

2007

Dissertação de Mestrado: Análise Geomorfológica em áreas de expansão urbana no município de Garanhuns-PE



Universidade Federal de Pernambuco

Renata Nunes Azambuja



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

ANÁLISE GEOMORFOLÓGICA EM ÁREAS DE EXPANSÃO URBANA NO MUNICÍPIO DE GARANHUNS-PE

RENATA NUNES AZAMBUJA

Orientador Prof. Dr. Antonio Carlos de Barros Corrêa

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Recife
Julho de 2007



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

ANÁLISE GEOMORFOLÓGICA EM ÁREAS DE EXPANSÃO URBANA NO MUNICÍPIO DE GARANHUNS-PE

Dissertação de mestrado apresentada ao
Curso de Pós-Graduação em Geografia pela
aluna Renata Nunes Azambuja, como parte
dos requisitos para obtenção do grau de
Mestre em Geografia, tendo como
orientador o Prof. Dr. Antonio Carlos de
Barros Corrêa da Universidade Federal de
Pernambuco.

Recife
Julho de 2007

Azambuja, Renata Nunes

Análise geomorfológica em áreas de expansão urbana no Município de Garanhuns – PE. – Recife: O Autor, 2007.

153 folhas : il., gráf., fig., tab., fotos

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CFCH. Geografia. Recife, 2007.

Inclui: bibliografia e anexos

1. Geomorfologia – Morfodinâmica. 2. Expansão urbana. 3. Propriedade dos solos. 4. Ação antrópica. 5. Planalto da Borborema. 6. Pernambuco - Garanhuns I. Título.

551.4

CDU (2ed.)

UFPE

551.41

CDD (22. ed.)

BCFCH2007/53

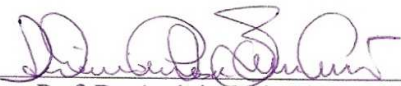
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO - UFPE
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS – CFCH
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS GEOGRÁFICAS –DCG
CURSO DE MESTRADO EM GEOGRAFIA –CMG

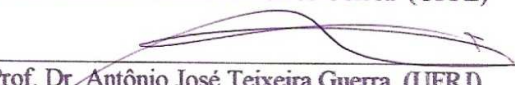
RENATA NUNES AZAMBUJA

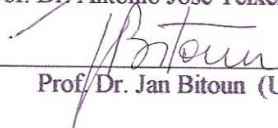
**Título: “ANÁLISE GEOMORFOLÓGICA EM ÁREAS DE EXPANSÃO URBANA
NO MUNICÍPIO DE GARANHUNS-PE”**

BANCA EXAMINADORA

TITULARES:

Orientador: 
Prof. Dr. Antônio Carlos de Barros Corrêa (UFPE)

1º. Examinador: 
Prof. Dr. Antônio José Teixeira Guerra (UFRJ)

2º. Examinador: 
Prof. Dr. Jan Bitoun (UFPE)

APROVADA em 14 de maio de 2007.

RCMS

“Eventos naturais extremos somente são considerados como azares naturais na medida em que ocasionam prejuízos e mortes aos seres humanos. Um furacão ou terremoto em uma região remota, despovoada, é classificado *como evento natural*, mas não como *azar natural*. Os azares naturais, portanto resultam do conflito entre os processos geofísicos e as sociedades humanas. Esta interpretação sobre azares naturais estabelece os seres humanos como componente central, não só em face da localização da ocorrência, mas também perante a percepção e a expectativa *média* de ocorrência dos fenômenos naturais.”

Antonio Christofolletti

Agradecimentos

Agradeço a Deus em primeiro lugar.

Aos meus Pais, Claudia e Airair, pela constante dedicação, amor e apoio aos meus estudos. Às minhas irmãs Daniele e Daniege e ao meu cunhado Rogério, a todos da minha família. Sei que sempre poderei contar com vocês.

Ao Professor Dr. Antonio Carlos de Barros Corrêa, pela excepcional orientação deste trabalho, pelo incentivo e auxílio nas tarefas mais difíceis, pela amizade e acompanhamento incansável. Por exigir sempre o melhor, e de certa forma, proporcionado a minha superação. Obrigada professor, sem sua orientação, certamente não teria chegado aqui!

Aos meus colegas do Grupo de Estudos do Quaternário do Nordeste, Danielle Gomes, Janaina dos Santos, Demétrio Mutzenberg, Ana Flávia Albuquerque, Alexandre Souza, Kleythton de Araujo Monteiro, Jefferson Melo, Cristiana Duarte, Cybele Miranda, Felipe Maciel e Bruno Tavares, pela constante troca de informações e de conhecimentos, que me auxiliaram em diversos momentos na execução deste trabalho.

Aos meus amigos, Ernesto Valdes Rodriguez, Janaina dos Santos, Mariana Martins, Nataly Verissimo, Renato Alves, Francianne da Silva, Elton Fratuci, Matheus Rodrigues, Amanda Pereira e Carlos Pacheco, por me agüentarem nos momentos de estresse, mesmo sem compreenderem o porquê. E ainda por me reanimarem diante das dificuldades, obrigada!

Ao Secretário de Planejamento da Prefeitura de Garanhuns, João Inocência Guido e ao atual Secretário de Serviços Públicos, Obras, Transporte e Trânsito, Jones Rodrigues Sena Filho, pela receptividade e fornecimento de importantes informações a cerca do funcionamento e infraestrutura do Município de Garanhuns.

Aos funcionários da CPRM, FUNTEPE pela concessão dos materiais iconográficos, parte fundamental da minha análise de estudo.

Ao Técnico de Laboratório Marcelo Francisco Gomes, funcionário do Laboratório de Tecnologia Mineral do Departamento de Engenharia de Minas da UFPE, e a todos os estagiários, que me auxiliaram na condução dos ensaios de análise física dos sedimentos.

A Professora Dr^{ca}. Alcina Magnólia Franca Barreto, do Departamento de Geologia da UFPE pela concessão de utilização de equipamento para análise Morfoscópica no Laboratório de Paleontologia II.

Ao Professor Dr. Armando Hideiki Shinohara, Chefe do Laboratório de Raios-X do Departamento de Engenharia Mecânica da UFPE, pela cordialidade e pelo auxílio na utilização de equipamento, bem como na interpretação das análises por difração de Raio-X.

A todas as pessoas que passaram pela minha vida acadêmica e que de algum modo contribuíram no meu processo de aprendizado.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	06
LISTA DE FIGURAS.....	11
LISTA DE FOTOGRAFIAS.....	13
LISTA DE GRÁFICOS.....	15
LISTA DE TABELAS.....	16
RESUMO.....	17
ABSTRACT.....	18
1. INTRODUÇÃO.....	19
1.1 Justificativa.....	22
1.2 Objetivos.....	23
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	24
2.1 Mapeamento geomorfológico e morfodinâmico.....	24
2.2 A fisiologia da paisagem.....	27
2.3 A encosta como categoria de análise da paisagem.....	30
2.4 Propriedades do solo e erosão.....	35
2.4.1 Textura.....	35
2.4.2 Densidade Aparente e Porosidade.....	37
2.4.3 Estabilidade do agregado e matéria orgânica.....	38
3. MATERIAIS E MÉTODO	40
3.1 Materiais.....	40
3.2 Método.....	42
3.2.1 Técnicas de Geoprocessamento.....	42
3.2.2 Análise morfométrica: a densidade de drenagem.....	43
3.2.3 Fotointerpretação.....	44
3.2.4 Análise morfodinâmica espaço-temporal.....	45
3.2.5 Trabalho de Campo.....	47
3.2.6 Amostragem dos sedimentos.....	48
3.2.6.1 A coleta das amostras.....	49

3.2.6.2 Nomenclatura das amostras.....	49
3.2.6.3 Descrição das amostras coletadas.....	50
3.2.7 Laboratório.....	54
3.2.7.1 Análise Granulométrica: peneiramento e pipetagem.....	54
3.2.7.2 Morfoscopia.....	56
3.2.7.3 Análise geoquímica.....	56
3.2.7.4 Mineralogia das argilas.....	57
 4. CARACTERIZAÇÃO GEOGRÁFICA DA ÁREA: COMPILAÇÃO DOS DADOS.....	 58
4.1 A Geologia Regional e Morfoestrutura	58
4.2 O Sistema climático de Garanhuns.....	62
4.2.1 Eventos de alta precipitação em Garanhuns.....	64
4.3 A Rede de Drenagem.....	66
4.3.1 A área de estudo.....	67
4.3.2 Densidade de Drenagem da área de estudo.....	69
4.4 Coberturas Vegetais.....	72
4.5 A Cobertura Pedológica e sua relação com a paisagem.....	74
 5. O PROCESSO DE USO E OCUPAÇÃO DA PAISAGEM EM GARANHUNS.....	 80
5.1 O processo histórico.....	80
5.1.1 O surgimento dos primeiros bairros.....	81
5.1.2 A economia regional.....	82
5.1.3 O uso e ocupação de terras em Garanhuns.....	82
5.2 A expansão urbana e seus problemas decorrentes.....	85
5.2.1 Loteamento de conjuntos habitacionais.....	90
5.2.2 Infra-estrutura de Garanhuns.....	90
 6. A COMPARTIMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA REGIONAL E AS UNIDADES DE RELEVO DE GARANHUNS.....	 94
6.1 Superfícies geneticamente homogêneas.....	97
6.1.1 Elementos Denudacionais.....	97
6.1.2 Elementos de Acumulação.....	100

7. ANÁLISE DOS SEDIMENTOS EM ÁREAS FOCO DE EROSÃO.....	103
7.1 Análises Morfoscópica e Granulométrica.....	103
7.1.1 Curvas Cumulativas e diagrama de disco por área de amostragem.....	105
7.2 Propriedades do solos residuais e depósito alúvio coluvial.....	111
7.3 Mineralogia das argilas.....	112
 8 MAPEAMENTO MORFODINÂMICO: UMA ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL.....	 115
8.1 Análise da evolução espaço temporal.....	116
8.1.1-1965: O início da Expansão Urbana.....	116
8.1.2-1982: Transformações antrópicas e processos naturais.....	119
8.1.3-2006: Problemas ambientais e Planejamento Urbano.....	124
8.2 O estudo evolutivo da voçoroca localizada na BR-423.....	131
 CONCLUSÃO.....	 140
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	144
ANEXOS.....	152

LISTA DE FIGURAS

Figura 01	Localização da área de estudo.....	16
Figura 02	Modelo de evolução de nove unidades hipotéticas de encostas, desenvolvida por Darymple et. al.....	29
Figura 03	Mapa geológico simplificado da área de Garanhuns.....	56
Figura 04	Riachho Rua Nova, principal drenagem ao sul de Garanhuns.....	67
Figura 05	Mapa de hidrografia.....	69
Figura 06	Índice de Densidade de drenagem para a área de Granhuns.....	71
Figura 07	Carater solódico dos Regossolos e Planossolos.....	78
Figura 08	Mapa de solos de Garanhuns.....	79
Figura 09	Mapa de uso e ocupação de Terras de Garanhuns.....	84
Figura 10	Primeiro momento da expansão urbana de Garanhuns em 1665.....	87
Figura 11	Momento intermediário de expansão urbana sobre os limites de encostas em 1982.....	88
Figura 12	Momento atual da expansão urbana sobre espaços limitados para reserva de expansão em 2006.....	89
Figura 13	Mapa Hipsométrico da área de estudo.....	96
Figura 14	Mapa Geomorfológico de Garanhuns.....	102
Figura 15	Distribuição granulométrica em diagrama de disco CVG, LQG e NCG.....	106
Figura 16	Distribuição granulométrica por classes em diagrama de disco CVG, LQG e NCG.....	107
Figura 17	Mineralogia de argila – CVG.....	113
Figura 18	Mineralogia de argila – LQG.....	114
Figura 19	Mineralogia de argila – NCG.....	114
Figura 20	Mapa morfodinâmico de 1965.....	118
Figura 21	Modelo de mudanças episódicas em sistemas fluviais proposto por Knox (1972).....	120
Figura 22	Mapa morfodinâmico de 1982.....	113
Figura 23	Mapa morfodinâmico de 2006.....	130
Figura 24	Momentos I, II e III para o Modelo evolutivo sobre a. voçoroca da BR-423 na área urbana de Garanhuns.....	133

Figura 25	Momentos IV e V para o Modelo evolutivo sobre a voçoroca da BR-423 na área urbana de Garanhuns.....	134
Figura 26	Estabilidade da encosta e em momento intermediário de evolução.....	135

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Foto 01	Área de amostragem CVG.....	46
Foto 02	Área de amostragem LQG.....	47
Foto 03	Área de amostragem NCG.....	49
Foto 04	Principal substrato rochoso para Garanhuns, o Quartzito.....	55
Foto 05	Resquícios de vegetação secundária em área de perímetro urbano.....	74
Foto 06	Perfil de um Regossolo localizado no bairro Dom Helder Câmara.....	76
Foto 07	Perfil de um Latossolo em processo de podzolização.....	77
Foto 08	Área de contato urbano-rural-industrial, limite leste de expansão urbana.....	85
Fotos 09 e 10	Voçoroca do bairro COHAB I, área limítrofe de expansão a SSE da mancha urbana.....	93
Foto 11	Área de cimeira tabular, visão panorâmica do bairro COHAB I.....	97
Foto 12	Anfiteatro de Erosão com cicatrizes deslizamentos (<i>sliding</i>) localizado no limite de expansão W da área de estudo.....	99
Foto 13	Cicatriz de deslizamento e erosão linear em vertente retilínea.....	99
Foto 14	Fotografia aérea do setor SW de expansão urbana no ano de 1982.....	121
Foto 15	Fotografia aérea em área urbanizada com problemas de erosão, localizada no Vale do Riacho Rua Nova e drenagens tributárias.....	122
Foto 16	Vista atual do Bairro COHAB I sobre o vale do Riacho Pau Amarelo.....	125
Foto 17	Vista de uma vertente retilínea com uso para agricultura.....	126
Foto 18	Vista da Voçoroca da Liberdade no Bairro de Heliópolis.....	127
Foto 19	Formação de <i>terraces</i> de <i>pisoteamento</i> pelo gado sobre alta declividade.....	128
Foto 20	Erosão em voçoroca sobre encostas retilíneas na BR 423, saída oeste de Garanhuns.....	129
Foto 21	Antigo nível de base localizado sobre a barragem rompida, no qual os depósitos colúvio-aluviais foram evacuados.....	139

Foto 22	Leque secundário formado imediatamente após a barragem rompida.....	139
----------------	--	------------

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01	Diagrama Ombrotérmico de Garanhuns.....	63
Gráfico 02	Precipitação anual em Garanhuns em 1965.....	65
Gráfico 03	Precipitação anual em Garanhuns em 2004.....	65
Gráfico 04	Disponibilidade de água no solo em 1965	66
Gráfico 05	Disponibilidade de água no solo em 2004.....	66
Gráfico 06	Curva cumulativa por classe granulométrica CVG.....	105
Gráfico 07	Curva cumulativa por classe granulométrica LQG.....	105
Gráfico 08	Curva cumulativa por classe granulométrica NCG.....	105
Gráfico 09	Histograma das classes granulométricas para a amostra CVG.....	108
Gráfico 10	Histograma das classes granulométricas para a amostra LQG.....	108
Gráfico 11	Histograma das classes granulométricas para a amostra NCG.....	108

LISTA DE TABELAS

Tabela 01	Espécies vegetais utilizadas para contenção de erosão.....	73
Tabela 02	Graus de esfericidade (Rittenhouse,1943), de arredondamento (Powers, 1982) e textura superficial para as amostras analisadas.....	103
Tabela 03	Parâmetros estatísticos por área de amostragem.....	104
Tabela 04	Propriedades pedológicas das amostras.....	111
Tabela 05	Mineralogia das argilas: minerais primários e supérgenos.....	112

RESUMO

Através da realização do mapeamento geomorfológico e morfodinâmico de detalhe enfocando a área de expansão urbana do Município de Garanhuns - PE nos anos de 1965, 1982 e 2006, foi possível estabelecer a relação entre a gênese do relevo, materiais componentes das formações superficiais, propriedade dos solos e processos operantes. Com vistas ao reconhecimento e interpretação do significado da dinâmica processual atual, o mapeamento morfodinâmico em escala espaço-temporal, ensejou o reconhecimento dos diversos processos superficiais operando em relação direta com a topografia, estruturas lito-pedológicas e cobertura vegetal. Foi diagnosticado que, feições morfológicas, tais como, vertentes retilíneas, resultante de deslizamentos, paleo-escarificações e anfiteatros de erosão possuem forte relação com os processos erosivos vigentes. Resultados de análise sedimentológica e mineralogia demonstraram que o processo de erosão e transporte, em curto prazo, tem favorecido um acúmulo de depósitos de textura grossa e inversão do relevo em setores de baixa encosta a partir da formação de novos *knickpoints*. Foi possível estabelecer para a área uma forte relação entre as atividades antrópicas e o aumento da sensibilidade da paisagem. Por fim, constatou-se ainda que modificações no sistema climático, operando em diversas escalas de tempo, contribuem de forma sistêmica sobre os graus de estabilidade e evolução da paisagem geomorfológica em Garanhuns, sobretudo quando intermediadas pelas atividades antrópicas que catalisam a instabilidade de alguns setores do relevo.

Palavras-chave: Morfodinâmica; Expansão Urbana; propriedade dos solos; Ação Antrópica, Planalto da Borborema.

ABSTRACT

Through the fulfillment of the geomorphological and morphodynamic detail mapping, focusing in the urban expansion area of the City of Garanhuns - PE in the years of 1965, 1982 and 2006, it was possible to establish the relationship among morphogenesis, component materials of the superficial formations, soil properties and functional processes. Aiming at the recognition and interpretation of the meaning of current surface dynamics, a morphodynamic mapping was elaborated for a time frame of four decades. It tried to recognize the several superficial processes operating in the area in direct relation with the litho-pedologic cover, geologic structures and vegetation. It was diagnosed that morphologic features, such as, rectilinear slopes, resulting from landslides, erosion scars and hollows are close related to functional erosive processes. Results of sedimentological analysis and mineralogy demonstrated that erosion and transport processes, in the short term, have led to an increase in the roughness of the deposits and small-scale relief inversions in sectors of the lower slope, as a response to the formation of new knickpoints. It was possible to establish for the area a strong relationship between human induced activities and landscape sensitivity. Finally, it was still evidenced that modifications in the climatic system, operating in several time-scales, have systematically contributed to the distinct degrees of stability and evolution of the geomorphological landscape in the studied area, moreover when intermediated by anthropogenic activities that catalyze the instability of some sectors of the relief.

Key-words: Morphodynamics; Urban Expansion; Soil properties; Anthropogenic actions, Borborema highlands.

1. INTRODUÇÃO

A expansão urbana de Garanhuns, no decorrer das últimas décadas, resultou na construção de vários conjuntos residenciais destinados às classes de baixa renda (as denominadas COHAB'S). Este é um caso ilustrativo de ações deliberadas do planejamento público, responsáveis pelo desencadeamento de processos-resposta sobre os sistemas físico-naturais, em nível local.

Inicialmente, o reconhecimento em campo de paleo-feições típicas de retomadas erosivas sobre a paisagem de Garanhuns, demonstra que a área em questão já esteve sujeita a episódios de alta vulnerabilidade aos agentes morfogenéticos.

Possivelmente, em um passado sub-recente na escala do tempo geológico (Pleistoceno-Holoceno), a área do Planalto da Borborema onde se encontra Garanhuns sofreu repetidos desequilíbrios no seu sistema geomorfológico, gerando sucessivas incisões sobre o relevo, observáveis no entorno da atual mancha urbana da cidade de Garanhuns. Tais processos dinâmicos da paisagem certamente se deram a partir da interface clima/solo, sob o contexto de inúmeras oscilações climáticas cíclicas. A partir da contemplação deste cenário de heranças morfogenéticas provavelmente holo-pleistocênicas, constata-se que a influência do clima atual, preponderantemente sub-úmido, por si só, não pode ser considerada como a única variável controladora do processo de reativação das paleo-feições erosivas encontradas em Garanhuns, atualmente identificadas como voçorocas ativas.

Excluindo-se a participação de eventos climáticos extremos na atualidade, pode-se então considerar, o homem como o principal fator atuante sobre a redinamização das feições erosivas lineares de Garanhuns, sobretudo em resposta ao processo de expansão urbana, que apesar de “formal” não observou as peculiaridades geomorfológicas, pedológicas e climáticas da área. Embora a urbanização mal dirigida seja um forte condicionante para a reativação de processos de erosão laminar e linear, a

avaliação da resposta da paisagem aos impactos induzidos pelo homem é de difícil mensuração, já que determinados ambientes já são naturalmente vulneráveis.

Estudos dessa natureza indicam que a retomada da morfogênese em áreas urbanas pode ser considerada um processo azonal, assim como postulam Kertzan et alii (1995), Santoro e Fulfaro (1996), Pedro e Lorandi (2004) Ribeiro (2004), Modenesi e Hiruma (2004) e Silva et alii (2005), pois ocorre com frequência em diferentes pontos do país, sob diversas circunstâncias morfoclimáticas. No entanto, o elemento unificador, neste caso, decorre de que pesquisas com este enfoque abordam geralmente cidades de médio porte, onde a área rural começa a ser transformada pelo processo de expansão urbana. Não obstante, existem algumas peculiaridades locais, que conferem ao relevo de Garanhuns impedimentos notáveis ao estabelecimento de habitações populares. É objetivo deste trabalho enunciá-las.

O sítio urbano da cidade se caracteriza como uma série de superfícies de cimeira, tabulares, com rupturas de gradiente convexas, a partir das quais os fluxos superficiais não canalizados convergem em diversas cabeceiras de drenagem de primeira ordem, efêmeras e intermitentes. Logo, os principais problemas decorrentes da expansão do assentamento urbano referem-se à retomada erosiva e regressão destas cabeceiras.

A fim de abordar as questões acima colocadas, o presente trabalho está inserido no âmbito do “Grupo de Estudos do Quaternário do Nordeste Brasileiro”, junto ao Departamento de Ciências Geográficas da UFPE. Neste contexto de investigação geomorfológica, o presente trabalho tem como objetivos a realização de um mapeamento geomorfológico e morfodinâmico em escala espaço-temporal, buscando estabelecer uma relação mútua entre gênese das unidades de relevo, materiais que as compõem e fluxos de energia. A área selecionada abrange uma superfície aproximada de 100 Km², delimitada pelos paralelos 8°51’37”/8°55’40” S e os meridianos 36°26’06”/36°30’52” W, situada na micro-região de Garanhuns, Pernambuco (Figura 01).

