI, A.C., SILVA, F.H.B.B., BURGOS, N., PARAHYBA, R.B.V., OLIVEIRA NETO, M.B., SOUZA NETO, N.C., ARAÚJO FILHO, J.C., LOPES, O.F., LUZ, L.R.Q.P., LEITE, A.P., SOUZA, L.G.M.C., SILVA, C.P., VAREJÃO-SILVA, M.A., BARROS, A.H.C. **Zoneamento agroecológico do Estado de Pernambuco**. Recife: Embrapa Solos - Unidade de Execução de Pesquisa e Desenvolvimento - UEP Recife; Governo do Estado de Pernambuco (Secretaria de Produção Rural e Reforma Agrária), 2001. CD-ROM.- (Embrapa Solos. Documentos; no. 35).

SILVA JÚNIOR, J. M. F. **Um regime rúptil, pós-Siluro-Devoniano no domínio da Zona Transversal, Província Borborema-Nordeste do Brasil**. Dissertação de Mestrado, UFOP/Dep. de Geologia, Ouro Preto, 1997. 156p.

SILVA, H. A. **Análise da cobertura utilizando índices de vegetação e técnicas de detecção de mudanças na reserva biológica de Pedra Talhada PE/AL, com utilização de técnicas de Sensoriamento Remoto.** Monografia de Conclusão de Curso, UFPE – DCG, 55 p. 2009.

SOUZA, A. de O. **Mapeamento geomorfológico de detalhe da carta de Belo Jardim - PE:** uma análise a partir dos padrões morfométricos do relevo. Recife, 2008. 84 folhas Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco. CFCH. Geografia, 2008.

STÖCKLI, R., VIDALE, P. L., 2004, European plant phenology and climate as seen in a 20-year AVHRR land-surface parameter dataset, **International Journal of Remote Sensing**, v. 25, n. 17, pp. 3303-3330.

**STÖCKLI, R. C.. EFAI-NDVI.** Disponível em: <[ftp://bach.ethz.ch/pub\\_read/stockli/efai\\_world](ftp://bach.ethz.ch/pub_read/stockli/efai_world)>. Acesso em 13 de maio 2008.

STRAHLER, A.N. **Quantitative analysis of watershed geomorphology.** Trans. Amer. Geophys. Union, 1952, 38: 913-920.

TAVARES, B. A. C.; LIRA, D. R.; SILVA, H. A.; CAVALCANTI, L. C. S.; CORRÊA, A. C. B. **Aplicação de técnicas de Sensoriamento Remoto para compartimentação geomorfológica na área do gráben do Cariatá, Estado da Paraíba.** Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 3395-3402.

TARBOTON, D. G., R. L. Bras, I. Rodriguez-Iturbe. On the extraction of channel networks from digital elevation data. **Hydrological Processes**. Vol.5. p.81-100. 1991.

THOMAS, M.F. 1994. **Tropical geomorphology: a study of weathering and landform development in warm climates.** New York. 332p.