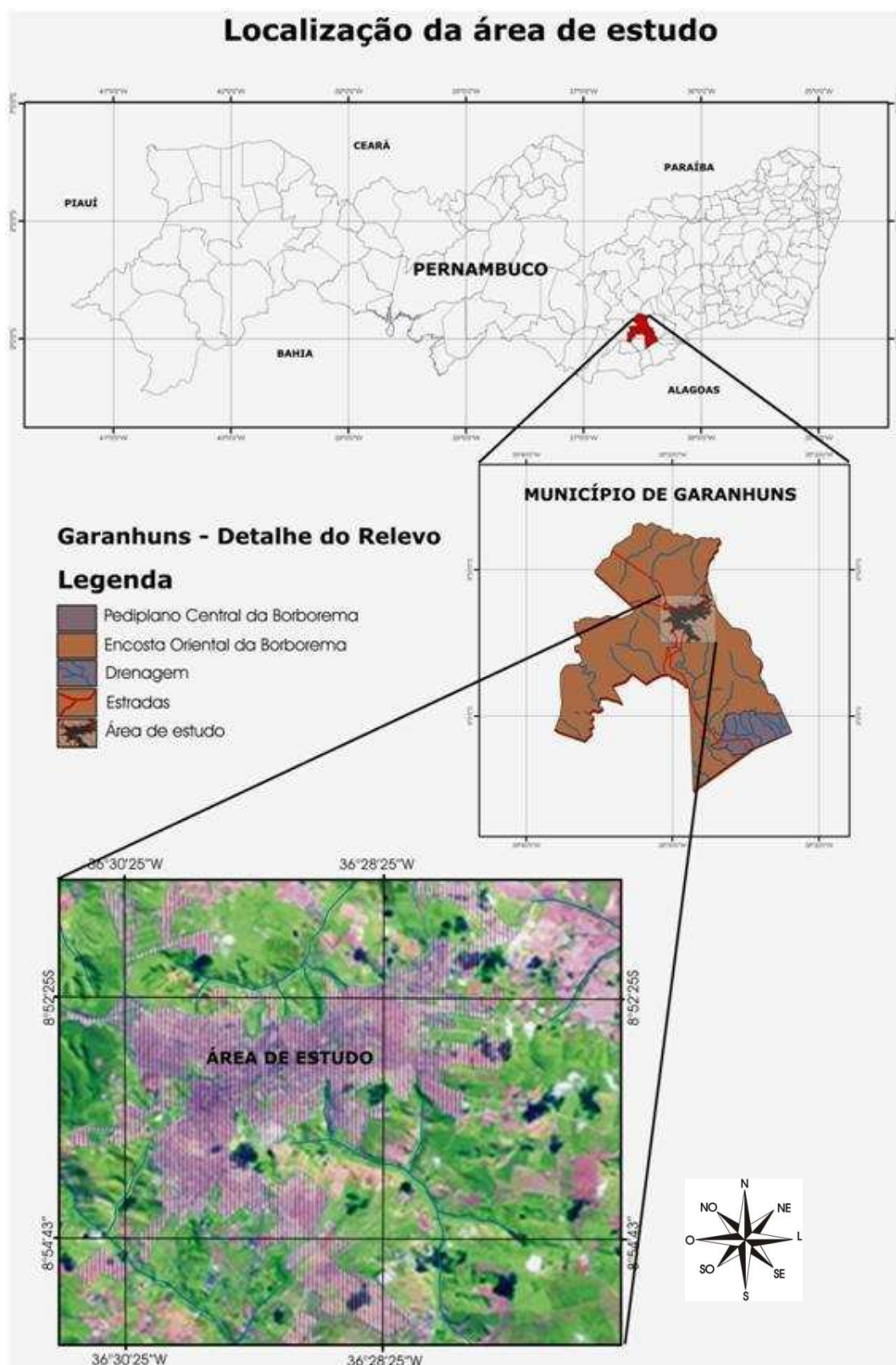


Figura 1: Mapa de localização da área de estudo (fontes: Zoneamento Agro-ecológico de Pernambuco (ZAPE) e Embrapa, 2003).

1.1 Justificativa

Assim como em várias outras cidades de médio porte, Garanhuns tem visto nas ultimas décadas, o crescimento de sua área urbana, ocupando o que antes eram áreas de domínio agrícola. Esta tensão de contato entre o urbano e o rural tem gerado, por vezes, impactos ambientais, com reflexos notáveis sobre os sistemas geomorfológicos. O desrespeito às leis ambientais e o mau planejamento acabaram interferindo sobre o equilíbrio entre pedogênese e morfogênese em escala local, criando situações de retomada de erosão linear e voçorocamento de encostas próximas às áreas de ocupação urbana recente.

A partir dessa perspectiva o presente estudo fundamentou-se sobre a realização de um mapeamento geomorfológico e geodinâmico de detalhe, bem como a caracterização pormenorizada dos materiais constituintes dos solos, com vistas a identificar suas implicações sobre os sistemas morfodinâmicos. Acredita-se que sem esse tipo de informação geomorfológica básica, pouco se pode aferir sobre as relações entre processos de expansão urbana e a dinâmica superficial que afeta o local.

Embora o processo de expansão urbana em locais de alto risco represente um problema freqüente no Estado de Pernambuco, sobretudo em cidades de médio porte, pouco se tem estudado a cerca da gênese dos processos naturais sobre essas áreas.

Metodologicamente pode-se dizer que a realização de um mapeamento geomorfológico de detalhe pressupõe um estudo da evolução da compartimentação do relevo. Através dessa compreensão, de onde os processos morfodinâmicos atuam, ou atuaram, a geografia física possibilita a inserção de outros elementos de alterações que se sobrepõem na paisagem. A variável antrópica, neste caso, representa em última instância o fator recondicionante de todos os outros elementos, agindo pelo mecanismo de *feedback*, que repercute na mudança no grau de entropia dos demais componentes do sistema natural.

Em primeira instância, tal esforço para a compreensão da dinâmica da paisagem, certamente poderá contribuir em avanços acadêmicos, não somente regionais como também locais, ainda tão pouco comprometidos com pesquisas em geomorfologia aplicada ao manejo de riscos ambientais. Espera-se, ainda, que este estudo ao contribuir para a elucidação dos processos naturais ocorrentes no local, com ênfase nos aspectos geomorfológicos, possa servir como importante instrumento para a Prefeitura do Município de Garanhuns no planejamento e estabelecimento de assentamentos humanos em maior harmonia com os processos superficiais vigentes.

1.2 Objetivos

O estudo proposto teve como objetivos, a caracterização de modificações sofridas sobre os sistemas geomorfológicos, tendo em vista a ocorrência do processo de expansão urbana pela ótica de uma escala recente de tempo. O estudo voltou-se também sobre a caracterização sedimentológica dos solos e depósitos de encostas resultantes de tais transformações. A fim de alcançar seu objetivo final, a pesquisa alicerçou-se na construção dos seguintes procedimentos:

- esboço da evolução morfodinâmica da área nas quatro ultimas décadas;
- identificação do grau de instabilidade de setores do relevo e sua distribuição frente ao conjunto de informações sobre natureza do substrato, processos de superfície e ação antrópica;
- reconhecimento dos tipos de processos predominantes sobre a dinâmica geomorfológica a partir da investigação de áreas fonte e ambientes de sedimentação correlativos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Ao se realizar uma análise geomorfológica, devem-se levar em conta as forças ativas e passivas oriundas dos processos internos e externos do relevo, sobre o qual se dão as transformações decorrentes das atividades humanas. Por esse motivo Ross (2005) afirma que a geomorfologia, nos estudos ambientais, está sustentada sobre as ciências naturais, ainda que possua forte vínculo com as ciências humanas, servindo dessa maneira, como suporte para o entendimento das sociedades humanas que se estruturam, extraem recursos e organizam o espaço físico territorial sobre ambientes originalmente naturais.

Atualmente inúmeros estudos, como demonstram Carvalho et. Al. (2001), Felisbino & Mendes (1999), tem comprovado que a utilização de técnicas geomorfológicas além de representar facil operacionalidade podem ser realizadas a baixos custos. No entanto, o que se presencia atualmente é um total descompromisso e alienação por parte dos órgãos gorvenamentais bem como pela sociedade civil, no tocante ao aproveitamento de informações básicas dos sistemas ambientais.

Sobre o foco dos estudos ambientais, o conhecimento a cerca dos aspéctos geomorfológico podem servir , tanto como diagnóstico de situações quanto subsídio para o planejamento territorial.

2.1 Mapeamento geomorfológico e morfodinâmico

Estudos relacionados à morfodinâmica tiveram sua gênese na teoria dos geossistemas, introduzida por Chorley (1962) nos estudos geomorfológicos. A teoria geossistêmica levou em consideração critérios de capacidade integrativa sobre a realidade complexa e ainda o estabelecimento de diversos tipos de sistemas, com grande relevância para os estudos relacionados à geografia física.

Chorley e Kennedy (1968 *apud* Christofolletti, 1999) destacaram o reconhecimento dos sistemas morfológicos, seqüenciais, de processo-resposta e controlados, como os mais importantes na investigação ambiental. O funcionamento dos sistemas morfológicos fechados ou abertos, em geral, é considerado como resposta ou ajustamento de fluxos de energia e matéria do sistema em seqüência. Como exemplo, verifica-se sobre a relação entre rede de drenagem, encostas e instalação de equipamentos, o estabelecimento de variáveis que afetam diretamente a geometria e composição do relevo. Neste ponto define-se o processo-resposta, inerente à identificação das relações entre processo e as formas resultantes. Em consequência o homem surge como agente controlador dos sistemas e atividades de planejamento, produzindo interferências e delineando procedimentos.

Sobre esta perspectiva os estudos das encostas passaram a desempenhar papel fundamental na compreensão do modelado da paisagem e de seus processos. O balanço denudacional da paisagem ocorre, muitas vezes, de forma rápida, durante fases de instabilidade. Gerrard (1995) afirma que o dinamismo entre solo e sistemas geomorfológico pode resultar de várias combinações, tanto por fatores de repercussão externa, tais como a atividade tectônica, rejuvenescimento e flutuação climática, quanto por fatores de interferência interna como influência do tempo meteorológico, movimentos de massa e mudanças no uso do solo.

Inicialmente, para a construção de um estudo de geomorfologia aplicada aos contextos urbanos, se faz necessária a aplicação de um mapeamento geomorfológico, com finalidade de compreender a distribuição hierárquica das formas do relevo. Para Christofolletti (1974), esta compreensão deve ser realizada com base nas características morfológicas, nos materiais componentes, nos processos formadores e na dinâmica evolutiva. Dentro desta perspectiva, a adoção de um mapeamento geomorfológico pode melhor conduzir as atividades humanas e sua organização espacial.

De acordo com Corrêa (1997), o mapeamento geomorfológico de detalhe tem como principal objetivo, investigar as formas, defini-las e elucidar suas funções dentro do sistema. Entretanto, outro tipo de exame deve ser realizado, no qual sejam contemplados os processos ocorrentes, em particular das taxas de operação dentro da geomorfologia dinâmica. Esta análise tem possibilitado evidenciar o papel que o homem vem exercendo sobre a modificação da paisagem física, como resultado da alteração das taxas de intemperismo, erosão e deposição.

Muito embora os processos erosivos, no contexto urbano possam ser acelerados pelo fator antrópico, Cunha e Guerra (2000) afirmam que o desequilíbrio de encostas é provocado principalmente por eventos climáticos e que a variação espacial da intensidade das precipitações aliadas à sua frequência, são fatores primordiais para a avaliação de situações críticas.

Tendo em vista esse quadro complexo entre processos de origem natural e antrópica, Tricart (1977) ao estabelecer as unidades *ecodinâmicas*, sugere que a paisagem seja analisada pelo seu comportamento dinâmico, partindo de uma compartimentação em unidades de paisagem ecodinâmica. Para o referido autor, a morfodinâmica é o elemento determinante dos processos, dependendo diretamente do clima, relevo, natureza da rocha, solos, cobertura vegetal, dentre outros fatores. Portanto, a relação mútua entre diversos componentes relacionados à dinâmica e os fluxos de matéria e energia deve ser levada em consideração para a avaliação dos impactos causados pela inserção do homem e suas dinâmicas espaciais.

Com base no reconhecimento morfodinâmico da paisagem Tricart (op. cit.) propôs a divisão das unidades em três categorias de estabilidade processual a se denominar como: meios estáveis, meios *intergrade* e meios fortemente instáveis. Esta proposta, segundo Ross (2005), obrigatoriamente passa pelo inventário do quadro natural ambiental seja em estado natural, seja antropizado, traduzindo-se em diagnóstico objetivo, representando o grau de sensibilidade da paisagem.

Aplicando ao estudo morfodinâmico o roteiro de investigação, elaborado por Libault (1971) a pesquisa geográfica deve-se realizar em quatro níveis. O primeiro é denominado como *nível compilatório*, relativo ao momento de levantamento bibliográfico, documentação cartográfica, definição da área e escalas de estudo. Em seguida passa-se pelo *nível correlatório*, onde serão feitas as devidas correlações entre elementos componentes da dinâmica superficial a partir da seleção de variáveis ambientais para a avaliação do grau de instabilidade. O *nível semântico* se caracteriza pela síntese, na qual são estabelecidas as regras de correlação entre as variáveis, e por ultimo o *nível normativo*, com a obtenção do mapa morfodinâmico

Apesar deste tipo de mapeamento gerar um complexo quadro de informações sobre a paisagem, dificultando a leitura em alguns casos, a carta ecodinâmica pode fornecer de modo fidedigno a situação da dinâmica da paisagem.

Dessa maneira, estabelecer o estado morfodinâmico atual das formas, de acordo com a tipologia estabelecida por Tricart (1977), possibilita ao pesquisador de geomorfologia e ciências afins, realizarem um ordenamento tipológico de degradação, de acordo com sua evolução ao longo do período em que, no caso específico da mancha urbana de Garanhuns, a área rural transformou-se em área urbana.

2.2 A fisiologia da paisagem

A abordagem do relevo para a sistematização de pesquisas em geomorfologia tem relação intrínseca com o estudo da fisiologia da paisagem. Introduzido no Brasil por Ab' Saber (1969) o estudo da fisiologia da paisagem tem por objetivo compreender os processos morfoclimáticos e pedogênicos atuais. Casseti (2006) complementa com a afirmativa de que este tipo de abordagem envolve a situação do relevo atual, fruto das relações morfodinâmicas resultantes da consonância entre os fatores intrínsecos (inerentes ao próprio relevo) e os fatores extrínsecos, com ênfase ao uso e ocupação do modelado enquanto duas forças antagônicas.

Portanto, ao mesmo tempo em que o estudo da fisiologia da paisagem tem sua ótica focada sobre o momento histórico atual, o mesmo não deixa de levar em consideração o registro dos mecanismos associados ao tempo geológico, responsável pela evolução do relevo expresso sobre a topografia e seus respectivos depósitos correlativos.

A ocorrência de depósitos correlativos sobre a paisagem resulta de relações processuais que variam de curto a longo prazo. Porém, a apropriação do relevo pelo homem, seja como recurso ou suporte, tem determinado modificações substanciais sobre o substrato de evolução natural.

Para Casseti (2006) em uma abordagem morfoclimática, a compreensão dos processos realiza-se normalmente sobre uma escala de tempo geológica, enquanto que a morfodinâmica se reporta a uma perspectiva de evolução sobre a escala de tempo histórica. Assim como eventos de alta magnitude e baixa recorrência são capazes de efetuar modificações consideráveis sobre a paisagem, as derivações antrópicas cada vez mais têm provocado alterações rápidas em resposta diferentes aos processos de cunho natural como no caso de alteração entre momentos de bio-resistasia.

O conceito de bio-resistasia elaborada por Erhart (1956) possui grande importância na compreensão das relações morfodinâmicas a partir de estágios morfopedogenéticos diferenciados, relacionados às modificações climáticas.

Sendo a biostasia considerada o período no qual há o predomínio da pedogênese sobre a morfogênese, as vertentes encontra-se em maior equilíbrio pela presença de cobertura vegetal. Conseqüentemente ocorre nesta fase o predomínio do componente perpendicular, ou seja, da infiltração no sentido de avanço do manto de intemperismo. A estabilidade geomorfológica associada à existência de uma floresta compacta conduz ao que Erhart (op. cit) chamou de *climax* do equilíbrio biológico, com o máximo de desenvolvimento biostásico. Este balanço morfogenético negativo contribui para a formação de duas fases distintas: fase migradora, com perda respectivamente de

elementos alcalino-terrosos e silício; fase residual, com o acúmulo de hidróxidos de ferro e alumínio, quartzo e caulinita.

Desta forma, Erhart (1956) definiu como período resistásico, a fase que se segue à perda de cobertura vegetal, resultante provavelmente de alterações climáticas. A retirada de elementos que ora compunham a fase residual (minerais + hidróxidos de ferro e alumínio) pelo predomínio do componente paralelo ou escoamento superficial torna-se predominante na paisagem. O material intemperizado removido tende a adelgaçar o perfil pedogenético, que por sua vez gera um balanço morfogenético positivo provocando imediatamente o assoreamento de vales.

A pressão que as atividades antrópicas vêm produzindo sobre a biomassa nos últimos séculos tem se constituído fator importante sobre a alteração do comportamento geomorfológico e mesmo climático. Portanto, a avaliação de eventos meteorológicos de curta duração possui significativa importância como objeto de investigação do estudo da fisiologia da paisagem. Sternberg (1949) foi pioneiro ao desenvolver trabalho relacionado a enchentes e movimentos de massa no vale do Paraíba, sudeste do Brasil durante os eventos de alta precipitação ocorridos em dezembro de 1948. Neste trabalho foi observado que a não racionalização dos critérios de ocupação foi em grande parte responsável pelo agravamento aos danos causados sobre a economia e perdas humanas.

Em relação à análise de ocorrência de erosão acelerada sobre áreas agrícolas, Sternberg (op. cit) percebeu que a desestabilização em nível local possuiu forte relação com o desmatamento e processos de ocupação depredatória. O desencadeamento de movimentos de massa e fluxos de detritos transportados ao longo das vertentes com elevada declividade foram responsáveis pelo soterramento de casas e assoreamento das várzeas em decorrência da alta produção de sedimentos.

Por fim Conti (2001) sintetiza o conceito de fisiologia da paisagem como sendo uma relação de conhecimentos acerca de processos climatológicos, geomorfológicos,

hidrológicos, biogeográficos, históricos, econômicos e culturais. E sua proposta de análise tem a paisagem como unidade espacial, na qual o espaço e tempo são integrados à perspectiva dos processos genéticos de sua elaboração.

2.3 As encostas como categoria de análise da paisagem

Outro tipo de análise de grande valor para a compreensão dos processos geomorfológicos operantes sobre a transformação do relevo são os estudos de encostas.

Bigarella *et al* (1965) explicam que a morfologia da encosta pode ser um poderoso instrumento para o reconhecimento da seqüência de eventos operantes no desenvolvimento da paisagem. A relação entre diversas formas e seus depósitos correlativos pode conduzir ao reconhecimento das condições ambientais prevalentes durante sua elaboração e os processos atuantes.

Segundo Selby (1982) as encostas representam para os estudos geomorfológicos a segunda feição em maior ocorrência na superfície da Terra, ficando atrás apenas dos terraços e planícies aluviais. Para os estudos ambientais urbanos, esta feição adquire importância à medida que sua evolução resultante da ação intempérica e da erosão pode exercer efeitos diretos sobre os assentamentos urbanos. Em concordância com Corrêa (1997), pode-se afirmar que estudos dessa evolução representam um esforço para a reconstrução da história geomorfológica da paisagem.

O estudo relativo à evolução das encostas vem sendo amplamente discutido desde o início de século XX. Penck (1924 *apud* Casseti, 2006) foi um dos primeiros teóricos a estudar detalhadamente este aspecto. Em sua concepção o ajustamento tectônico de um curso d'água pode condicionar inicialmente o arranjo dos processos areolares, acentuando a declividade da encosta e conseqüentemente intensificando o processo erosivo. Da mesma forma, qualquer alteração climática influi nos limites de formação de processos de uma encosta e, por conseguinte, na evolução do modelado como um todo.

Além da proposta de Penck (op. cit) outras teorias foram desenvolvidas contemporaneamente a respeito do modelo de evolução de encostas. Davis (1932 *apud* Bigarella et al., 1965) atribuiu pequena importância aos processos que operam sobre a evolução das encostas. Para o referido autor o manto de intemperismo migraria pela ação gravitacional encosta abaixo. Neste caso o recuo das encostas seria realizado pela diminuição de sua declividade e independentemente de suas formas originais desenvolver-se-ia um relevo com topo convexo e uma base com concavidade. A ação das águas pluviais, sobretudo pelo *creep*, seria responsável pelo arranjo dos detritos compostos por diferentes texturas que são depositados progressivamente à jusante da encosta.

King (1953 *apud* Bigarella et al, 1965) considerou em sua modelagem que os condicionantes físicos de evolução da paisagem são os mesmos sob todos os climas. O modelo de encosta ideal elaborado por King (op. cit) seria descrito da porção superior para a inferior com uma seção convexa, uma face livre, uma seção detrítica e um pedimento. No caso da ausência de um desses elementos no perfil o autor justificou sobre as seguintes condições: predominância de um ou alguns dos diferentes processos geomórficos; diferenças na litologia; espaçamento da rede de drenagem, entre outros fatores. A atuação dos processos de superfície, tais como escoamento superficial de água e movimento de massa seriam regidos por leis físicas específicas. Ao final, quando a encosta alcança um estágio de equilíbrio, as mesmas passam a recuar com inclinação constante, conhecido como recuo paralelo de encosta.

Mesmo reconhecendo que tais modelos, derivados de generalizações e conclusões universais a partir de observação de campo foram importantes para o desenvolvimento de estudos relativos à evolução de encostas, Selby (1982) explica que estas formulações são essencialmente descritivas e não testáveis. Suas formulações foram realizadas antes mesmo de se reconhecer dados consistentes, referentes às mudanças climáticas durante o cenozóico tardio.

Em geral, existe ao longo do perfil de uma encosta uma complexa variação de formas resultantes de processos específicos. A divergência de águas e detritos a partir da convexidade de uma encosta e sua convergência sobre as depressões e linhas de drenagem é tão importante quanto alguns processos que agem diretamente sobre a encosta.

O reconhecimento das diferentes unidades de uma encosta pode nos fornecer informações sobre a relação entre processos pedológicos e geomórficos. Segundo Selby (op. cit) essas unidades podem ser caracterizadas em diferentes formas, tais como: plana, convexa, côncava e penhasco ou unidades inclinadas.

Na tentativa de descrever os diversos tipos de formas de encostas que podem ser encontradas na natureza, Dalrymple *et al.* (1977 *apud* Selby, 1982) desenvolveram um modelo composto por nove unidades de encostas (Figura 02). Este modelo refere-se ao sistema de encosta como sendo um complexo tridimensional que se estende da drenagem até o centro do canal e da superfície até o limite entre solo e rocha fresca. Cada unidade retrata a ação de processos predominantes, porém, podem existir encostas onde ocorra apenas uma única unidade, ou apenas a combinação de algumas unidades. A vantagem do modelo de nove unidades está na possibilidade de gerar bases para a elaboração de um modelo matemático em que taxas de operação dos processos característicos de cada segmento da encosta são expressas em formas de equação, possibilitando seu processamento em simulações.

De acordo com essa relação percebe-se uma individualização dos processos que predominam sobre determinados segmentos de encosta, alhures referidos. Os fluxos de sub-superfície, movimentos de massa e fluxos por terra e infiltração, além dos fatores internos do solo, tais como, composição química, grau de permeabilidade e intemperização são decisivos sobre o controle de força e resistência na evolução das encostas.

Dentre os fatores que comandam a evolução de uma encosta Tricart (1957) destacou o valor da declividade, a natureza da rocha e o clima atuante. De acordo com o autor, quanto maior a declividade, maior é a atuação dos fluxos superficiais e, conseqüentemente, maior é a produção de sedimentos, limitando a formação de solo ou de área intemperizada. A natureza da rocha sobre a atuação da infiltração de água pode responder de forma diversa de acordo com suas propriedades físicas e químicas. A desagregação do material de origem e transformação em perfis pedogenizados definirá para as coberturas características texturais diversas, a partir dos minerais resultantes. É sobre esse ponto que Tricart (op.cit.) enfatiza a importância do caráter textural, como no caso das argilas. Estas, em geral, são responsáveis pela atuação de processos erosivos tais como solifluxão, *creeping* e deslizamento de massa. Já o clima seria responsável por toda esta dinâmica processual desde o desenvolvimento pedogenético até a atuação morfogenética, como movimento de regolito e eventos pluviométricos responsáveis pela erosão.

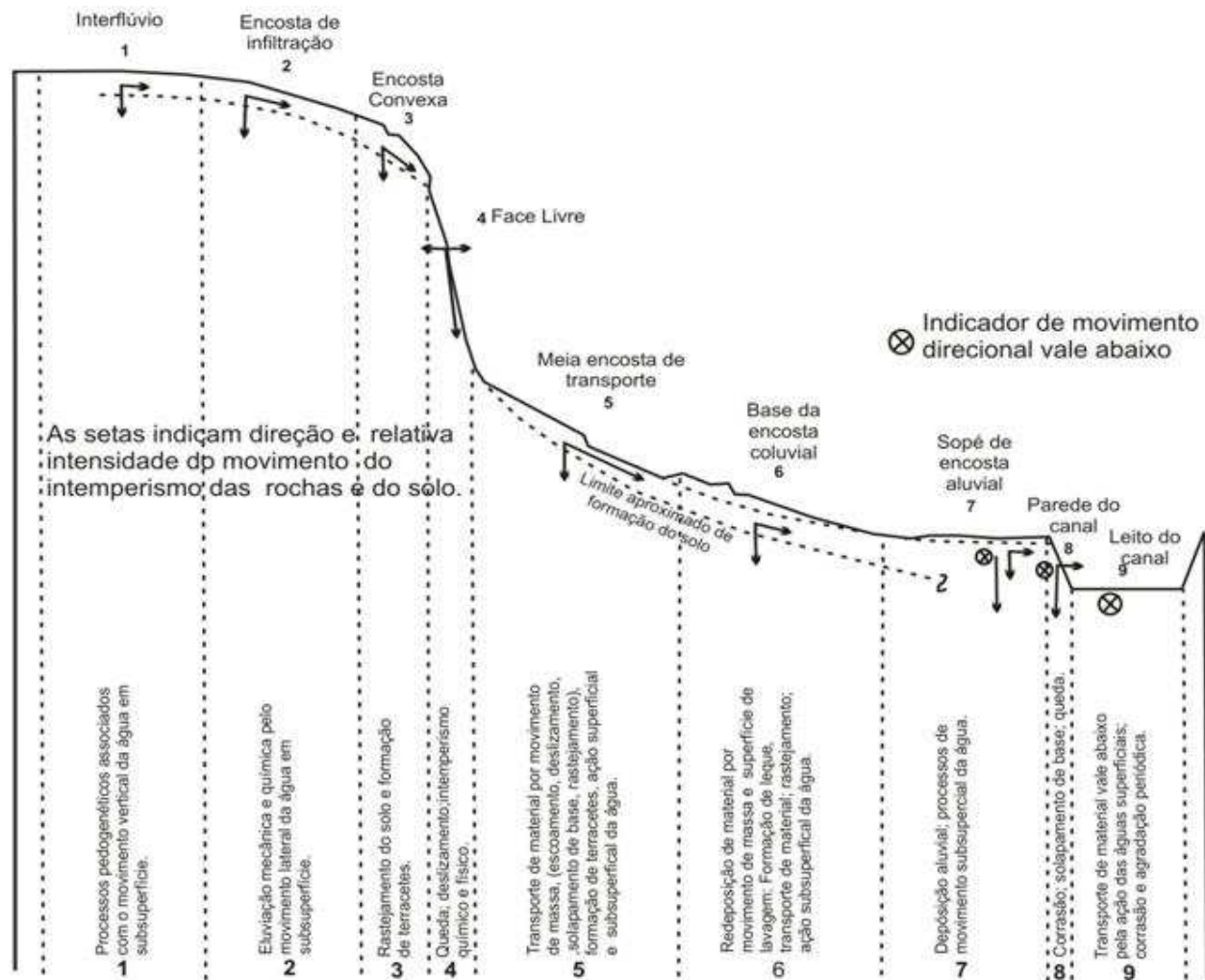


Figura 02: Modelo de superfície de nove unidades hipotéticas de encosta desenvolvido por Dalrymple et al. (1968 apud Selby, 1982).

2.4 Propriedades do solo e erosão

O conhecimento a cerca das propriedades dos solos e dos sedimentos é de grande importância para os estudos relativos à desestabilização da paisagem ocasionada por processos erosivos. Guerra (1998) afirma que os processos erosivos são controlados em geral por fatores como, erosividade da chuva, propriedades dos solos, cobertura vegetal e características da encosta. Quanto à natureza das propriedades dos solos, leva-se em conta, a textura, densidade aparente, porosidade, teor de matéria orgânica, teor de estabilidade de agregados e pH do solo.

A identificação do arranjo de partículas do solo, da geometria de seus horizontes e o conhecimento acerca da circulação lateral sub-superficial da água, segundo Silva (1999), contribui para um diagnóstico inicial sobre a erosão em um perfil. Esta análise estrutural da cobertura pedológica permite identificar as transições laterais ao longo da encosta e conseqüentemente as zonas de maior ou menor susceptibilidade.

2.4.1 Textura

A textura diz respeito à distribuição de tamanhos de partículas minerais que se pode encontrar em determinadas seções do solo ou mesmo em um perfil, dependendo do tipo de solo. A investigação textural de um solo é realizada a partir de processamento analítico de separação das partículas pelo método de análise granulométrica.

Brady (1989) afirma que a análise por tamanho da partícula fornece uma idéia geral das propriedades físicas de um solo, podendo classificá-los como solos arenosos, compostos por textura grossa; franco arenoso, variando entre texturas moderadamente grossas, média e moderadamente finas; e solos argilosos compostos basicamente por textura fina.

Os fragmentos grossos, apesar de fazerem parte do solo, não são incluídos nessa observação, sendo normalmente avaliados separadamente. Solos com massiva presença de areia possuem em geral baixa capacidade de retenção de água, facilitando a

drenagem e movimentação do ar. Enquanto que a presença espacial de silte e especialmente argila assegura uma movimentação lenta de ar e água (Brady, op. cit.).

As partículas de silte podem ocorrer irregularmente fragmentadas e em formatos variados, por vezes, lisas ou planas. Esta fração granulométrica em geral possui certa plasticidade, coesão e adsorção. Isso ocorre não pela propriedade aparente, mas pela formação de películas de argila sobre sua superfície. A detecção de grandes proporções de silte no solo é um primeiro indicativo de risco de erosão. Segundo Guerra (1999), a alta instabilidade de agregados formados por silte, contribui para a formação de crostas no solo e conseqüentemente preenchimento dos poros. Além de ser uma característica bastante conhecida acerca de investigações sobre processos erosivos tais estudos têm determinado que solos compostos por consideráveis porcentagem de partículas silte tornam-se altamente instáveis sobre o impacto da gota de chuva em áreas desprotegidas, como detectado por Farenhorst e Bryan (1995), Beuselinck *et al* (2000) e Martinez-Mena *et al* (2002).

Solos com quantidades apreciáveis de partículas no tamanho argila asseguram textura fina ao solo. A presença de perfis argilosos nem sempre representa um risco à erosão. Pelo contrário, em muitos casos a argila pode atuar de forma estabilizadora do perfil de solo devido à sua facilidade em manter-se agregada. Apenas em casos onde ocorra a diferenciação de textura entre os horizontes de solo, a camada argilosa pode apresentar mudanças na condutividade hidrológica do perfil. Ribeiro (2004) afirma que, para solos com textura elevada, onde ocorre o decréscimo de diâmetro das partículas, a água pode encontrar dificuldade na infiltração vertical do solo, gerando conseqüentemente fluxos laterais sub-superficiais ou de superfície, quando em solos rasos. Desta forma, a textura de um solo atua de forma significativa nos processos relativos à erosão.

2.4.2 Densidade aparente e Porosidade

A propriedade de densidade aparente pode definir a quantidade de água que um solo é capaz de absorver durante uma tempestade e, portanto, é de suma importância para a compreensão do processo erosivo de um solo. Brady (1989) define a densidade aparente como a relação entre a massa (volume do solo seco) e poros existentes. Isso significa dizer que solos com grande quantidade de espaços porosos em relação aos espaços sólidos possuem densidade aparente baixa, enquanto que em solos compactados a densidade aumenta, diminuindo conseqüentemente a quantidade de espaços livres. Embora os solos de textura fina possuam densidade aparente menor que solos de textura grossa (arenosa), as partículas sólidas de solos com textura fina tendem a formar micro-agregados (grãos porosos) que, na presença adequada de material orgânico tende a elevar a porosidade do solo e a rebaixar a densidade de volume (Brady, op.cit).

A respeito do processo de infiltração da água no solo, Heathwaite (1990 *apud* Guerra, 1999) verificou que o tipo de uso do solo pode ser decisivo no que diz respeito à densidade aparente. Áreas onde o gado compacta a superfície do terreno podem apresentar baixa porosidade do solo, desencadeando uma série de fatores que podem transformar o processo erosivo em uma constante durante todo ano, e não mais apenas em momentos de tempestades. Este fato chama a atenção para áreas de expansão urbana em Garanhuns, onde atividades rurais, como a criação de gado solto sobre encostas, ainda ocorrem em áreas limítrofes urbanas.

Solos com baixa porosidade tendem a formar sobre sua superfície crostas de selagem. Guerra (1999) afirma que o surgimento deste processo pode afetar diretamente a taxa de infiltração de um solo e, por conseguinte, elevar a taxa de escoamento superficial, resultando em uma maior perda de solo. Ocorre neste caso uma modificação no processo vigente, de grande destacamento das partículas e baixo transporte, antes do

runoff passando para baixo destacamento e alto transporte, durante o escoamento superficial (Guerra, op. Cit.).

2.4.3. Estabilidade do agregado e matéria orgânica

A estabilidade do agregado é outra importante propriedade avaliada nos processos erosivos do solo. De acordo com Curi *et al* (1993) o agregado representa um conjunto coerente de partículas primárias do solo com forma e tamanho definido. Sua textura pode variar tanto lateralmente, quanto verticalmente, coexistindo em um mesmo perfil diferentes tipos de agregados.

A formação de um agregado pode sugerir, atuação direta de microrganismos responsáveis pela cimentação e modelagem dos mesmos, e ainda, fissuração ou quebra de domínios floculados, relativos ao teor de umidade presente em tipo de argilas expansíveis, como explica Silva (1999). Os agregados atuam no solo como agentes estruturadores, variando em sua forma, tamanho e grau de desenvolvimento.

Reconhecendo a importância do agregado sobre a estabilidade dos solos, as práticas antrópicas podem ser mais bem conduzidas de acordo com o seu tipo de aproveitamento. A presença de material orgânico nos solos é citada pela grande maioria dos autores como uma das maiores indicações de estabilidade de um solo Brady, (1989); Fullen (1991); Longo *et al* (1999); Guerra (1999). Por esse motivo estudos relativos à instabilidade dos solos têm comprovado que a diminuição de matéria orgânica na superfície afeta diretamente a estabilidade dos agregados e microagregados. Ribeiro (2004) acrescenta que, os agregados do solo são responsáveis pelo aumento de sua porosidade. Com efeito, solos que se mantêm estáveis adquirem alta capacidade de infiltração e, sobre a presença apreciável de matéria orgânica as propriedades químicas e físicas podem beneficiar a estabilização dos agregados.

Fullen (1991) afirma que a matéria orgânica contida num solo exerce o papel de ligamento entre partículas de minerais primários, tanto física quanto quimicamente. Esta

reação repercute em uma maior resistência estrutural ao impacto da gota de chuva e ao efeito do *splash*. A estruturação do solo em grandes agregados permite uma maior percolação das águas, reduzindo conseqüentemente o fluxo de superfície.

Greenlan *et al* (1975) e De Ploey & Poesen (1985) (*apud* Guerra, 1999) apontaram em suas pesquisas, que solos com menos de 3,5% e 2% de matéria orgânica respectivamente, possuíam baixa estabilidade de agregados. Mesmo não sendo estabelecido um valor fixo que indique um índice de instabilidade, valores baixos tornam-se preocupantes à medida que a resistência ao impacto da chuva diminui sensivelmente. Outro fator preocupante que se aplica à instabilidade dos agregados de um solo é sua classificação textural. Quanto maior for o teor de silte em um solo, menor será sua resistência frente aos fluxos de superfície. O rompimento de agregados maiores causado pelo impacto da gota de chuva origina microagregados, ou seja, partículas individuais que de acordo com Farres (1978) preenchem os poros existentes na superfície do solo, afetando conjuntamente a porosidade e densidade aparente. Dessa maneira, a ruptura do agregado ocasionada por diversos fatores representa para o processo erosivo o ponto inicial da desestabilização dos solos.

A união das diversas combinações entre elementos de encosta, cobertura vegetal, erosividade das chuvas e propriedade dos solos pode nos conduzir a um diagnóstico coerente sobre os fatores preponderantes sobre a potencialização ou amenização dos processos erosivos atuantes sobre o relevo. Estima-se que estes aspectos sejam imprescindíveis em uma pesquisa de geomorfologia aplicada.

3. MATERIAIS E MÉTODO

3.1 Materiais

Para o desenvolvimento da pesquisa foram utilizados diversos tipos de materiais de acordo com a necessidade de cada método aplicado. Sendo assim, os materiais utilizados foram:

- Cartas topográficas na escala 1: 100.000 da SUDENE, folhas Garanhuns (1972) e Venturosa (1986) para geração dos mapas de densidade de drenagem na referida área de estudo.

- Fotos Aéreas na escala 1: 70.000 da Missão SU V SACS – CPRM (out. e dez. de 1965).

Faixa D7-02: fotos 392 e 393;

Faixa D7-09: fotos 153 e 154.

- Fotos Aéreas na escala 1: 25.000 Missão INCRA AEROSUL (1982) faixas não informadas:

Faixa: fotos 1484-1489;

Faixa: fotos 1506-1510;

Faixa: fotos 1749-1750.

Para interpretação morfodinâmica no ano de 1982 e auxiliar na confecção do mapa geomorfológico foram utilizadas:

- Imagem de Satélite Google Earth TM Landsat, na escala 1: 25.000 em mosaico (2006): para interpretação de imagem sobre a morfodinâmica no ano de 2006.

- Imagem SRTM do estado de Pernambuco, carta SC-24-XB de articulação compatível com a escala 1: 250.000 (IBGE) disponibilizada pela EMBRAPA Monitoramento por Satélite: para confecção das cartas hipsométricas.

- Cartas digitais Brasil em Relevo – monitoramento por Satélite, EMBRAPA: para análise dos compartimentos do relevo e confecção da carta Geomorfológica na escala 1: 25.000.

Folha: SC - 24 – X – B – VI – 3 – SO

Folha: SC – 24 – X – B – VI – 3 – NO

Folha: SC – 24 – X – B – V – 4 – SE

Folha: SC – 24 – X – B – V – 4 – NE

- Cartas digitais na escala 1: 100.000 Garanhuns e Venturosa sobre o Levantamento de Baixa e Média Intensidade de Solos do Estado de PE (EMBRAPA, 2002)

Folha: SC- 24 - X- B- IV

Folha: SC- 24 - X- B- V

- Carta Geológica em formato digital de Garanhuns (no prelo) na escala 1: 100.000.(CPRM,2006)

- Equipamento de Laboratório para ensaio de classificação granulométrica e separação de silte e argila pelo método de pipetagem:

(a) Balança analítica para 0,001g e balança semi-analítica para 0,01g.

(b) Jogo de peneira de 16, 32, 60, 115 e 250 “*meshes*”

(c) Rotape para peneiramento mecânico a seco.

(d) Solução dispersante de 1000 cm³ de água destilada para 0,5% de Hexametáfosfato de Sódio.

(e) *Ripple Box* ou Quarteador Jones de 1cm e de 6mm de lâminas.

(f) Beckers de 50 cm³.

(g) Provetas de 1000 cm³

(h) Misturador magnético de solução

(i) Agitador de solução

(j) Estufa para secagem de material.

-Lupa Binocular para análise morfológica dos sedimentos movidos por tração na fração de 250 μm .

-Difratograma de Raio-X para determinação da mineralogia das argilas coletadas pela amostragem.

Programas de computador utilizados:

-Arc-Gis 9.1: para entrada de dados georeferenciados

-SUFER 8 (Golden Software): geração de mapas de isovalores.

-Corel Draw 12: para arte finalização de imagens, mapas e figuras.

-ANASED: para geração de dados através dos parâmetros de análises de frequência média, classificação granulométrica, mediana, grau de seleção, assimetria e curtose.

3.2 Métodos

Seguindo a ordem de obtenção de materiais e geração de dados, em um primeiro momento os métodos utilizados tiveram como fim a elaboração de uma combinação sintética sobre o trabalho de campo e interpretação dos fatores preponderantes no desencadeamento do processo erosivo que vem ocorrendo no entorno da área urbana de Garanhuns.

Em seguida foram adicionadas ao estudo informações a respeito do comportamento e composição dos solos existentes e o tipo de transporte predominante dos sedimentos locais.

3.2.1 Técnicas de Geoprocessamento.

As técnicas de geoprocessamento foram utilizadas nesta pesquisa com o intuito de subsidiar a reunião de dados para a formação de um SIG (Sistema de Informação

Geográfica) conforme o método de análise Ecodinâmica proposto por Tricart (1977) ou a análise morfodinâmica aplicada por Ross (2005).

O trabalho consistiu na geração de cartas temáticas, a saber: Geológica, Hidrológica, Hipsométrica, Uso do Solo e Geomorfológica. E ainda na aquisição de dados morfométricos sobre a densidade de drenagem (HORTON, 1945; CHRISTOFOLETTI, 1982; HIRUMA & PONÇANO, 1994; HIRUMA, 1999).

3.2.2 Análise morfométrica: a densidade de drenagem

A análise de padrões morfométricos como a densidade de drenagem quando relacionados aos diversos processos superficiais, adquire grande importância como instrumento de análise da paisagem, sobretudo para a identificação de possíveis focos de susceptibilidade geomorfológica.

Sabe-se que as análises morfométricas, como bem ressaltam Ponçano *et al.* (1989) e Hiruma (1999), quando realizadas a partir de cartas topográficas, incorrem em pequenas imperfeições. O mesmo ocorre devido aos procedimentos utilizados pelos cartógrafos na tentativa de se estabelecer à harmonização das curvas de níveis, não se tratando, portanto, de uma técnica perfeita.

Esta técnica permite que as áreas anômalas sejam individualizadas entre baixa e alta densidade de drenagem, podendo refletir tanto um controle tectônico, ou mesmo pedológico, dependendo das características inerentes ao substrato e ao tipo de clima predominante. Horton (1945) definiu a densidade de drenagem como a relação entre comprimentos dos canais e a área da bacia, correlacionados a diversos controles atuantes sobre a drenagem. Dessa forma o trabalho foi realizado sobre as cartas Garanhuns e Venturosa a partir da construção de uma malha quadrática de 1000x1000m, obtendo-se a densidade de drenagem a partir da razão entre a somatória do comprimento total da rede de drenagem e a área de cada célula da malha.

3.2.3 Fotointerpretação

A etapa de fotointerpretação foi utilizada para a elaboração de algumas cartas, ora atribuídas à identificação de feições morfológicas, ora de níveis de ocupação e introdução de tecnologias humanas, indicativas de instabilidade do relevo.

A elaboração da carta geomorfológica seguiu o critério proposto por Demek (1976, *apud* Ross, 2005) representada por três unidades taxonômicas, acrescido do tratamento técnico desenvolvido pelo Projeto RADAMBRASIL (1982), sobretudo no emprego da nomenclatura aplicada às legendas (em geral relacionadas aos 3º e 4º táxons).

A interpretação dos fatos geomorfológicos realizou-se pelo cruzamento entre fotografias aéreas a 1: 25.000 (FUNTEPE, 1982), imagem de satélite (Google Earth, 2006) e imagem 3D do Brasil em Relevo (EMBRAPA, 2006). O trabalho tomou como princípio a definição da divisão entre formas de relevo, tipos de relevo, e ainda as superfícies geneticamente homogêneas. Ross (2005) explica que esta foi uma concepção proposta por Demek (1976) para tornar a abordagem de pesquisa geomorfológica mais clara, apoiada nos conceitos de morfoestruturas e morfoesculturas de Gerasimov & Mescherikov (1968). Os níveis de tratamento taxonômico na elaboração das legendas seguiram os agrupamentos de formas de agradação (relevos de acumulação) e formas de denudação (relevos de dissecação) e ainda pela identificação de formas aguçadas, convexas, tabulares e aplainadas sobre as duas classes de modelados.

A elaboração da carta de uso de terras foi realizada com o auxílio de imagem de satélite (Google Earth, 2006), seguindo a metodologia proposta por Ross (2005) no estabelecimento de uma hierarquia de graus de proteção do relevo, quando avaliado o tipo de cobertura vegetal e seus usos associados. Desta forma, essa carta teve como finalidade representar o do tipo de uso de terras em Garanhuns, e classificá-lo através da superposição as diversas unidades Ecodinâmicas preconizadas por Tricart (1977).

As demais cartas, tais como, geológica, hidrológica e de solos, foram adaptadas de cartas pré-existentes com o intuito de igualmente categorizar os diversos *layers*, responsáveis pela resposta morfodinâmica da área de estudo.

3.2.4 Análise morfodinâmica espaço-temporal

O mapeamento morfodinâmico foi elaborado em três momentos distintos através de fotografias aéreas em escala de 1: 70.000 (CPRM, 1965) , 1: 25.000 (FUNTEPE, 1982) e imagem de satélite em mosaico de 1:25.000 (Google Earth, 2006). Este tipo de avaliação teve como objetivo, identificar as mudanças ocorridas em uma escala de tempo histórico, onde as atividades antrópicas foram progressivamente modificando a dinâmica ambiental da região de Garanhuns.

Para Tricart (1977) a realização de análise de unidades *Ecodinâmicas* integra o conceito de ecossistema. Baseado em uma lógica de sistema ambiental, os diversos componentes inerentes à dinâmica de fluxos de matéria e energia neste tipo de observação, representam uma avaliação significativa do impacto causado pela inserção de tecnologia humana dentro do ecossistema.

A fim de complementar esse tipo de avaliação foi adotada a técnica de obtenção do grau de fragilidade da paisagem proposta por Ross (2005). Esta correlação foi realizada através das informações de natureza lito-pedológica, de cobertura vegetal, tipo de uso do solo, clima e dados morfométricos, que a partir de uma hierarquização (tabelas em anexo) geraram dados em função do menor ou maior grau de fragilidade.

Para a sistematização das informações de natureza lito-pedológicas, o grau de fragilidade, além da caracterização física e mineral do manto de alteração foi necessário ainda uma avaliação do tipo de ação antrópica e das águas pluviais. Obtidas as informações sobre a natureza pedológica da área urbana de Garanhuns, categorizou-se a área, segundo a referência de Ross (op.cit), como dominada por solos de média fragilidade (tabela 1 em anexo). Essa classificação deve-se ao fato de que toda área

urbana está assentada basicamente sobre Latossolos e Argissolos, o segundo em franco processo de perda de argilas. Porém, em áreas ocupadas por Cambissolos, dada à sua ocorrência sobre vertentes com alta declividade, e Planossolos, em áreas de fundo de vale, a classificação para erodibilidade frente ao tipo de escoamento superficial das águas pluviais foi considerada de grau forte.

A fotointerpretação nesse caso foi imprescindível para a verificação do grau de proteção do terreno pela cobertura vegetal. Seguindo a tipologia de grau de proteção frente à ação pluvial (tabela 2 em anexo), as coberturas vegetais foram classificadas como de: alta proteção para áreas florestadas, média proteção para pastagens e culturas permanentes e baixa proteção, para cultivos de ciclo curto e desmatamento recente.

Para a avaliação foi utilizado o mapa de uso do solo sobre a evolução espaço-temporal, ficando estabelecida como área de forte proteção as áreas densamente ocupadas e impermeabilizadas que ocorrem na porção central da área urbana. A cobertura vegetal densa também foi enquadrada nessa categoria, porém, como praticamente já não existe cobertura vegetal de florestas naturais, esta foi excluída da avaliação. Sobre o grau de média proteção estiveram enquadradas as áreas de formação arbustiva de origem secundária, denominada regionalmente como *capoeira*, e ainda áreas cultivadas com gramíneas ou pastos. As áreas ocupadas por policulturas, atividade econômica amplamente exercida na região – e agricultura de longo ciclo com baixa densidade, como o café, por exemplo, foram enquadradas na categoria de fraca proteção. Bem como áreas desmatadas recentemente e/ou de expansão urbana sem infra-estrutura.

A morfologia e o grau de dissecação do relevo são tidos como um dos principais indicadores da fragilidade ambiental, constituindo papel fundamental na análise dos processos operantes sobre a produção de sedimentos. Porém, como o estudo não abrangeu essa seção de forma quantificada, sua avaliação dentro da pesquisa teve papel apenas qualitativo.

No tocante ao método de análise da evolução urbana espaço-temporal em três momentos distintos optou-se pela avaliação realizada em trabalho por Modenesi-Gauttieri & Hiruma (2004). Com o intuito de avaliar o crescimento físico da área de adensamento entre 1965 e 2006, a análise permitiu registrar o movimento de expansão urbana ocorrido entre as duas primeiras décadas e a explosão imobiliária que desencadeou e ainda continua acarretando diversos problemas sobre o sistema geomorfológico. De posse dos diversos níveis de conhecimento sobre as características geomorfológicas dos sítos urbanos determinou-se para o trabalho unidades diagnósticas para a identificação de susceptibilidade do terreno em relação aos processos erosivos relativos principalmente à área selecionada para estudo de caso da dinâmica geomorfológica.

3.2.5 Trabalho de Campo

Obtidos os resultados preliminares de elaboração do SIG, foi possível selecionar áreas com maior probabilidade de ocorrência de processos erosivos em estágio avançado.

Durante o trabalho de campo foram realizadas observações acerca do comportamento geomorfológico em áreas de expansão urbana. Fizeram parte da observação a caracterização de depósitos recentes de encostas, bem como a relação entre geometria do relevo e processo erosivo, baseados em trabalhos realizados por Modenesi (1992) Modenesi e Toledo (1993) e Modenesi-Gauttieri e Hiruma (2004), bem como a verificação de processos provocados por intervenções antrópicas, tais como, aterramentos de áreas atingidas por processos erosivos, cicatrizes de erosão reativadas pelo incremento do fluxo superficial concentrado de chuva, e efluentes em geral, decorrentes da selagem do solo e baixa infra-estrutura urbana das áreas atingidas pelos problemas ora expostos.

A caracterização dos litótipos e dos solos também fez parte das observações, sendo posteriormente cruzadas com as informações de gabinete (SIG) e compiladas na confecção dos mapas temáticos.

Desta forma, os processos de superfície inerentes à dinâmica geomorfológica foram verificados a fim de se escolher os locais mais adequados para a coleta de amostras para realização de ensaios granulométricos.

3.2.6 Amostragem de Sedimentos

Para a realização de ensaio de laboratório e interpretação dos dados sedimentológicos foi selecionada como área de estudo de caso a voçoroca localizada na BR-423, próxima à saída oeste de Garanhuns e cercanias.

De acordo com o método sugerido por Suguio (1973), foram realizadas coletas de amostras pontuais. Este tipo de amostragem permite o estabelecimento de muitas conjecturas, seja na avaliação de grandezas desconhecidas da população de sedimentos, ou mesmo na média, variância, etc.

Suguio (1973) acrescenta que a análise sedimentológica pode envolver as condições predominantes de sedimentação, os agentes formadores dos depósitos e as possíveis rochas matrizes. Uma quantidade de material apreciável (cerca de 1 kg) foi coletada, para cada amostra, sendo as mesmas devidamente ensacadas e etiquetadas, para fins de identificação.

Ao todo foram coletadas três amostras de sedimentos. As amostras CVG e NCG foram retiradas da área fonte de sedimentos, constituída por um grande alvéolo, para o qual convergem várias cabeceiras de drenagem. A terceira área selecionada localiza-se no eixo de deposição do leque aluvio-coluvial formado pela Voçoroca da BR-423.

As amostras coletadas foram submetidas a análise granulométrica, morfoscópica, mineralogia de argila por difração de raios-X e análise geoquímica. O peneiramento e pipetagem para separação das classes de silte e argila para obtenção da distribuição de

classes granulométricas foi realizado no Laboratório de Tecnologia Mineral do Departamento de Engenharia de Minas da UFPE. A análise morfooscópica de grãos, que consiste na análise de grãos movidos por tração (classe de 250 μ m), foi realizada através de uma Lupa Binocular do Laboratório de Paleontologia II do departamento de Geologia da UFPE.

3.2.6.1 A coleta de amostras

Devido à impossibilidade de acesso para a coleta e descrição de todo o perfil de solo situado na voçoroca da BR-423, foi selecionado para a amostragem CVG o horizonte B inferior, sobre estágio avançado de intemperização de um Latossolo Amarelo.

A amostra NCG foi coletada no bairro de Dom Helder Câmara (COHAB III), área oposta à cabeceira de drenagem em processo de voçorocamento. O ponto selecionado para a coleta foi o horizonte B de um perfil de Regossolo em franco processo de perda de argila.

Da área 3 de coleta, localizada no nível de base da voçoroca, foi retirada a amostra LQG, que consiste em um depósito de fluxo laminar bastante grosseiro.

Para a realização da coleta foram utilizados uma pá e sacos plásticos etiquetados com a identificação numérica e local de coleta. Todos os pontos foram devidamente marcados com um GPS de mapeamento, modelo Garmin 76S.

3.2.6.2 Nomenclatura das amostras

A definição da nomenclatura das amostras é em geral realizada de acordo com a área de coleta de amostragem e o número de amostras coletadas no mesmo local.

No caso do presente trabalho não houve uma subdivisão muito extensa, em decorrência da impossibilidade de se coletar material de vários pontos que não tivessem sofrido modificações pela ação antrópica, sobretudo pelo fato da área de trabalho sofrer constantes transformações pelas dinâmicas sócio-espaciais.

Sendo assim, a primeira e segunda letra estiveram associadas ao nome do local de coleta (ex.: CV = Cabeceira de Voçoroca), e a terceira em referência ao município de Garanhuns, representado sempre pela letra G. A numeração não ultrapassou de uma unidade para cada local de coleta justificada ora pela limitação de acessibilidade a um perfil inteiro – caso da área de cabeceira de voçoroca, com um perfil de aproximadamente 88m de altura - ora pela homogeneidade do perfil, como no caso do Regossolo localizado no bairro de Dom Helder Câmara. Portanto a classificação das amostras ficou definida como CVG , para área 1; LQG, para área 2 e NCG, para área 3.

3.2.6.3 Descrição das amostras coletadas

Área 1

A área de coleta 1 situa-se próxima à BR-423 que está localizada no perímetro urbano de Garanhuns, no qual há a ocorrência de um processo de voçorocamento. Esta pode ser considerada como uma área de máximo grau de instabilidade devido ao *output* de sedimentos ora definido pelos mapeamentos morfodinâmicos. O ponto definido para coleta foi uma área parietal da voçoroca, localizada em sua porção superior a 905 metros de altitude, sobre as coordenadas 8° 52'64" S e 36°29'87" W.

O local de coleta é uma antiga cabeceira de drenagem que no passado sub-recente atingiu seu ponto de equilíbrio tornando-se provavelmente estabilizada. No entanto, nos últimos anos, esta área tem sofrido severas modificações sobre os *inputs* de energia, e por isso tem sido rapidamente reativada (Foto 01).



Foto 01: Vista panorâmica da voçoroca da BR-423, área de amostragem CVG.

A morfologia configura-se como um alvéolo de alta declividade, resultante de “possíveis” desabamentos, responsáveis pela regressão da cabeceira. Tal morfologia foi seguida ainda por uma incisão dos fluxos lineares. A voçoroca corta sedimentos de cor amarela e textura fina - areia siltosa, produto de um espesso manto de intemperismo, classificados na área como Latossolos Amarelos. A presença de grande proporção de material fino (silte e argila) é provavelmente responsável pela formação de micro-agregados, aumentando a porosidade do solo e, portanto, favorecendo a rápida saturação dos mesmos. Devido ao avançado estágio de intemperização, não foi observado no local qualquer afloramento de embasamento quartzítico. Localizado a aproximadamente 5-6 metros abaixo da cabeceira o material foi retirado para amostragem.

Área 2

Situada sobre o eixo de deposição da voçoroca da BR-423, a segunda área de amostragem caracteriza-se como um leque aluvio-coluvial. O material arenoso, composto predominantemente por areias grossas foi coletado nas coordenadas 8°52'42" S e 36°29'78" W à 822 m de altitude (nível de base da voçoroca).

Atualmente esta linha de drenagem representa o principal ponto de evacuação dos sedimentos de um sistema de voçorocas radiais, localizado à montante no bairro de Brasília (Foto: 02).



Foto 02: Leque Alúvio-coluvial , área de amostragem LQG.

O incremento do escoamento superficial sobre as altas e médias encostas deve-se ao fato da existência de habitações e de infra-estrutura urbana incipiente, além de utilização de técnicas agrícolas inadequadas pelas populações residentes. Apesar da existência de vegetação fechada sobre as médias e baixas encostas, a presença do escoamento de águas servidas catalisado durante os eventos pontuais de alta energia

pluviométrica, não permite que a cobertura vegetal se converta em um fator de proteção sobre a regressão das áreas de encostas.

A morfologia da área é caracterizada por uma topografia plana com baixo grau de declividade e um extenso depósito lobular de areias grossas, resultante de fluxos de detritos e retrabalhamento por erosão laminar. Ocorre ainda sobre a mesma área, no ponto extremo externo do lóbulo, a construção de uma pequena barragem particular, que proporcionou a formação de um novo nível de base e conseqüentemente um novo ponto de ruptura, atualmente erodido pelo corte de fluxos lineares locais.

Área 3

A terceira e última área de coleta de amostra está situada na vertente oposta ao alvéolo sobre o qual se encontra a cabeceira de voçoroca da BR-423.

A escolha deste ponto para coleta de material deve-se ao fato do possível surgimento de novas áreas afetadas pela erosão em consequência do avanço da urbanização sobre as encostas (rupturas de declividades). Trata-se, neste caso, do bairro Dom Helder Câmara (COHAB III), caracterizado como uma das áreas mais recentes de urbanização no município de Garanhuns. Sua posição de topo na paisagem e, a nítida transição do clima sub-úmido para o semi-árido confere para o local um alto nível de susceptibilidade erosiva.

A amostra foi coletada do horizonte B de um perfil de Regossolo exposto, localizado nas coordenadas 8°51'99" S e 36°30'04" W, a 879m de altitude. A crescente perda de argila sofrida por este tipo de recobrimento pedológico, que ocorre de forma semelhante em toda extensão do patamar erosivo de Garanhuns, permitiu a inclusão destes solos na classe dos Regossolos. Neste local, percebe-se a reprodução das mesmas práticas agrícolas e construções de habitações sobre áreas de *knickpoint* bem marcado. Os sedimentos coletados possuem caráter de areias médias, com baixa proporção de silte/argila, de cor marrom clara (Foto 03).



Foto 03: Bairro Dom Helder Câmara, área de amostragem NCG.

3.2.7 Laboratório

3.2.7.1 Análise granulométrica: peneiramento e pipetagem

A etapa de análise granulométrica e separação das frações silte e argila por pipetagem foi executada no Laboratório de Tecnologia Mineral do Departamento de Engenharia de Minas da UFPE. Todo o procedimento seguiu os parâmetros de análise indicados por McManus (1988) e Gale & Hoare (1991).

O procedimento inicial consistiu na separação de 100g de amostra de sedimentos inconsolidados a partir da quarteação da amostra total. Sobre esta porção de amostra segue-se a separação dos sedimentos finos (silte e argila) e dos grossos (areia e cascalho). Esta etapa demandou muito cuidado, já que em certas ocasiões o peneiramento úmido pode representar alguma perda de material separado, comprometendo desta forma, a análise dos resultados.

Muitos trabalhos, segundo McManus (op cit.) sugerem que amostras inteiras de sedimentos sejam postas em forno para secagem a uma temperatura de 110°C e

pesadas, antes que as mesmas sejam imersas em água contendo o agente dispersante hexametáfosfato de sódio. Nesta etapa as amostras são agitadas periodicamente por até uma hora.

Por se tratar de amostras de sedimentos inconsolidados e sem grandes influências de presença de sais (indicado pelo ambiente de oxidação dos Latossolos), optou-se por fazer o peneiramento úmido. Durante a separação entre sedimentos finos e grossos, foram utilizadas apenas duas peneiras, de malhas de 2 mm e 62 μm . Feita a divisão e secagem do material grosso, a amostra foi novamente pesada para seguir à etapa de peneiramento dos grãos de areia.

O método de peneiramento adotado foi o mesmo utilizado por Krumbein & Pettijohn, (1961); Folk, (1974) e McManus, (1988), que propõe a divisão das classes granulométricas das areias de acordo com a classificação de Wentworth. As peneiras utilizadas seguiram a forma decrescente da escala de Wentworth nos intervalos de: 1000 μm , 500 μm , 250 μm , 125 μm e uma peneira de bronze colocada na porção inferior das peneiras para retenção dos sedimentos de 62 μm . O material foi agitado em um Rotape por um período de 10 minutos, pesado e armazenado.

A segunda etapa realizada seguindo as recomendações de Gale e Hoare (1991) foi direcionada à realização de separação de silte e argila pelo método de pipetagem. Para cada análise foram obtidas 20g de amostra representativa pelo método de quarteação. Utilizando uma peneira de 62 μm o material foi lavado com solução de 0,5% de Hexametáfosfato de Sódio para um 1000 cm^3 de água destilada. O procedimento de preparo da amostra, solução e peneiramento são descritos detalhadamente por Gale e Hoare (1991). Seguindo a tabela de tempo e profundidade em função da temperatura em que as amostras devem ser coletadas como indica Gale e Hoare (op. Cit.) o material contendo diferentes tamanhos de partículas foi pipetado e depositado em oito beakers previamente pesados e numerados. Após a coleta, o material foi transferido para uma

estufa e secado a temperatura de 105 °C. Após a secagem os beakers foram pesados para averiguação da quantidade de material coletado.

Para a finalização de tais procedimentos, os resultados obtidos foram analisados estatisticamente e lançados no programa ANASED, com finalidade de gerar dados quantificados de cada amostra analisada. Dentre os parâmetros analisados estão a média, classificação granulométrica, mediana, grau de seleção, assimetria e curtose, de acordo com os parâmetros de análises estatísticas estabelecidos por Folk e Ward (1957, *apud* Suguio, 1973).

3.2.7.2 Morfoscopia

A análise morfoscópica foi realizada no laboratório de Paleontologia II do Departamento de Geologia da UFPE. Com o intuito de averiguar as características texturais dos grãos foram analisados o grau de esfericidade, arredondamento e textura superficial, para posteriores identificações da história dos sedimentos *in situ* e depositados. A análise contemplou o grau de arredondamento, dividida entre: muito angular, sub-angular, sub-arredondado, arredondado e bem arredondado; o grau de esfericidade, dividido entre baixa esfericidade, média esfericidade e alta esfericidade; a textura superficial, dada pela opacidade ou polimento e o tipo de mineral avaliado. A escala comparativa para a estimativa de arredondamento utilizada foi de Power (1982, *apud* Graham, 1988) e de Rittenhouse (1943, *apud* Suguio, 1973).

3.2.7.3 Análise geoquímica

A análise das propriedades geoquímicas dos sedimentos foi realizada pelo Laboratório de Fertilidade do Solo, do departamento de Agronomia da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). Os parâmetros testados foram: de bases trocáveis, obtidas por AAS (espectrometria de absorção atômica), fotometria de chama para o K e pH. A avaliação destes parâmetros segundo Gale e Hoare (1991) pode refletir

a influência pedogenética ou de outros processos pós-formacionais responsáveis pela redistribuição interna ou remoção de partículas do sistema.

3.2.7.4 Mineralogia da argila

A identificação precisa dos minerais de argila foi realizada pelo método de difração do raio-x no Laboratório de Raio-X do departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Pernambuco. Amostras de argila coletadas pelo método de pipetagem foram submetidas à análise por difração do raio-x seguindo a metodologia de preparação de lâmina de argila estabelecida pela EMBRAPA (2001). Este ensaio teve como objetivo estabelecer o grau de evolução pedogenética do material proveniente das áreas de análise do estudo e sua relação com a suscetibilidade dos compartimentos de relevo à erosão.

4. CARACTERIZAÇÃO GEOGRÁFICA DA ÁREA: COMPILAÇÃO DOS DADOS.

4.1 Geologia Regional e Morfoestruturas

O estado de Pernambuco é composto predominantemente por rochas pré-cambrianas, ocupando cerca de 90% do território. As mesmas englobam tratos da província Borborema que por sua vez é definida por um cinturão orogênico meso/neoproterozóico que se estende por grande parte do Nordeste. Inserida nesse mosaico orogenético “a Província Borborema teve seu início de estruturação basicamente durante o Estiano/Neoproterozóico II, Ciclos Cariris Velho (1,1 a 0,95 Ga) e Neoproterozóico II e III, Ciclo Brasileiro (0,75 a 0,57 Ga)” (CPRM, 2001).

Estando a Província dividida por uma estrutura principal, denominada Lineamento Pernambuco, a região de Garanhuns insere-se sobre a porção ao sul do Lineamento, descrita como domínio Externo ou Meridional, no qual está presente o terreno Pernambuco-Alagoas. Sendo assim, “o terreno Pernambuco–Alagoas oeste corresponde a uma nappe cristalina mesoproterozóica, formada por lascas imbricadas de rochas metaplutônicas e supracrustais, incluindo fragmentos paleoproterozóicos” (CPRM, op. cit.).

Regionalmente podem-se considerar duas principais unidades na área de estudo, sendo a mais importante, o *Complexo Cabrobó*, constituinte de uma seqüência clástica ou vulcano-sedimentar continental, onde está assentado o sítio urbano de Garanhuns. A segunda unidade, de importância secundária, é denominada *Complexo Belém de São Francisco*. Existem especulações de que estes dois complexos sejam herança de um imenso arco magmático. Estando o município de Garanhuns assentado sobre este terreno, considera-se de igual importância o reconhecimento das duas unidades.

O *Complexo Cabrobó* está presente em vários tratos do terreno Pernambuco – Alagoas, este complexo cruza uma faixa de direção E-W abrangendo toda porção centro-sul da área mapeada, na qual encontra-se a área urbana de Garanhuns. Redefinida por

Santos (apud CPRM, 2001) a seqüência metassedimentar que abrange esse complexo ocorre em duas formas variadas para a área mapeada.

A primeira porção ocorre de maneira predominante sobre a faixa central da área, composto por metagrauvacas turbidíticas com esporádicos porfiroblastos de feldspato, associados a granada e cianíta; lentes de calcários cristalinos e rochas calcissilicáticas bem como raras lentes de metamáficas, apresentando-se em leitos psamíticos e pelíticos centi-decimétricos, alternados. A segunda forma está localizada em uma pequena porção que ocorre de forma isolada sobre o domínio de Rochas Metaplutônicas no setor extremo NE da área de estudo. É caracterizada pela constituição de metarcósios com muscovita, incluindo níveis de muscovita quartzitos.

O *Complexo Belém de São Francisco* encontra-se ao redor desta faixa tanto sobre a porção meridional, quanto sobre a porção setentrional caracterizado pela presença de ortognaisses e migmatitos com restos de supracrustais. Predominam meta leucogranitos róseos e migmatitos que englobam restos de ortognaisses tonalítico-granodioríticos e supracrustais do Complexo Cabrobó (Figura 03).

Sobre os Complexos ora expostos ocorrem ainda outros tipos de unidades, dentre elas os quartzitos fortemente intemperizados que se sobrepõem discordantemente às unidades meso-proterozóicas. Os quartzitos são considerados arenitos metamorizados por alto grau de pressão e temperatura. Em estudo detalhado da área da Folha Garanhuns-PE, Costa Filho (1978) definiu o quartzito como principal representante do Complexo Metassedimentar na área em apreço. Este recobre de forma discordante as rochas do complexo Migmatítico-Granítico (*Complexo Cabrobó e Belém de São Francisco*) com exposição na área em torno do sítio urbano de Garanhuns, e ainda em áreas de topografia destacadas como as serras alongadas de direção NE-SW.

Sob essas condições, a região de Garanhuns que contém considerável presença de rochas quartzíticas, demonstra um estilo tectônico mal definido, segundo Costa Filho (op. cit.) devido principalmente ao estágio bastante avançado de intemperização das

rochas. Macroscopicamente os quartzitos de Garanhuns apresentam uma textura cataclástica com composição predominante de quartzo e alguns pontos brancos, caulinitizados, indicando presença de feldspato na rocha (Foto 04).



Foto 04: Principal substrato rochoso da região de Garanhuns, o quartzito com evidências de caulinitização de feldspatos (Coordenadas UTM: 0776519 W/ 9018180 S, 791 m de altitude).

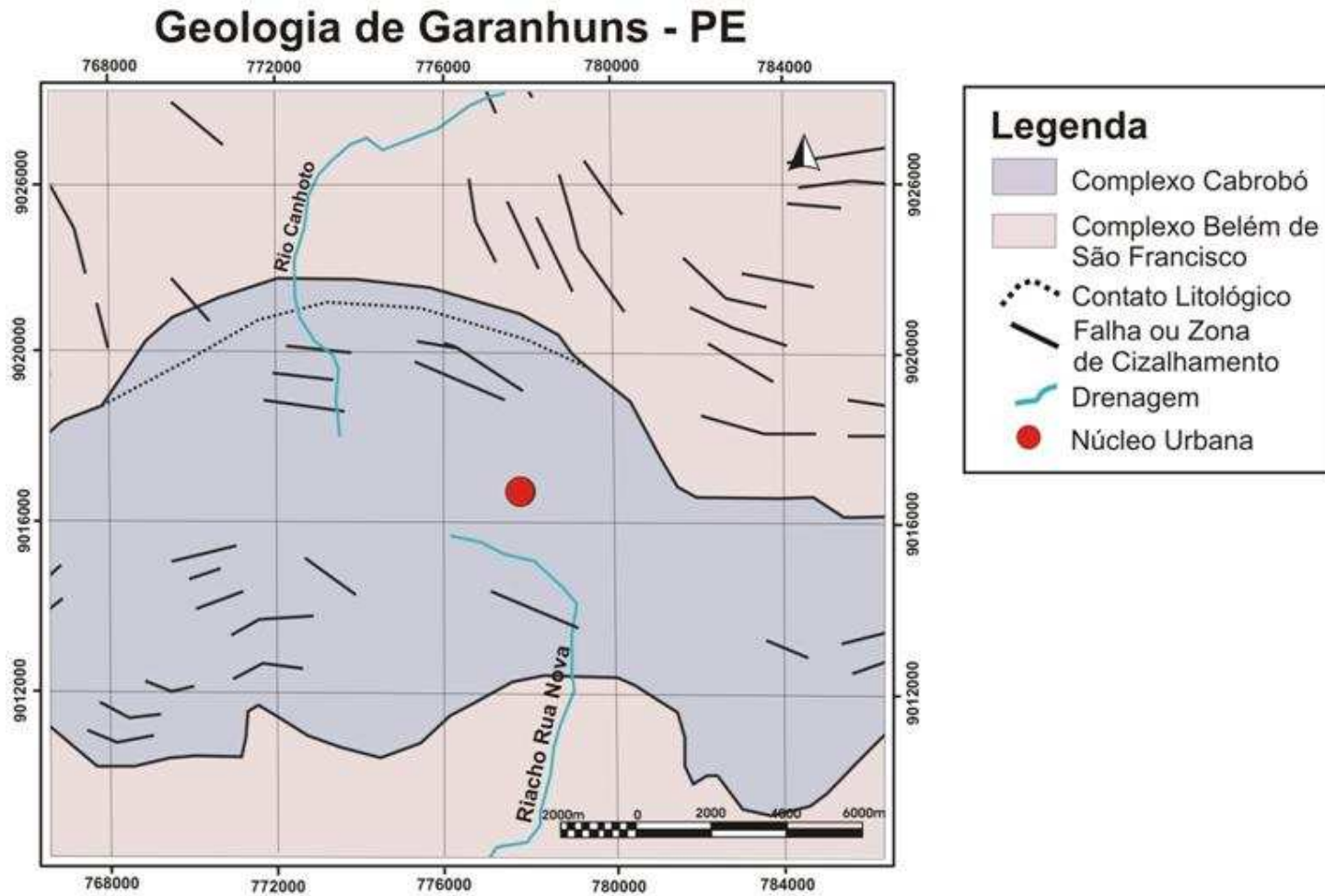


Figura 03: Mapa Geológico simplificado da área de Garanhuns (Modificado de Mapeamento Geológico de Pernambuco, CPRM, 2006)

4.2 O Sistema climático de Garanhuns

A posição de topo e proximidade do rebordo oriental no contexto do Planalto da Borborema confere à área de Garanhuns destaque pela diferenciação do sistema climático de seu entorno. A sede municipal de Garanhuns, bem como seu perímetro urbano está assentada sobre altitudes que variam entre 850 e 1.030m de um pequeno maciço residual, que compõe uma das superfícies somitais do Planalto da Borborema. Sobre o ponto de vista dinâmico Andrade (1972) denominou o clima de Garanhuns como “Quase-Mediterrâneo” (Csa), devido ao caráter mesotérmico com chuvas de outono e inverno segundo a classificação de Köppen.

Segundo dados históricos extraídos dos INMET e LAMEP/ITEP (Agritempo, 2006), a média térmica anual encontra-se em torno de 20°C. Durante o inverno as temperaturas podem atingir uma queda para menos de 17°C, com mínima absoluta de 10°C. Já no verão as máximas absolutas chegam a 36°C.

Em trabalho sobre o clima na região Nordeste Nimer (1989) identificou o clima de Garanhuns como sub-quente e semi-úmido com cinco meses secos e concentração de chuvas no período outono–inverno, condizendo com a classificação ora exposta de clima “tipo mediterrâneo”. A precipitação média anual atinge em torno de 908,6 mm. As cotas máximas que podem ultrapassar 100 mm por sua vez ocorrem em dois picos anuais. O primeiro concentra-se no bimestre Março-Abril, e outro abrange o trimestre Maio-Junho-Julho, como demonstrado pelo Diagrama Ombrotérmico (Gráfico. 01).

A ocorrência de dois picos diferenciados de precipitações acima de 100 mm, certamente possui gênese em fenômenos de circulação atmosférica distintos. Ocorre sobre a região de Garanhuns uma influência tanto da ZCIT (Zona de Convergência Intertropical), durante os meses de maior expansão deste sistema sobre o hemisfério sul (março/abril), como também pelas correntes de E-W e as de Sul ou perturbações oriundas da FPA (Frente Polar Atlântica), que avançam sobre a área durante o outono e inverno, enquanto a ZCIT encontra-se afastada para o hemisfério norte.

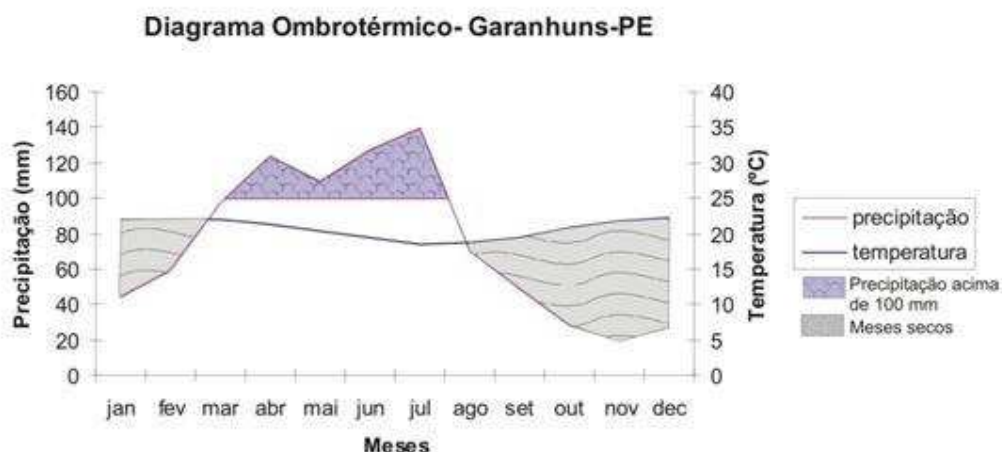


Gráfico 01: Diagrama Ombrotérmico de Garanhuns.

Diferentemente da circulação atmosférica atuante sobre a Depressão Sertaneja, a posição próxima ao rebordo meridional da Borborema permite em Garanhuns a entrada durante o outono da FPA e das perturbações de Leste (Ondas de Leste), garantindo à região um maior índice de precipitação anual, sobretudo se comparada com as áreas a sotavento do Planalto. Já durante o verão, a atuação do anticiclone subtropical do Atlântico Sul garante à região a permanência de um tempo seco. As raras ocorrências de precipitação durante a semestre Primavera-Verão são atribuídas às ITs (Instabilidades Tropicais) que asseguram precipitações mais ou menos importantes durante todo ano. Em todo caso, as saliências do relevo local são responsáveis pelo abreviamento do período seco, enquanto as depressões o prolongam.

Embora a utilização de parâmetros climáticos seja de singular importância para os estudos que abordam aspectos relativos à degradação dos solos, à sedimentação em reservatórios e aos danos materiais decorrentes dos eventos climáticos de grande magnitude, não se pode considerar unicamente o índice de precipitação média anual como principal fator na influência de produção de sedimentos, fazendo-se necessária, uma análise pormenorizada dos padrões de distribuição anual em conjunto com a ocorrência de eventos torrenciais isolados.

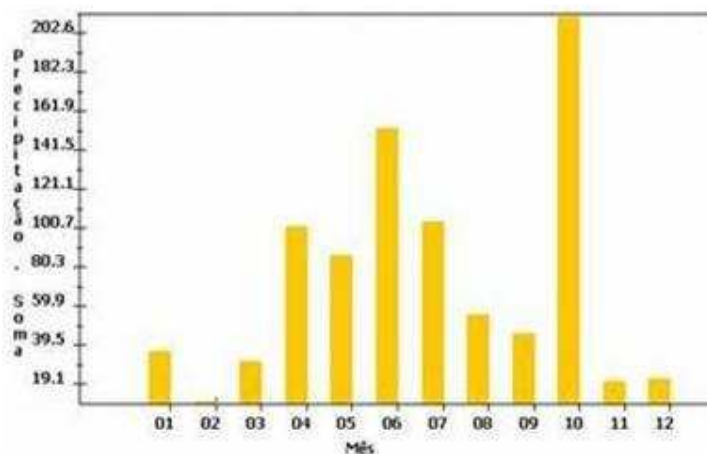
4.2.1 Eventos de alta precipitação em Garanhuns.

A relação entre intensidade pluviométrica, sazonalidade e propriedades do solo, é tida como um importante parâmetro na observação de situações responsáveis pela desestabilização da paisagem. Esta relação tem se constituído para o Município de Garanhuns um problema freqüente. À medida que a incidência de eventos torrenciais ocorre de maneira mal distribuída durante um ano, o acúmulo de água no solo em consonância com a inversão de energia potencial em energia cinética sobre as áreas instáveis provocam rápidas mudanças na estrutura superficial da paisagem.

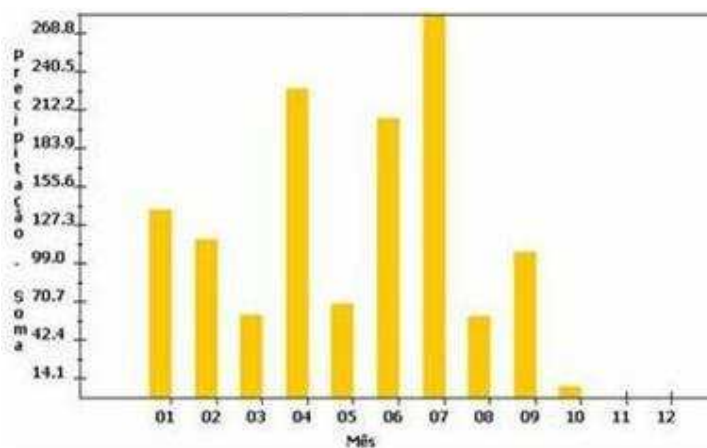
Moreira e Pires Neto (1998) afirmam que existe uma relação um tanto mais complexa que abrange as características de sazonalidade, intensidade e magnitude pluviométrica. Neste caso, eventos pontuais de alta precipitação, fora de um período chuvoso, podem repercutir em colapso do sistema tanto mais forte quanto um período de média precipitação constante. Bem como períodos de estiagem severa podem acarretar modificações do ciclo hidrológico e, conseqüentemente, na má utilização dos recursos hídricos.

Tomando como exemplo os anos de 1965 e 2004, nota-se uma diferenciação na distribuição de precipitação anual. A distribuição de precipitação no ano de 1965 caracterizou-se por um padrão normal, exceto pelo mês de Outubro, período do ano considerado como estação seca, onde o índice atingiu o nível de 202,6 mm (Gráfico 02). Contudo este nível não acarretou em problemas de armazenamento de água no solo devido à mudança de estação e ao aumento da evapo-transpiração subsequente ao evento (Gráfico 04).

Precipitação anual de Garanhuns em 1965

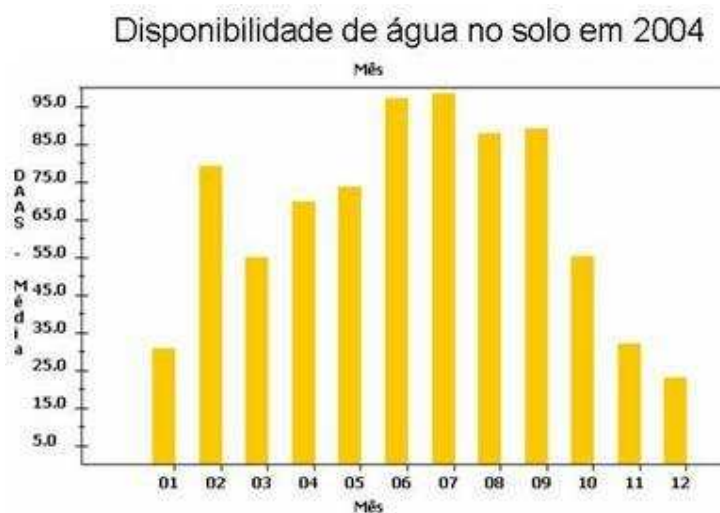
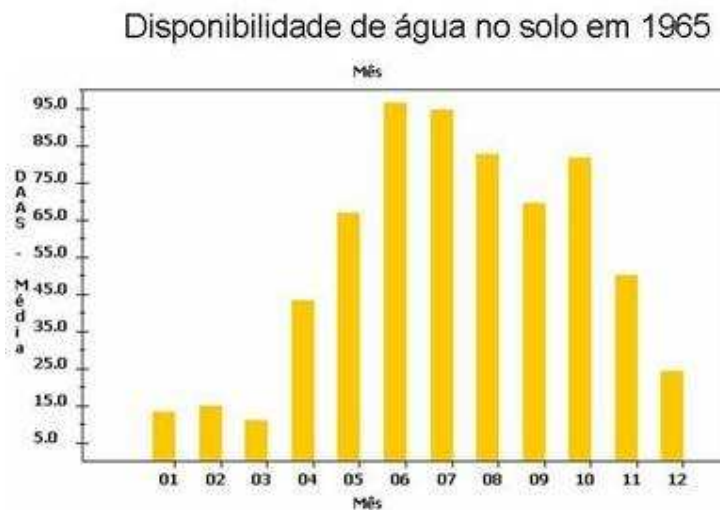


Precipitação anual de Garanhuns em 2004



Gráficos 02 e 03: Comparação entre a distribuição de precipitação normal de 1965 e eventos climáticos de alta magnitude ocorridos em janeiro e Fevereiro de 2004. (fonte: <http://www.agritempo.gov.br/agroclima/sumario?uf=PE>).

Em 2004 dá-se o inverso. A ocorrência anormal de precipitações acima de 100 mm nos meses de Janeiro e Fevereiro (Gráfico 03), que antecedem o período chuvoso, provocou sobre os solos um aumento sensível de disponibilidade de água. Com a chegada da estação chuvosa nos meses de Abril e no bimestre Junho e Julho, os solos encontravam-se sobre alta saturação hídrica (Gráfico 05), ocasionando a ruptura das encostas estruturadas em espessos mantos de intemperismo ao longo de planos de cisalhamento.



Gráficos 04 e 05: Comparação entre os dados de disponibilidade de água no solo nos anos de 1965 e 2004. (fonte: <http://www.agritempo.gov.br/agroclima/sumario?uf=PE>)

4.3 Redes de Drenagem

Dentre os agentes externos que atuam sobre a superfície terrestre, a drenagem constitui o principal meio de transporte de material intemperizado do topo das encostas para as regiões mais baixas. Sendo, portanto, responsável em grande parte pelo controle do comportamento mecânico do relevo.

A análise do comportamento e padrão de drenagem de um determinado local pode nos fornecer grandes subsídios para a compreensão da dinâmica superficial e a

evolução geomorfológica, sobretudo em áreas sujeitas a rápidas transformações nos tipos de uso do solo, como vem ocorrendo no perímetro urbano de Garanhuns.

4.3.1 A área de estudo

A sede municipal de Garanhuns está inserida no sistema hidrográfico da Bacia do Rio Mundaú, abrangendo uma área de 4.126 km². Os canais de drenagem de maior expressão para a área de estudo são os Riachos Rua Nova (Figura 04), que drena a porção sul da cidade, no sentido oeste-leste/norte-sul e o Riacho São Vicente, ao Norte da área urbana.



Figura 04: Riacho São Vicente, principal dreno na área norte do limite urbano de Garanhuns, e riacho Rua Nova, principal dreno ao sul da cidade. (fonte: Imagem Google Earth, escala de 1:25.000, coordenadas 8°55'33"/8° 52' 40"S e 36°26'18"/36°31'31" W).

Tanto os tributários do Rio Canhoto ao norte da área, quanto os tributários diretos do Rio Mundaú ao sul, constituem drenagens intermitentes, permanecendo secas em grande parte do ano, especialmente durante o período da primavera-verão.

O padrão de drenagem define-se como dendrítico. As ramificações das correntes tributárias em geral partem de várias direções sem que sejam formados ângulos retos. Apenas em alguns casos pode-se notar certa anomalia no padrão dendrítico, causado por controle tectônico em áreas de adaptação dos drenos a falhas/fraturas.

Predominam os escoamentos do tipo conseqüente de primeira ordem sobre as encostas do perímetro urbano e o escoamento de segunda ordem nas posições de fundo de vale. Os pequenos tributários da área possuem em geral caráter efêmero (Figura 05). Neste caso a geologia exerce papel fundamental na determinação do tipo de escoamento, devido à presença de um espesso manto de intemperismo, reforçado pela atuação dos agentes climáticos que se fazem sentir sobre as superfícies mais baixas para onde convergem as cabeceiras de drenagem.

Sobre a hierarquia fluvial, Horton (1945) publicou um trabalho de importância capital na análise de bacias hidrográficas, no qual o autor estabeleceu leis de desenvolvimento dos rios e bacias. Horton (op. cit.) propôs a ordenação dos cursos d'água, onde os canais de primeira ordem não seriam dotados de canais tributários. E os seguintes, por sua vez, receberiam afluentes de canais anteriores – de ordem inferior ao seu. Complementando, Christofolletti (1981), chamou atenção para um ponto fundamental na distinção entre escoamento fluvial e escoamento pluvial. O primeiro tipo possui canais de escoamento nitidamente marcados que compõe uma rede de drenagem permanente na topografia. Enquanto, que o escoamento pluvial estabelece-se sobre as vertentes em períodos de precipitação, sendo, portanto desconsiderado no estabelecimento da rede hidrográfica.

No entanto, a topografia de Garanhuns, com interflúvios de geometria tabular, unida ao aumento do escoamento superficial decorrente da rápida expansão urbana, e da crescente compactação do solo advindo dos diversos tipos de usos urbanos, tem representado um importante desempenho na reativação das cabeceiras de drenagem existentes na área. Muitas das quais já se encontravam em estado de equilíbrio dinâmico,

sob cobertura vegetal arbustivo/arbórea. A concentração dos fluxos de águas superficiais da mancha urbana tem conferido nova dinamicidade para as encostas, onde se encontram as principais linhas de drenagem de primeira ordem do sistema hidrográfico da região.

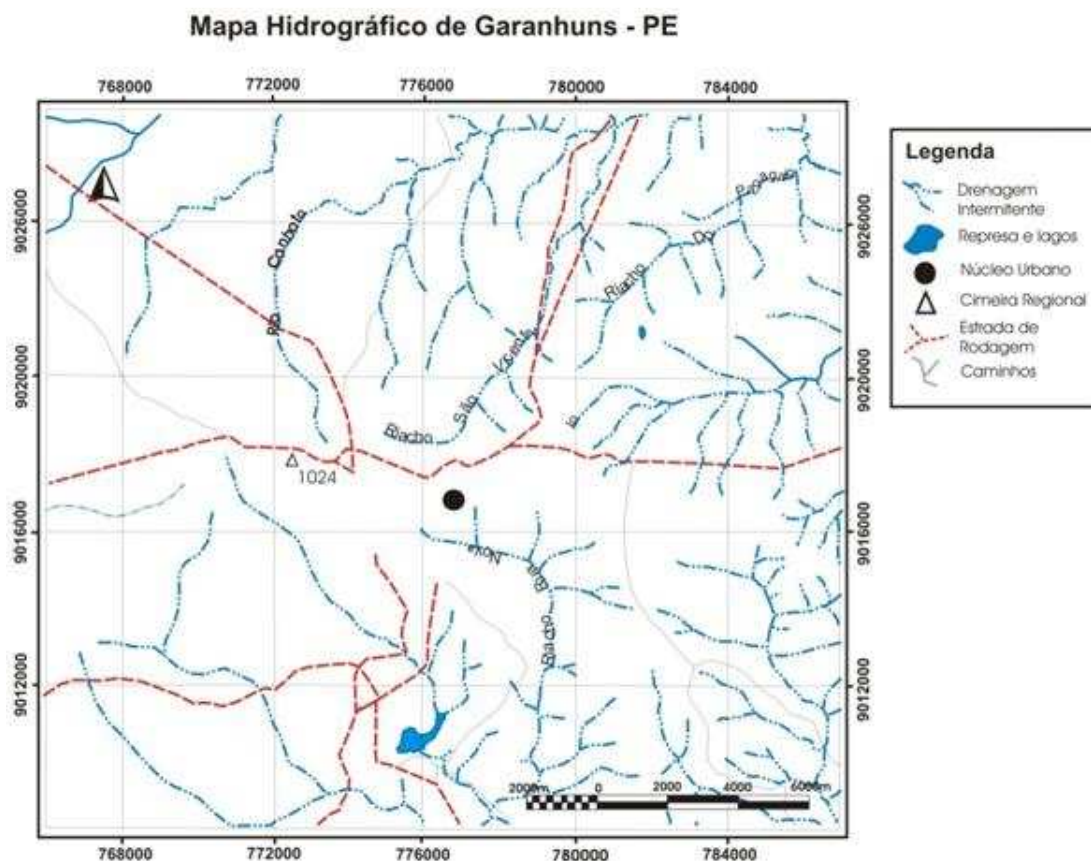


Figura 05: Mapa da Hidrografia de Garanhuns.

4.3.2 Densidade de Drenagem e Hidrologia das encostas.

A análise de padrões morfométricos como a densidade de drenagem quando relacionados aos diversos processos superficiais representa um importante instrumento na análise da paisagem, sobretudo para a identificação de possíveis focos de susceptibilidade geomorfológica.

Christofolletti (1981) destaca os estudos de densidade de drenagem como importante variável nos estudos geomorfológicos. Representando o grau de dissecação topográfica elaborada pela atuação fluvial ou expressando a quantidade de canais de escoamento. A análise morfométrica de bacias de drenagem além de identificar possíveis controles litológicos sobre a formação de solos e distribuição de vegetação, fornece indícios sobre a produção e transporte de sedimentos em uma bacia de drenagem, além de determinar até mesmo influências neo-tectônicas sobre o relevo.

Os estudos de análise de densidade de drenagem iniciados por Horton em 1945 definiram a densidade de drenagem como a relação entre o comprimento dos canais e a área da bacia, correlacionados a diversos controles atuantes sobre a drenagem. Tal índice se expressa pela seguinte fórmula:

$$Dd = Lb/A$$

Onde: Dd = densidade de drenagem;

Lb = Comprimento total dos rios ou canais existentes na bacia;

A = área da bacia.

Dessa forma, foi selecionada uma área correspondente a 100 km², que abrange uma seção das cartas topográficas, Venturosa e Garanhuns da SUDENE (1972) onde está situada a sede municipal de Garanhuns, para análise de densidade de drenagem, a partir dos parâmetros proposto por Christofolletti (op. cit.).

O resultado obtido foi uma variação de índices de densidade entre 0 e 1,8. Através de uma análise comparativa, percebeu-se uma forte relação entre solos e substrato rochoso, refletido no padrão de drenagem da área de estudo. A baixa densidade de drenagem verificada na porção central (Figura 06), identificada pela cor amarelo claro é atribuída principalmente à existência do espesso manto de intemperismo. A presença desse tipo de cobertura possibilita um maior índice de infiltração da água, alimentando os fluxos subsuperficiais, nas posições de interflúvio da área, que repercute diretamente em uma menor densidade de drenagem.

Densidade de drenagem em Garanhuns

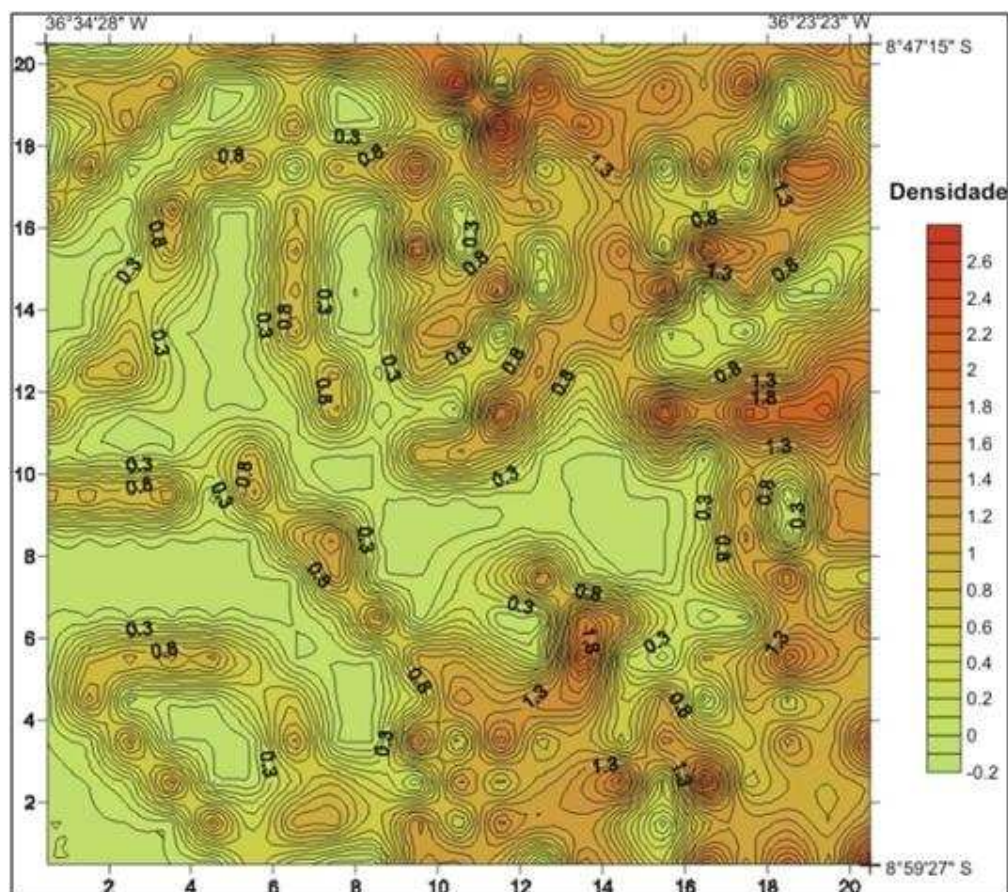


Figura 06: Índice de densidade de drenagem para a área de Garanhuns. (0 = a as áreas com baixa drenagem ou ausência; 1.8 = maior densidade de drenagem). Fonte: Renata Nunes Azambuja.

Sobre as áreas com índices intermediários representadas pela curvas de valores entre 0.3 e 0.8 foram identificados dois tipos prováveis de condicionantes. O primeiro está associado a um aumento na dissecação do relevo pela mudança de declividade. O segundo fator condicionante possui íntima relação com a mudança do tipo de solo. Representados principalmente na porção NW da área, os regossolos predominam como fator condicionante da densidade de drenagem, pela baixa profundidade e baixa declividade. As seqüências de horizontes A, C e R, e presença de substrato ortognáissico e migmatítico, somadas à mudança de altitude, nesse caso, também representam um

aumento na densidade de drenos, com picos entre 1.3 e 1.8 a NE da área de expansão urbana (cor amarelo claro = 0). Sobre os índices mais elevados de densidade de drenagem – entre 1.3 e 1.8 - à S e SE da área de expansão urbana, predomina o controle dos Argissolos, associado, sobretudo aos maiores níveis de declividade. O último “pico” de densidade de drenagem está localizado no extremo Norte da área, cingido pela presença dos Planossolos, sobre a Planície do Rio Canhoto.

4.4 Coberturas Vegetais

Sob o ponto de vista geomorfológico a cobertura vegetal exerce grande influência na distribuição e formas de relevo, determinando o tipo de processo e impacto sobre as encostas. Por outro lado, a cobertura vegetal pode fornecer importantes subsídios para o desenvolvimento urbano e rural de um local.

Pertencente à zona fitogeográfica da caatinga, subzona do Agreste (Andrade Lima, 1957), Garanhuns é caracterizada em sua grande parte por uma vegetação sub-perenifolia de médio a baixo porte. Fatores como altitude, pluviometria e tipo de solo, conferiram à região em questão uma cobertura vegetal com espécies de Mata Serrana. Entretanto, a ocorrência de um maior adensamento populacional resultante do processo de ocupação do Agreste pernambucano, permitiu que reservas arbóreas fossem retiradas, em favor da expansão agropecuária.

Calcula-se que no período que remonta aos últimos 50 anos, houve uma drástica diminuição na diversidade de espécies vegetais. Aliada a esse fato, a expansão urbana de Garanhuns permitiu a introdução de várias espécies exóticas, como o Pinheiro do Paraná – *Araucária angustifolia*, para fins paisagísticos e variadas espécies de Eucaliptos para sustentação de solos instáveis, por exemplo.

De acordo com o Plano de Diretor de Desenvolvimento Urbano de Garanhuns (PDDU, 1978) e observações diretas de campo, foram detectados na área algumas espécies indicadoras de resquícios de mata serrana. Dentre elas estão o Jatobá -

Hymaneea courbaril - e a Sucupira – *Bowdichia virgilioides*. Já as espécies de representatividade econômica na extração de madeira nobre foram praticamente dizimadas (Cedro - *Caesalpinia angustifolia*; Pau-ferro – *Caesalpinia leiostachya* e o Pau-d'óleo - *Coipafiera trapezifolia*).

Atualmente, pequenas áreas no contato urbano-rural são constituídas por vegetação secundária subarborescente sendo aproveitadas como suporte forrageiro nativo, e ainda para a atividade pecuária extensiva (foto 05).

Em relação à identificação de possíveis problemas de susceptibilidade erosiva dos solos que ocorrem na área urbana, o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano estabeleceu ainda algumas espécies vegetais que melhor se adequariam à contenção de erosão eólica, laminar e linear das encostas e taludes, como evidencia o seguinte quadro:

Tabela 01: Espécies vegetais utilizadas para contenção de erosão.

Família	Espécie	Nome vulgar	Utilização
Myrtaceae	<i>Eucalyptus citriodora</i> Hook	Eucalipto	• Reflorestamento Arborização e Barreira contra o vento (erosão eólica)
	<i>Eucalyptus alba</i> reinw ex. Blume		
	<i>Eucalyptus saligna</i> Sm.		
	<i>Bambusa tuldoidea</i> Mouro	Bambu	
Gramínea	<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.	Gramma de Burro	• Proteção de Talude
	<i>Paspalum maritimum</i> Trin.	Capim amargo	
	<i>Vetiveria zizanioides</i> (L.) Nash	Capim sândalo	
	<i>Eragrostis curvula</i> (Schrand.) Ness	Capim chorão	
Bromeliaceae	<i>Bromelia lacyniosa</i> Mart. ex Sult.	Macambira de cachorro	

Fonte: adaptado do Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano de Garanhuns, 1978.



Foto 05: Resquícios de vegetação secundária na área de perímetro urbano de Garanhuns. Vista do bairro Dom Helder Câmara a NO da área de estudo (Coordenadas UTM: 0774969 S / 9018860 W, 892 m de altitude).

4.5 A Cobertura pedológica e sua relação com a paisagem

Os solos em geral são reflexos dos processos superficiais predominantes na paisagem. O tempo necessário para que estes atinjam certo estágio de sua evolução está diretamente ligado ao substrato geológico, sistema climático e cobertura vegetal. Sendo assim, a evolução pedológica sempre dependerá da conjugação dos fatores de formação. Embora a investigação destes fatores possa apresentar indicações das idades relativas de desenvolvimento pedogenético de uma dada região, Salomão e Antunes (1998) chamam a atenção para os problemas concernentes à retrogressão, inércia e transformação no desenvolvimento de solos. Caso corrente dos solos enterrados, superpostos e solos resultantes da transformação pedológica de outros solos.

O cruzamento de dados obtidos através de investigação direta de campo e pesquisa bibliográfica demonstrou uma extrema complexidade entre perfis pedogenéticos e descontinuidades aloestratigráficas sob o sítio urbano de Garanhuns.

Portanto pode-se dizer que existem dois tipos de origem para os solos de Garanhuns. A primeira derivada do intemperismo dos quartzitos *in situ*, e a segunda por transporte e deposição, gerando solos alóctones. Nas posições de topo de paisagem são encontrados com frequência os Latossolos Amarelos e os Argissolos. Ambos os solos apresentam perfis extremamente profundos, sendo os Latossolos constituídos de horizonte B latossólico e os Argissolos de um B textural. Um fato importante sobre esses tipos de solos diz respeito ao seu caráter herdado. A não funcionalidade dos Latossolos amplamente distribuídos sobre a área deve-se às condições climáticas atuais, menos úmidas que a de tempos passados.

Essa mudança vem repercutindo em uma nova atuação pedogenética, dando origem tanto a horizontes eluviais de diversas espessuras quanto a Regossolos a sotavento da cimeira de Garanhuns. Este segundo caso pode ser considerado um nível mais avançado do processo de eluviação, devido à perda quase total das argilas e silte, como vem ocorrendo no limite NO da área de ocupação por expansão urbana recente, no bairro Dom Helder Câmara (Foto 06). Em áreas de depressão ou planícies aluviais, onde a expansão urbana ainda não se faz tão presente, os solos apresentam caráter de transporte e deposição (colúvio-aluvionares).



Foto 06: Perfil de um Regossolo localizado no bairro Dom Helder Câmara. Área de expansão urbana. (coordenadas UTM: 0774896 S / 9018968 W, 897m de altitude).

Genericamente, de acordo com o levantamento de Baixa e Média Intensidade de solos do Estado de Pernambuco, produzido pela EMBRAPA - Solos (2002), a área urbana de Garanhuns reside em sua totalidade sobre o domínio dos Latossolos Amarelos (Figura 08).

Os Latossolos Amarelos são solos constituídos por minerais altamente intemperizados e argila de baixa atividade, ou argila do tipo 1:1 (Palmiere e Larach, 1995). Seus perfis alcançam em geral espessuras superiores a 2 metros, com horizontes B latossólico profundo. A formação de micro-agregados no horizonte B proporciona a estes solos alta porosidade, permitindo dessa maneira uma maior condutibilidade de água, o que por sua vez amplia o risco geomorfológico, quando saturados em áreas de encostas urbanas.

Ocorre ainda associado aos Latossolos Amarelos a presença dos Argissolos no entorno urbano. Estes são igualmente profundos tal como os Latossolos, apresentam coloração amarelada com nítida diferença textural entre o horizonte A superficial e

horizonte B textural. Exibem baixa atividade de argila e podem apresentar tanto uma seqüência de horizontes A, Bt (B textural), C quanto A, E, Bt e C.

Em termos genéticos estes Argissolos podem ser considerados antigos Latossolos em processo de podzolização. A não funcionalidade destes solos de caráter herdados, sob condições climáticas atuais, atribui aos Argissolos uma maior sensibilidade, facilitando a ocorrência de erosão laminar, linear e movimentos de massa. Modificações, de caráter climático, provocaram sobre os antigos Latossolos um processo de iluviação das argilas para o Horizonte B. A concentração de argilas neste horizonte, por sua vez diminuiu a capacidade de infiltração do solo, induzindo ao escoamento lateral. O principal parâmetro para a diferenciação desta classe de solos se dá pelo incremento do teor de argila no horizonte Bt, e presença de um horizonte eluvial. A relativa impermeabilidade do horizonte Bt, acaba provocando um déficit na capacidade de infiltração e elevando o escoamento sub-superficial (Foto 07).



Foto 07: Perfil de um Latossolo em processo de podzolização (Coordenada UTM: 0778875 S / 9016628 W, 856 m de altitude).

A nítida diferenciação entre os Latossolos e Argissolos, situados sobre o topo e patamares de dissecção de Garanhuns e seu entorno deve-se à sutil inter-relação entre os topoclimas. À medida que a altitude diminui os solos adquirem características de semi-aridez.

Sobre as altitudes que variam entre 750 e 650 m a Norte da área de estudo ocorre uma grande mancha de Regossolo (Figura 07). Estes são solos distróficos compostos essencialmente por areias quartzosas, com e sem fragmentos rochosos. Possuem horizonte A moderavelmente friável e Bt ora distrófico ora eutrófico. Sua textura varia de arenosa média à argilosa.

Por último encontramos o domínio dos Planossolos. Localizados sobre a Planície do Rio Canhoto (Figura 08), são solos de drenagem deficiente com seqüências de horizonte A, E e Bt ou Btg (horizonte B textural glêico). O horizonte A apresenta em geral textura arenosa com abrupta transição para horizonte B argiloso.

O caráter solódico é bastante representativo na região Agreste de Pernambuco, sendo perfeitamente visível em imagem de satélite (Figura 07).



Figura 07: Caráter solódico dos Regossolos e Planossolos, nitidamente limitados pela cor clara.

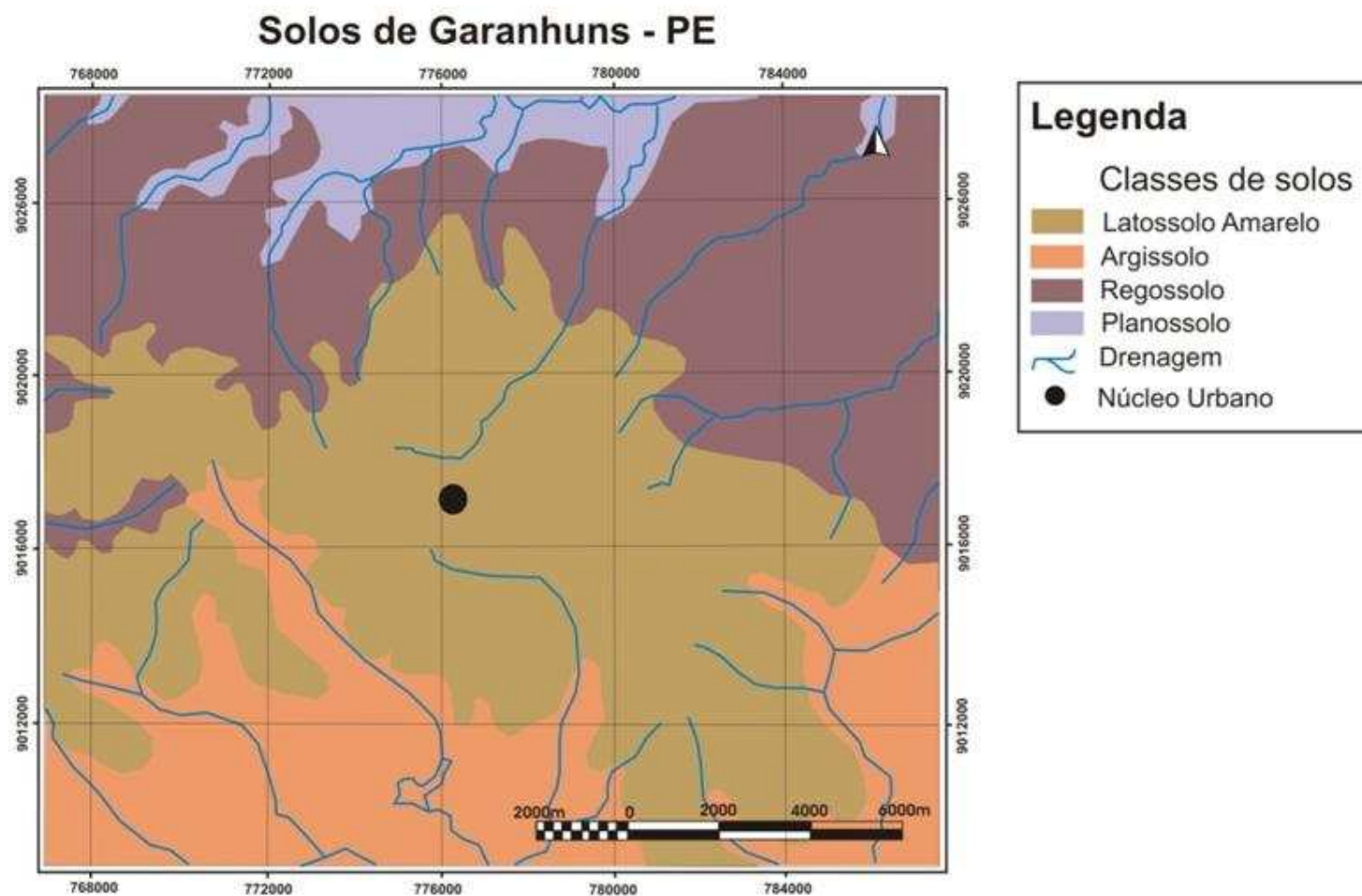


Figura 08: Mapa de solos de Garanhuns. (Fonte: Modificado de Levantamento de Baixa e Média Intensidade de solos do Estado de Pernambuco, produzido pela EMBRAPA - Solos (2002))

5. O PROCESSO DE USO E OCUPAÇÃO ANTRÓPICA DA PAISAGEM EM GARANHUNS

5.1 O processo histórico

O processo de ocupação de Garanhuns remonta a importantes fatos históricos ocorridos no estado de Pernambuco. No tempo da colonização, Garanhuns, ou Capitania do Ararobá, como era denominada, foi palco de inúmeras perseguições aos silvícolas Tupinambás, antigos habitantes da região, e posteriormente aos negros integrantes do Quilombo dos Palmares, massacrados em 1694. “A princípio, tais fatos, concorreram para o descobrimento e povoamento da região Garanhense” (Cavalcanti, 1983). No interstício dos anos de 1700 e 1800 o processo de ocupação das terras se deu de modo excepcionalmente lento, pela atividade pecuária extensiva desenvolvida desde então na área. Apesar disto o arruamento de Garanhuns começava a tomar forma, através de uma rede incipiente de caminhos que se confrontavam diretamente com a Igreja Matriz.

De acordo com Cavalcanti (op. cit.), em 4 de fevereiro de 1879, foi sancionado a Lei nº. 1.309 que eleva a Vila de Santo Antonio de Garanhuns à categoria de cidade. Esta decisão coincidiu com o projeto de construção da *Ferrovia São Francisco*, com Terminal Ferroviário em Garanhuns. A sua inauguração no ano de 1887, estabeleceu com grande efeito, benefícios comerciais e sociais para a região. Sua ligação direta com a Praça do Recife atraiu grande número de forasteiros, que ao adquirirem terras pertencentes a latifúndios, passaram a produzir intensamente, contribuindo para o crescimento do Município.

Ao final do século XIX, a área urbana de Garanhuns correspondia essencialmente à porção central, denominada atualmente como Santo Antonio. Cavalcanti (op. cit.) ao tratar dos registros da antiga Câmara dos Vereadores do município, define como o núcleo urbano primário, as Avenidas Santo Antonio, Rua Severiano Peixoto, R. D. José Moraes,

Rua Joaquim Nabuco e Santos Dumont. Constando a existência de 17 ruas com cerca de 500 prédios.

5.1.1 O surgimento dos primeiros bairros

A topografia de altas declividades, diretamente ao sul da área foco de urbanização, não inibiu o movimento de expansão. O bairro da Boa Vista teve seu início de ocupação com a idealização da construção de uma igreja em homenagem a São Miguel da Boa Vista. Suas obras foram interrompidas por longo período e somente foi inaugurada em 1922. A partir de então, o bairro recebeu outros tipos de infra-estrutura como a construção de um hospital e de importantes serviços sociais.

No entanto a ocupação do bairro do Magano a oeste (durante o mesmo período), apesar de antiga, pouco se desenvolveu qualitativamente. Deve-se salientar que, em todos estes casos, a expansão urbana a princípio não se realizou de forma ordenada por qualquer plano urbanístico. O estabelecimento de ruas e avenidas em geral acompanhou os antigos caminhos e as sinuosidades do relevo.

Em contraposição, o surgimento do bairro de Heliópolis representou um marco fundamental na expansão ordenada e planejada. Embora, sua manutenção e crescimento não tenham seguido o mesmo caminho.

A história do bairro tem sua origem no ano de 1925, quando o Missionário Presbiteriano Rev. Dr. George W. Taylor prontificou-se a construir o Edifício do atual Colégio 15 de Novembro na antiga Rua Alecrim. Cavalcanti (op.cit.) relata que a proposta despertou grande interesse por parte do prefeito Euclides Dourado, sobretudo ao vislumbrar do alto do Monte Sinai o perfeito alinhamento da extensa superfície aplainada que se estendia colina abaixo até a antiga Rua Recife (atual R. D. José Moraes), próxima ao centro urbano. Logo então, iniciaram-se as obras de abertura das novas ruas e da Avenida Rui Barbosa, todas devidamente loteadas. A iluminação intensa da área pelo sol

de verão levou-a a ser denominada *Heliópolis*. Dessa forma iniciou-se a irradiação da expansão urbana em direção ao limite das encostas.

5.1.2 A economia regional

Durante os séculos que se seguiram no Brasil colonial a principal fonte de riqueza de Garanhuns provinha da criação pecuária bovina e eqüina. Com a crescente demanda por algodão pela indústria têxtil em ascendente expansão nos sécs. XVIII e XIX, a produção de gêneros alimentícios para consumo local tornou-se limitada. No séc. XIX a produção de café também se expandiu de forma acentuada, contribuindo para o enriquecimento do município.

O estabelecimento de uma linha férrea que ligava Garanhuns à capital, no ano de 1887, como relatado anteriormente, proporcionou o incremento tanto da produção agropecuárias quanto do comércio atacadista e varejista.

De acordo com dados extraídos do IBGE (2003) sobre a produção agrícola e pecuária, municipal, Garanhuns tem como principais produtos de cultura permanente, a Manga (686 T), o café (560 T) e o abacate (165 T). Já em culturas temporárias destacam-se a mandioca (9.900 T), feijão (447 T) e o tomate (186 T). Existe ainda a produção de uma infinidade de frutas e hortaliças de menor expressão na região que, no entanto, ocupa vasta área do município através da atividade de policultura, como verificado no mapa de uso do solo (Figura 09). Na pecuária destacam-se a produção de gado bovino (29.804 cabeças), galinhas (83.120 cabeças) e galos frangos e pintos (127.615 no total).

5.1.3 O uso e ocupação de terras em Garanhuns

Apesar da forte aptidão para o setor de serviços, sobretudo nas últimas décadas, e pela crescente necessidade de expansão das áreas de ocupação urbana, nota-se no município de Garanhuns uma certa tendência à permanência de pequenas culturas em lotes. Estas, com freqüência, ocupam a margem da expansão urbana, sobretudo por

agricultores de baixa renda que se instalam na rede periférica da cidade, próximo as rupturas de encostas. Em geral estão vinculadas a essa produção o cultivo de mandioca abacate e bananeiras.

No perímetro urbano, a ESE da cidade está concentrada as atividades do setor secundário, onde ocorre a interseção entre uso rural, urbano e industrial (Foto 08)

Para o limite além do setor urbano, o município divide-se entre duas áreas de maior expressão. Ora direcionada para a atividade de policultura ora para os campos de gramíneas ou pastagens.

Ocorre ainda uma antagonismo entre a Lei orgânica municipal e a ocupação de setores de terras destinados as área de Preservação ambiental, denominadas por Zona de Preservação Rigorosa (ZPR). No ano de 2000 a Lei nº 2.992, que altera a Lei Orgânica Municipal nº1831/78, no que diz respeito a divisão territorial e uso e ocupação do solo, estabeleceu antigas Zonas Verdes como Zona de Preservação Rigorosa. Cabe salientar que, as unidades de conservação localizadas no setor periférico estão freqüentemente associadas às áreas de maior propensão aos riscos geomorfológicos. Este aspecto, expresso no mapa de uso e ocupação de terras em Garanhuns (Figura 09), demonstra a discordância entre as políticas de conservação ambiental e de assentamentos de interesse popular, cujas fronteira não são respeitados na sua aplicação. Ocorre nestas áreas, o avanço e ocupação indiscriminada dos limites entre topo e encostas, que se enquadram nas Zonas de preservação anteriormente citadas.

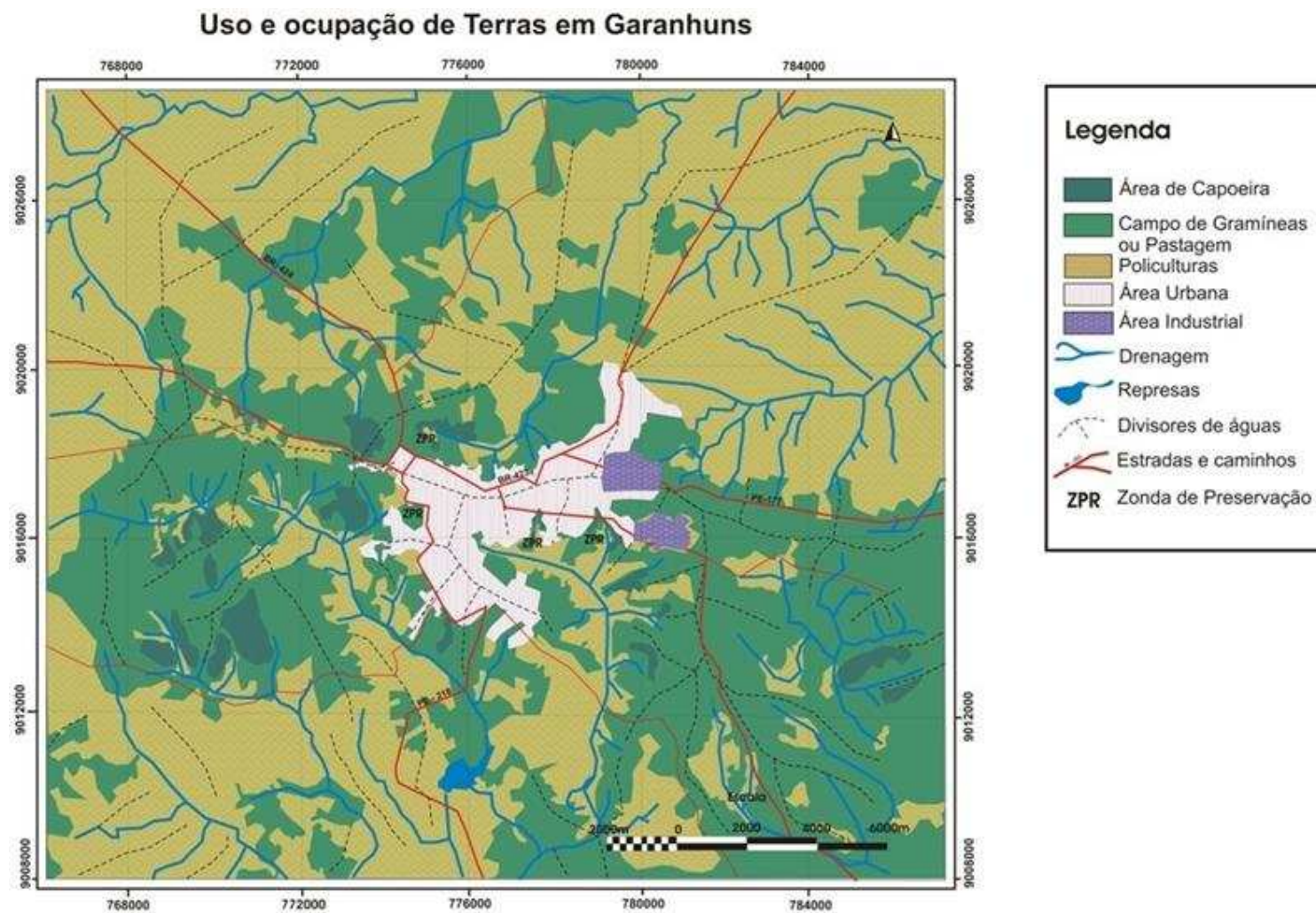


Figura 09: Mapa de Uso e Ocupação do Solo em Garanhuns-PE. (Autora: Renata Nunes Azambuja.)

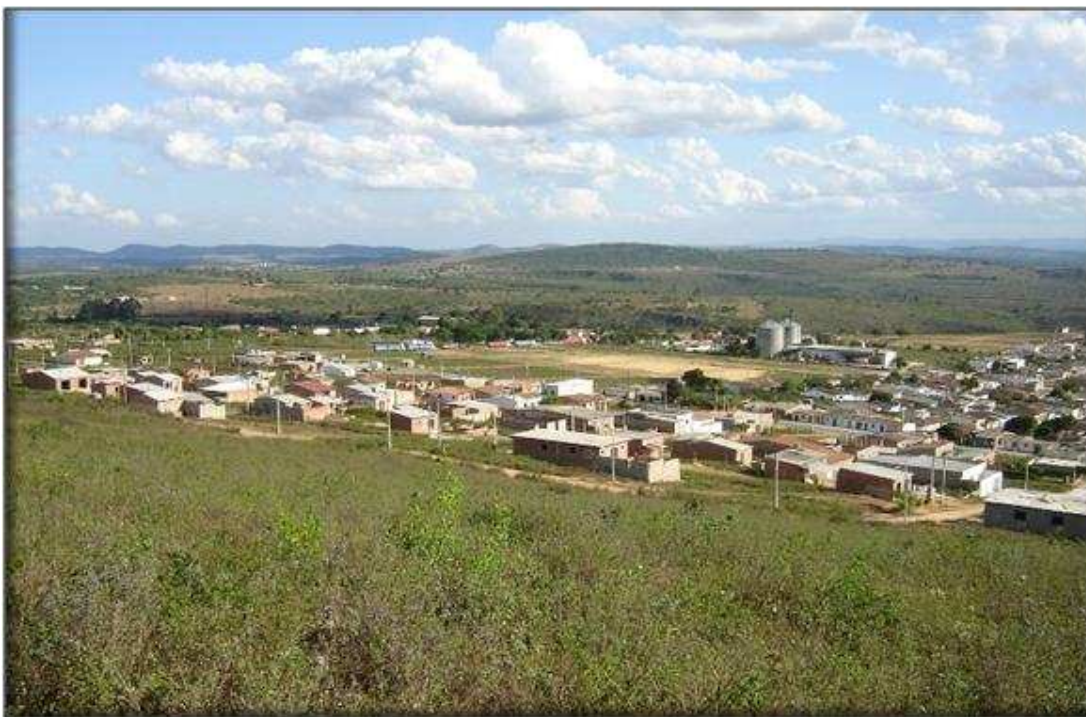


Foto 08: Área de contato urbano-rural-industrial, limite leste de expansão urbana (Coordenada UTM: 0778669 S / 9016328 W, 881 m de altitude).

5.2 A expansão urbana e seus problemas decorrentes

Apesar do seu notável crescimento econômico desde os tempos coloniais a maior parte da população de Garanhuns não evoluiu da mesma forma. Diante das novas perspectivas de crescimento, as administrações municipais induziram de forma precipitada inúmeros parcelamento de terras no entorno da mancha urbana. A designação de áreas que deveriam se destinar a um planejamento estratégico para o desenvolvimento urbano, classificadas pela lei Orgânica n. 1.831 (PDU, 1978) como ZIU (Zonas de Interesse Urbano, para fins de reserva de expansão), hoje se traduz no principal problema ambiental de Garanhuns, como evidenciado pelo avanço do processo de erosão de encostas.

Sem que houvesse qualquer instrumento/legislação ou órgão de controle ambiental, os parcelamentos do tecido periférico ao centro urbano, constituído de antigos

sítios e granjas, alcançaram o máximo da expansão possível atingindo o ponto de inflexão entre os patamares planos das cimeiras e as encostas. Este processo de ocupação, ainda que estimulado pela própria Lei Orgânica encontra-se em desacordo com a Lei nº. 803/89 Art. 2º do código florestal (Brasil, 1989) no qual, “fica estabelecida como área de preservação permanente toda floresta e forma de vegetação natural situadas nas bordas dos tabuleiros ou chapadas, a partir da linha de ruptura do relevo, em faixas nunca inferiores a 100 (cem) metros em projeções horizontais”.

Embora haja atualmente um código ambiental de conduta em vigor, nada se fez em relação ao amortecimento dessa tendência de ocupação por parte do poder público. Limitando dessa forma, a eficácia das medidas mitigadoras relacionadas ao controle de erosão das encostas próximas às áreas de expansão urbana. Ao analisar o movimento de expansão urbana, nota-se que as áreas destinadas às reservas de expansão encontram-se grosso modo sobre áreas instáveis (Figuras: 10, 11 e 12).

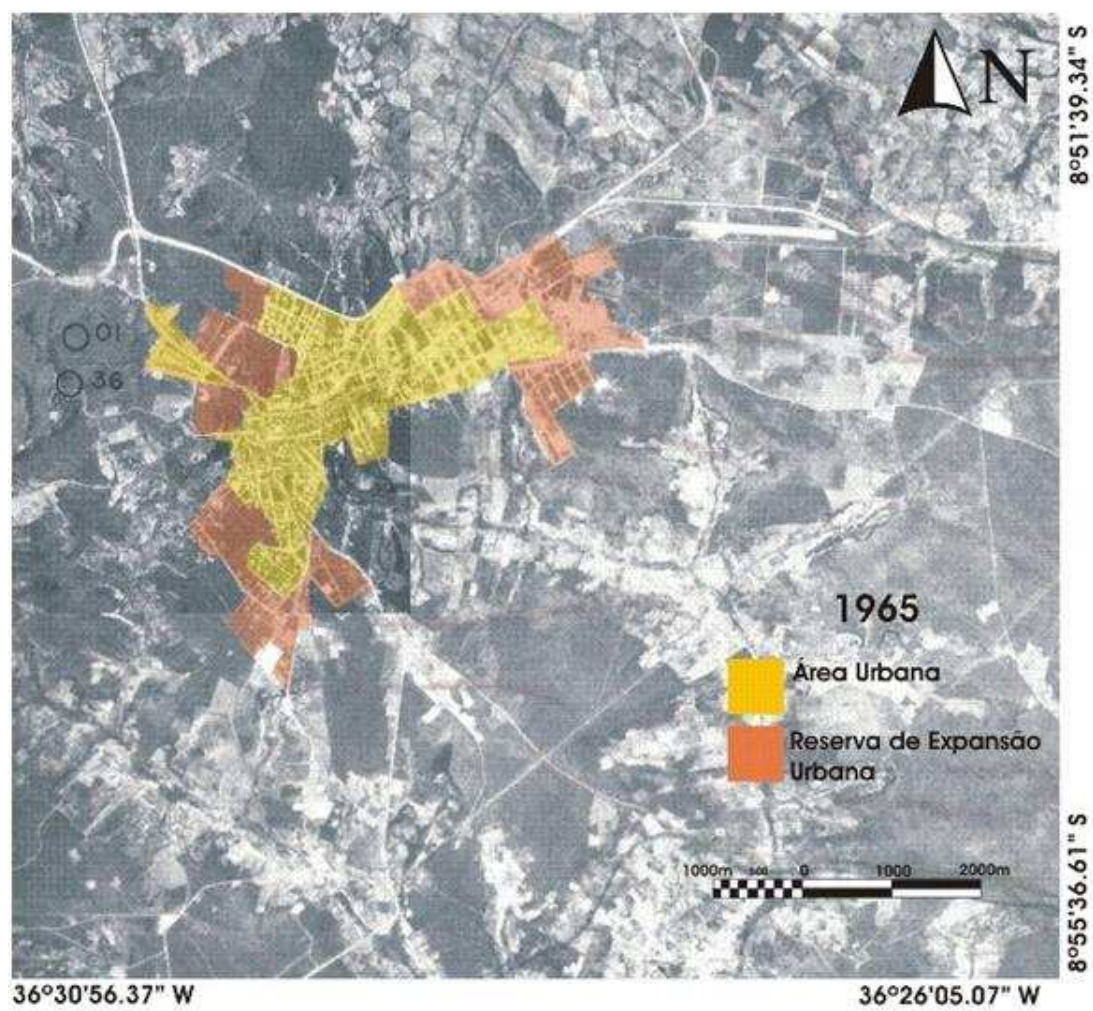


Figura 10: Primeiro momento da expansão urbana em Garanhuns em 1965.

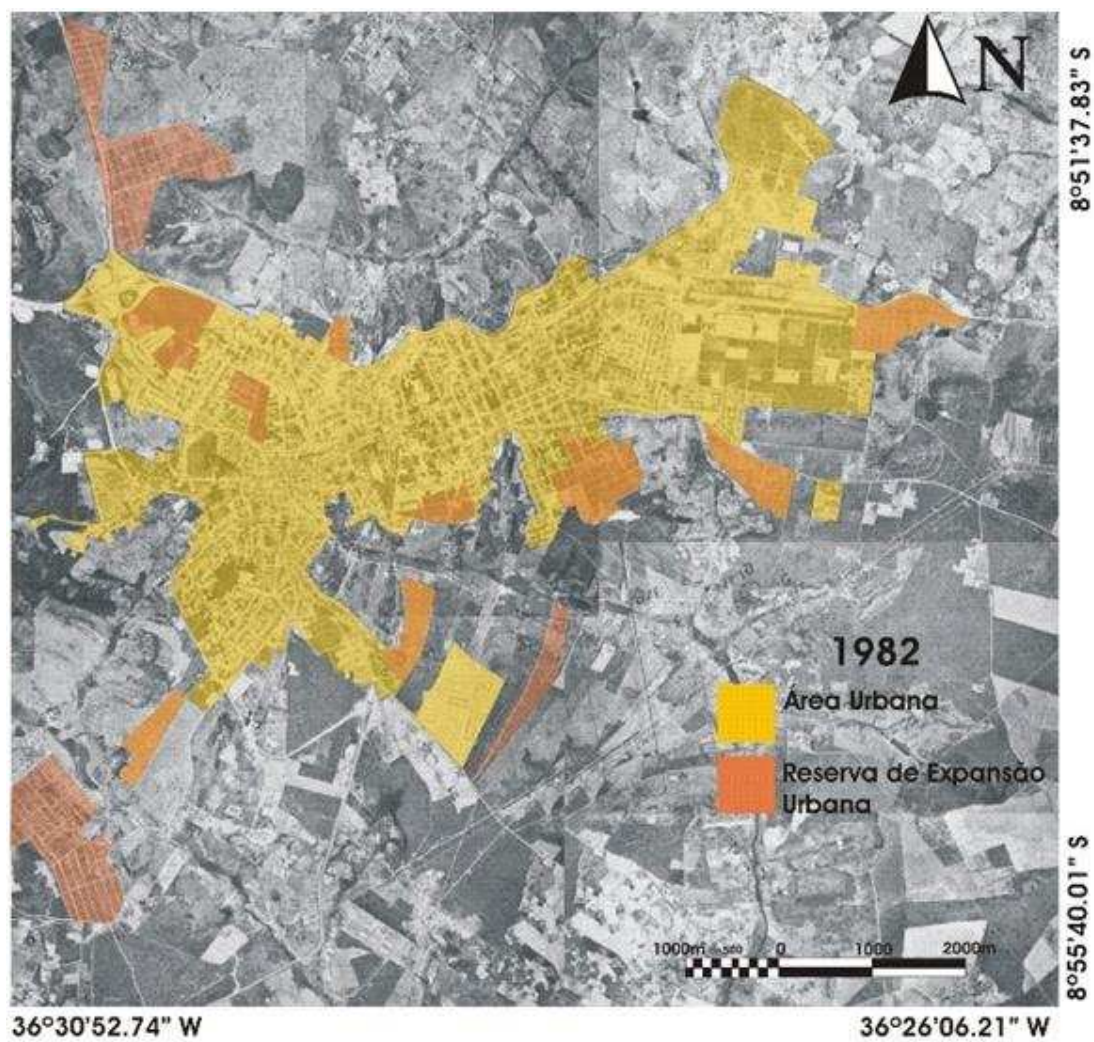


Figura 11: Momento intermediário da expansão urbana sobre os limites de encostas em 1982.

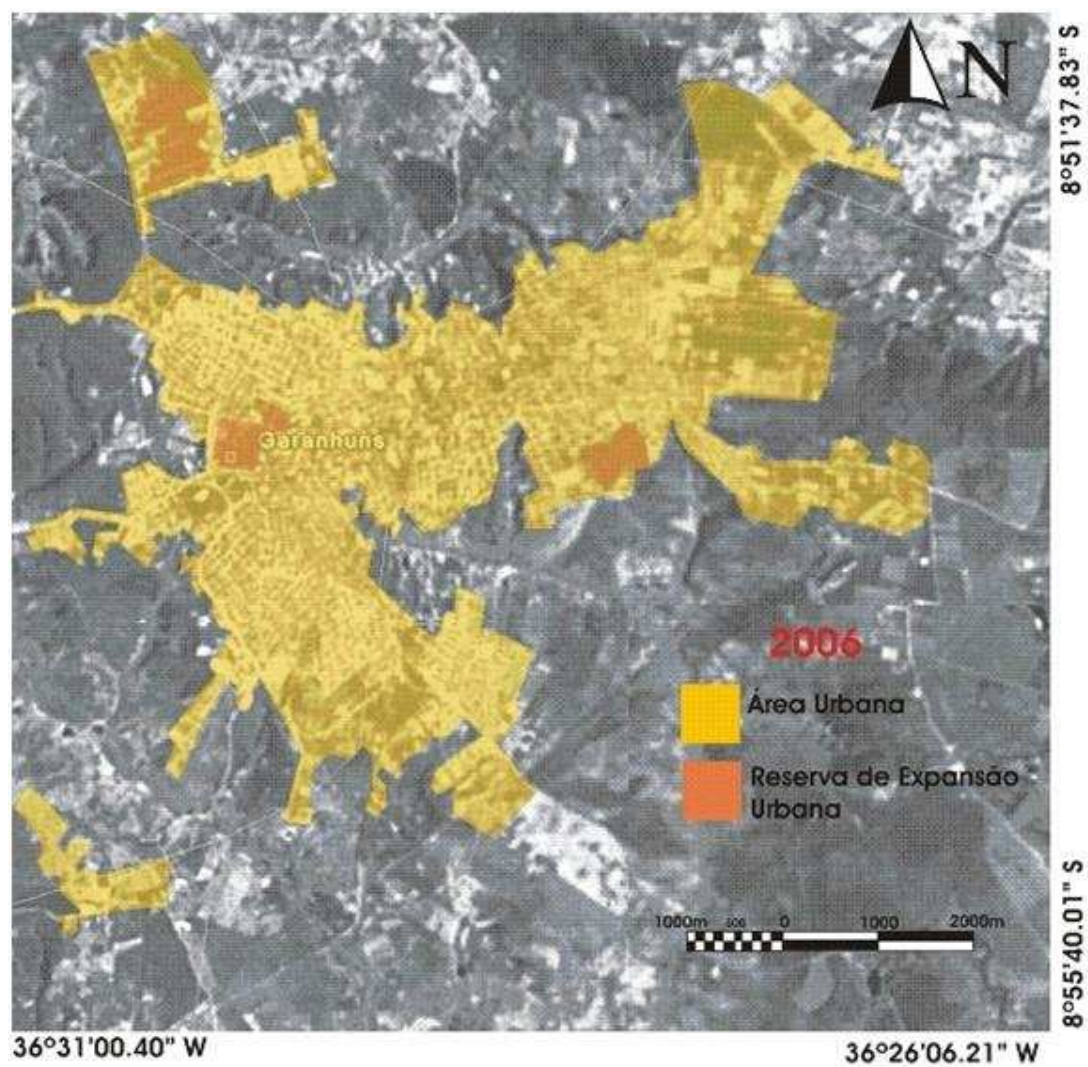


Figura 09: Momento atual da expansão Urbana sobre espaços limitados para reserva de expansão no município de Garanhuns-PE.

5.2.1 Loteamento de conjuntos habitacionais

A dinâmica de distribuição da população no espaço urbano é regida fundamentalmente pelo “valor do solo”. Fatores secundários como paisagísticos ou econômicos constituem relação direta com o fator renda, o que induz conseqüentemente a relação entre valor do solo e fatores sociais.

Estando o espaço urbano de Garanhuns fortemente condicionado à sua morfologia, relevo, solo e eixos viários ‘sub-primários’, restam às populações de baixa renda instalar-se em locais de qualidade inferior, seja em relação às edificações, seja na infra-estrutura instalada.

5.2.2 Infra-estrutura de Garanhuns

O reconhecimento da infra-estrutura urbana constitui ponto fundamental na investigação dos fatores condicionantes dos processos de superfície da paisagem. O aumento da demanda por serviços públicos, com o movimento de expansão urbana sem acompanhamento devido de um crescimento na infra-estrutura acarreta em geral em problemas de difícil solução. A aceleração de processos erosivos, ocorrência de escorregamentos nas encostas, diminuição da infiltração no solo, contaminação dos solos e efluentes, são alguns exemplos dentre outras conseqüências. Cabe às instituições públicas realizarem planejamento satisfatório para que áreas de margem de expansão e administrações futuras não se tornem fáceis vítimas de azares geomorfológicos.

Entrementes no Brasil tem se presenciado justamente o contrário, sobretudo quando da construção de empreendimentos destinados a populações de baixa renda. Em geral restam a essas populações áreas de vertentes inclinadas, ou desprovidas de qualquer infra-estrutura necessária. Em uma abordagem integrada sobre empreendimentos de interesse social, Freitas et al. (2001) expuseram a problemática do espaço urbano gerado em encostas, pelos loteamentos populares. Sobre o ponto de vista

de uma política ambiental inadequada, o poder legislativo, tem imposto à população de menor poder aquisitivo, o enfretamento de problemas como: leito das ruas erodidas, ruas de elevada declividade longitudinal sem qualquer tipo de pavimentação ou proteção, que facilmente se transformam em voçorocas; drenagens destruídas e sistemas de edificação comprometidos.

Não obstante, a infra-estrutura da área urbana de Garanhuns enfrenta problemas semelhantes, ora pelo equívoco dos projetos de planejamento ora pela própria atuação das forças naturais. Através da análise do Projeto de Sistema de Esgotamento sanitário da bacia do Canhoto (2004) pode-se averiguar a relação intrínseca entre o problema de erosão urbana e infra-estrutura deficiente dos assentamentos de interesse popular.

Segue- alguns aspectos contemplados pelo Projeto:

Abastecimento de Água – Segundo O Projeto Básico de Sistema de Esgotamento sanitário da bacia do Canhoto (op.cit.), já em andamento, o abastecimento de água em Garanhuns atinge 70% da população, através da rede de distribuição pública. Tal distribuição é realizada através de dois sistemas de produção de água potável, a saber, Sistema Inhumas, com capacidade de 194 L/s e o Sistema Mundaú, com capacidade de 90L/s. O total da capacidade é de 284L/s. De acordo com o projeto em andamento, está prevista a implantação de um novo sistema, O Mundaú 2, sob perspectiva de capacidade futura de 234L/s. Os 30% restantes, às margens do desenvolvimento, são atendidos por chafarizes.

A exemplo do Bairro Dom Helder Câmara, localizado à margem NW de expansão urbana, o abastecimento de água atualmente funciona a cada 15 dias, obrigando a alguns moradores residirem durante o período de ausências de abastecimento fora de suas moradias.

Esgotamento sanitário – Este, de fato representa um dos principais problemas de infra-estrutura para os bairros da periferia de Garanhuns. Apenas 14% da população, são servidas por sistema de esgotamento sanitário. Os bairros que atualmente são

contemplados por um sistema de esgotamento sanitário, em sua quase totalidade, apresentam deficiências na capacidade de tratamento e problemas relacionados à proximidade com áreas habitadas.

Os sistemas Manuel Xéu, Aloísio Pinto e Magano são considerados inadequados, pela incapacidade de atendimento ao número de residências, inoperância e tratamento ineficaz na remoção de DBO, inferior a 50%, em desacordo, portanto, com as recomendações de autoridades sanitárias. No caso do Sistema COHAB II, sobre pleno funcionamento, a estrutura é composta por uma rede coletora que produz 774m³/dia de esgoto provindos de 5.600 habitantes (Prefeitura Municipal de Garanhuns de Garanhuns, 2004). O tratamento é realizado por meio de duas lagoas facultativas e duas de manutenção em série. Porém, o efluente final do tratamento é despejado diretamente em talvegues secos, o que também é reprovável pelos parâmetros sanitários e ambientais. Os sistemas COHAB I e Nova Heliópolis apesar de recentemente inaugurado em 2004, não têm contemplado ao que parecem várias áreas verificadas em investigação de campo.

De acordo com o Projeto de expansão da rede de esgotamento sanitário supracitado este sistema tem capacidade de beneficiar 3.500 residências, sobre a perspectiva de produção de 2.688m³/dia de esgoto sanitário. Tecnicamente sua operação é satisfatória, com a produção final de efluentes com apenas 6CF/ml. Porém a ausência de interlocução entre o sistema de tratamento COHAB I e Nova Heliópolis e a margem de contínua expansão, tem representado não só grandes riscos geomorfológicos, como também alto grau de insalubridade sanitária para essas populações que ali residem. A permanência de fluxos contínuos de águas servidas sobre o sistema viário de vários bairros periféricos tem condicionado a ocorrência de erosão nesses locais.

Pavimentação – Nota se na área urbana de Garanhuns, ainda certo descaso quanto à pavimentação das vias e instalação de galerias pluviais. Mesmo em áreas de

alto padrão, ainda é comum encontrar ruas sem pavimentação, sobretudo em áreas limítrofes de encostas, como ocorre no bairro de Heliópolis. Porém, a situação se agrava sobre áreas desprovidas de qualquer infra-estrutura em bairros destinados a habitações populares, como as COHAB's. O aumento do escoamento superficial através da compactação do solo e ausência de galerias pluviais tem proporcionado a evolução da erosão linear remontante, chegando ao ponto de dissecar divisores de drenagem entre um bairro e outro como tem ocorrido no bairro COHAB I (Fotos 09 e 10).



Foto 09 e 10: Voçoroca do bairro COHAB I, área limítrofe de expansão a SSE da mancha urbana. Coordenadas UTM (0778875 S/ 9016628 W, 856 m de altitude).

6. A COMPARTIMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA REGIONAL E AS UNIDADES DE RELEVO DE GARANHUNS.

Dentro dos estudos geomorfológicos do Nordeste, o Planalto da Borborema apresenta-se como importante compartimento do relevo, estruturado sobre rochas cristalinas. O mesmo tem se constituído objeto de estudo da geomorfologia regional desde o início do séc. XX.

As primeiras investigações sobre os compartimentos morfoestruturais da Borborema foram realizadas por Crandall em 1910 (*apud* Corrêa, 2001), no qual se propunha a evolução do planalto a partir dos diferentes tipos de intemperismo, entre rochas graníticas intrusivas e rochas metamórficas xistosas, resultante das faixas de dobramento então reconhecidas. Mais tarde foram aplicados à área os modelos de evolução do relevo propostos por King (1956), a partir de estudos realizados na África centro-meridional e observações de campo entre o Rio de Janeiro e Sergipe, este, propôs a regressão paralela de escarpas através de ciclos de pediplanação.

Apesar de todos os estudos aceitarem a explicação inicial de evolução do relevo da Borborema em decorrência da atuação de um bombeamento regional a partir do Cretáceo, nenhum dos trabalhos clássicos contemplou a fundo as explicações morfoestruturais para a elaboração do relevo regional. Czajka (1959) elaborou trabalho balizador nesse sentido, através da inter-relação entre os lineamentos estruturais de direção E-W (Lineamento Pernambuco e Lineamento Paraíba) e alinhamentos freqüentes de direção WSW-ENE de serras e depressões. O autor supracitado identificou dois eixos de arqueamentos principais. O primeiro representado na porção oriental de direção NNE-SSW no estado de Pernambuco pelos patamares de Arcoverde com topos de serras que alcançam 1.100 metros e Garanhuns com topo de 1.000 metros. O segundo e mais expressivo seria constituído por serras alongadas de direção W-E, culminando na Serra da Baixa Verde, PE com topo de 1.185 metros e Teixeira, PB 1.197 metros.

Sendo assim, a formação do Planalto da Borborema de acordo com Mabessone & Castro (1975) explica-se por uma fase de degradação e respectivo aplainamento a partir da reativação Wealdeniana estruturando grande pacote de sedimentos entre o Albiano e Oligoceno. Consecutivamente, com o início de um soerguimento epirogênico lento a partir o Oligoceno Superior, sob este pacote deu-se lugar a um grande abaulamento culminando durante o Plioceno Inferior na elaboração da superfície Sul-americana, regionalmente reconhecida por esses autores como nível Borborema, proposta por King (1956) para as demais áreas do Brasil oriental. Trata-se, portanto, de um relevo que a partir da flexura do bloco continental sofreu soerguimento tectônico e repetidas fases de aplainamento.

Sobre este mosaico, a montante dos degraus de arqueamento, decorrentes de esforços transpressivos e distensivos está assentado o Planalto de Garanhuns. Estruturado por uma seqüência quartzítica sobre embasamento gnáissico do Terreno Pernambuco-Alagoas. “Pode-se considerar a área de Garanhuns *strictu senso* como ‘planalto’, constituindo o único ressaltado deste largo eixo de arqueamento da Borborema denominado de patamar erosivo de Garanhuns”(Correa, 2001).

A compartimentação geomorfológica da área em apreço engloba as seguintes unidades: o patamar erosivo com área de cimeira entre 850 e 950 metros (incluindo a superfície somital no morro do Magano de 1024m), patamares de dissecação pedimentar a 750-700 e 650-600 metros, um pequeno conjunto de serras alongadas (cristas) de direção ENE/WSW, além de modelados de dissecação poli - convexa a 700 m de altitude ao sul das cristas. Para uma melhor visualização dos compartimentos acima enunciados faz-se necessário apresentar um mapa hipsométrico da área, sobretudo porque alguns compartimentos de topos notavelmente planos se circunscrevem a partir de determinadas cotas altimétricas (Figura 13).

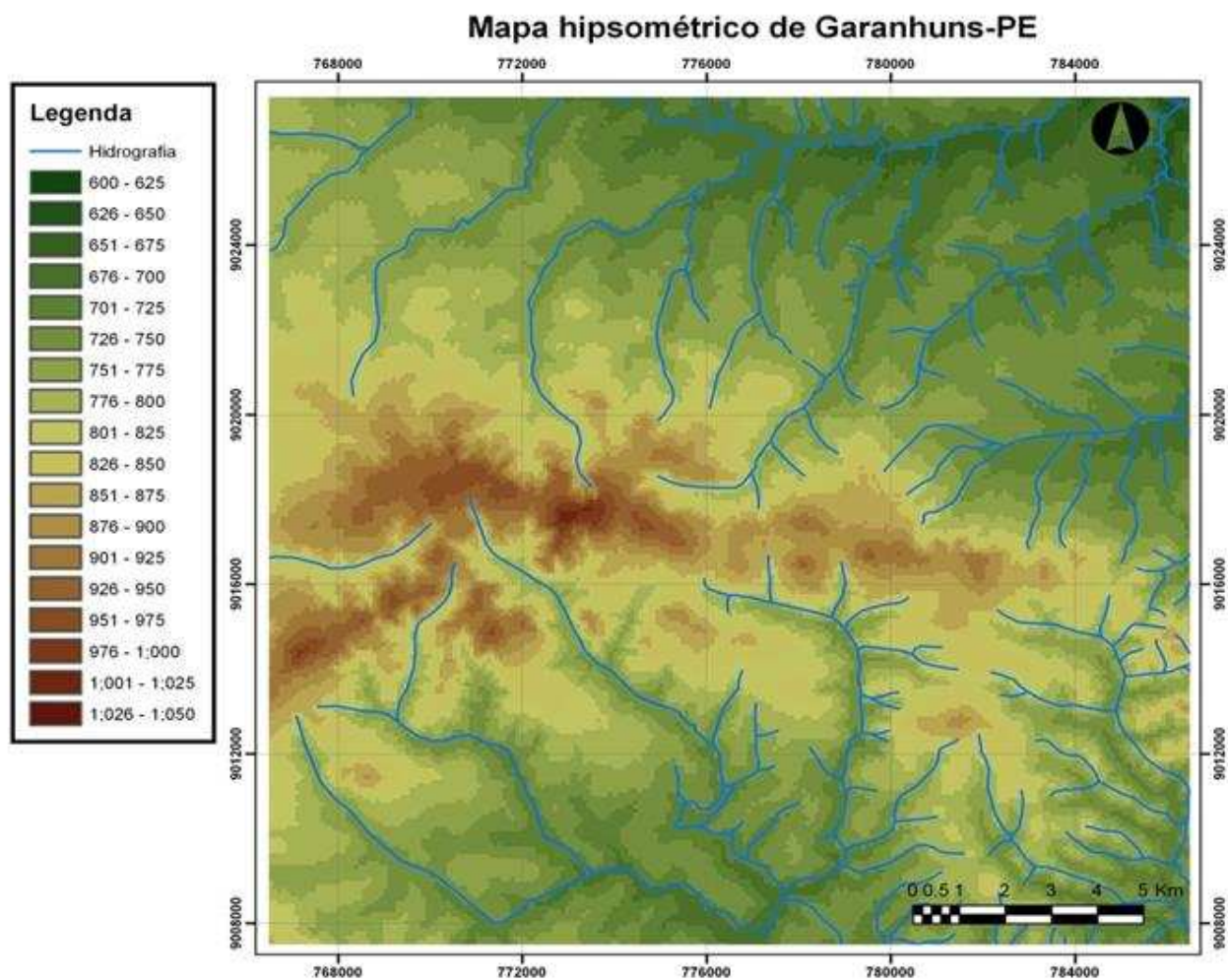


Figura 13: Mapa hipsométrico da área de estudo: Município de Garanhuns. (Autora: Renata Nunes Azambuja).

6.1 Superfícies Geneticamente Homogêneas

Seguindo o critério proposto por Demek (*apud* Ross, 2005) na elaboração de cartas geomorfológicas, as unidades geneticamente homogêneas podem ser consideradas como as principais unidades taxonômicas na avaliação morfodinâmica do relevo. Tais superfícies são resultantes de determinados processos ou mesmo de um complexo de processos geomorfológico. Estas unidades, em geral, têm sua gênese sobre três condicionantes, a saber: os processos endógenos, exógenos e antrópicos. Portanto dar-se-á maior destaque a estas fisionomias na análise geomorfológica.

6.1.1 Elementos Denudacionais

Topos: O compartimento de topo tabular (Foto 11), no qual se situa a área urbana de Garanhuns, está estruturada sobre altitudes que variam entre 800-950 metros. Estas áreas possuem ruptura de declividade ora convexa ora retilínea, apresentando dissecações que variam de 50 a 100m entre topo e fundo de vale.

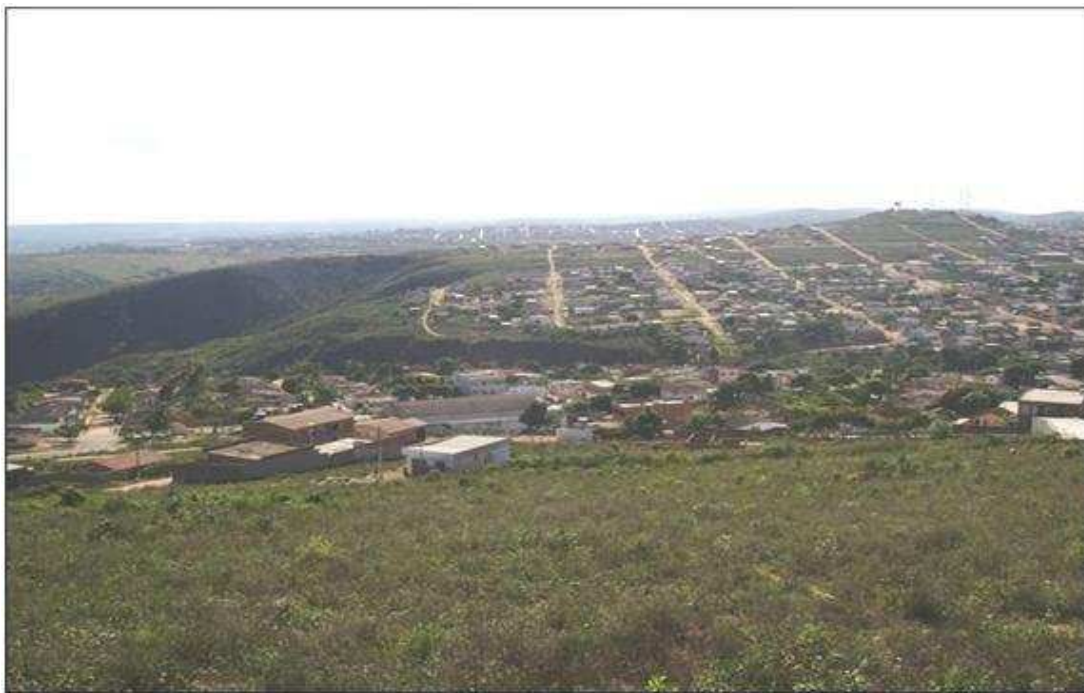


Foto 11: Área de cimeira tabular, visão panorâmica do bairro COHAB I (Coordenadas UTM: 0779457 S / 90116784 W, 944 m de altitude).

Freqüentemente, este tipo de relevo apresenta-se fortemente dissecado sobre as unidades de encostas com registro extensivo de paleo-escarificações estabilizadas pela cobertura vegetal.

Vertentes ou Encostas - São encontrados com frequência três tipos de ruptura de declividade sobre a área em questão. As vertentes retilíneas, côncavas e convexas.

As vertentes retilíneas, em geral, estão associadas às formas côncavas em posição inferior da encosta. Neste tipo de feição, predominam as cicatrizes de deslizamento, que constituem presença ubíqua ao longo da área de perímetro urbano. Modenesi (1980) em trabalho sobre intemperismo e morfogênese no Planalto de Campo dos Jordão, detectou que a ocorrência de vertentes retilíneas é muito comum sobre quartzitos ou ainda sobre rochas subordinadas a alinhamentos estruturais. Sobre esse ponto de vista, estas variáveis exercem forte controle sobre o modelado do relevo de Garanhuns que, associado à remoção da cobertura vegetal nos setores de cabeceira, tornam-se áreas susceptíveis às ações antrópicas. De acordo com Resende (*apud* Ribeiro, 2004) as formas côncavas, facilitam a convergência de águas, induzido a formação de sulcos e voçorocas. Constituem-se áreas, ao mesmo tempo de erosão e aporte de sedimentos e sua maior instabilidade decorre da ausência de cobertura vegetal nas áreas de concentração de fluxos. De acordo com Modenesi-Gauttieri & Hiruma (2004), a associação destes dois tipos de vertente resulta na formação dos anfiteatros de erosão (Foto 12). Sobre estas vertentes, predominam as cicatrizes de voçorocas e deslizamentos (Foto13).



Foto 12: Anfiteatro de Erosão com cicatrizes deslizamentos (sliding) localizado no limite de expansão W da área de estudo (Coordenadas UTM: 0775267 S / 9018890 W, 897 m de altitude).



Foto 13: Cicatriz de deslizamento e erosão linear em vertente retilínea (Coordenadas UTM: 0778861 S / 9016462 W, 856 m de altitude).

Em alguns pontos da área de cimeira e sobre as porções meridionais e setentrionais dos patamares de dissecção de 750 e 650 m, ocorre um relevo tipo colinoso, com vertentes convexas, com altitudes entre interflúvio e vale que variam entre 30 e 50 metros. As vertentes convexas funcionam como área dispersora de águas e em geral estão associadas à ocorrência de erosão mais uniforme e laminar. A espessura do *solum* tende a ser uniforme propiciando unicamente a erosão. Este tipo de feição tende a sofrer maior instabilidade na ocorrência de fluxo de água concentrados.

6.1.2 Elementos de Acumulação

Rampas de Colúvio - As vertentes estruturadas em rampa de colúvio são consideradas como elemento de acumulação sub-recente. São formas assaz comuns sobre a transição entre encostas íngremes e terraços fluviais. Sua origem deve-se a sucessivos processos morfogenéticos pontuais, responsáveis pela remobilização do regolito a jusante de tais encostas. São rampas de ondulação suave que adquirem destaque pela coalecência de vários depósitos coluviais. Devido à heterogeneidade dos seus sedimentos, muitas vezes, estas áreas configuram-se como instáveis, podendo em certos estágios se transformar em nova área fonte de sedimentos, quando fortemente erodidas.

Plano Aluvial – este compartimento ocorre em áreas baixas e planas ao longo dos tributários e do próprio Riacho Rua Nova a SSE da área urbana e ao longo do vale do Riacho São Vicente a NNE sobre altitudes que variam entre 700 e 800 m. Frequentemente são limitados por encostas de rampas de colúvio que formam truncamento sobre as áreas de terraços propriamente ditas.

Terraços – As área de terraço por sua vez encontram-se preenchidos por material aluvio-coluvionar cortado pela drenagem intermitente da área, correspondente ao Ciclo Paraguaçu de King (1959). São áreas extensamente ocupadas pela agricultura de gêneros alimentícios, no entanto sua limitada expressividade espacial não permite discerni-los no mapa geomorfológico, perfazendo, portanto para fins de mapeamento uma única unidade, indivisa, junto com o plano aluvial.

Em geral, as feições ora descritas encontram-se embutidas nos compartimentos do relevo devido à sua classificação de ordem de grandeza. No entanto, dependendo da extensão do compartimento de cimeiras algumas podem ocorrer de forma mais extensa como demonstra o mapeamento geomorfológico da área de estudo (Figura 14).

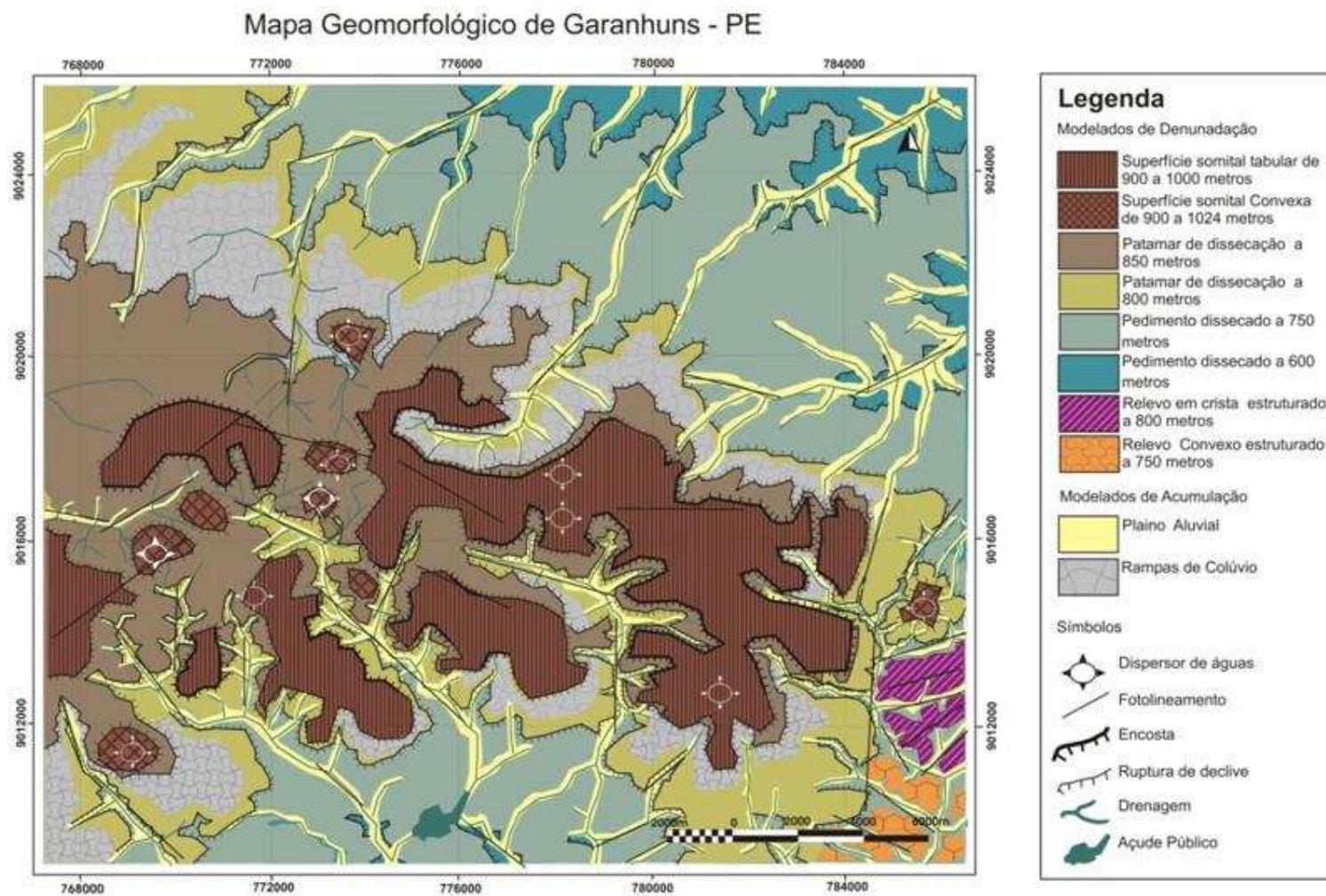


Figura 14: Mapa Geomorfológico da área de estudo (Autora: Renata Nunes Azambuja).

7. ANÁLISE SEDIMENTOLÓGICA DAS ÁREAS FOCO DE EROÇÃO

7.1 Análises Morfoscópica e Granulométrica

Com base nos resultados obtidos em laboratório as amostras representativas foram caracterizadas qualitativamente e quantitativamente, possibilitando a identificação tanto sobre a natureza dos depósitos como do tipo de processo operante.

A análise por morfoscopia determinou para as amostras uma distribuição bastante heterogênea quanto à forma dos grãos. Os resultados para esfericidade demonstraram um pequeno predomínio de grãos de baixa esfericidade sobre as outras classes, com uma média de ocorrência de 37%. Porém a distribuição para todas as amostras foi homogênea.

Para o grau de arredondamento, as amostras apresentaram um predomínio de grãos variando de sub-ânguloso a sub-arredondado. Na amostras CVG e NCG notou-se certa tendência para grãos sub-arredondados e arredondados, e em LQG baixa ocorrência de grãos arredondados.

Sobre o parâmetro de textura superficial, foram encontradas altas proporções de grãos polidos em CVG e LQG, com quantidades de 60 e 72% respectivamente. Em NCG ocorreu inversão, com pequeno predomínio de grãos com textura fosca (Tabela 02).

Tabela 02: Graus de esfericidade (Rittenhouse, 1943), de arredondamento (Powers, 1982) e textura superficial para as amostras analisadas.

Amostra	Esfericidade (%)			Arredondamento (%)				Textura supf. (%)	
	Baixa	Média	Alta	Angul.	Sang.	Sar.	Arredo.	Fosca	Polida
CVG	34	33	33	15	35	40	10	40	60
LQG	39	30	31	33	37	27	03	28	72
NCG	38	30	32	15	33	37	15	54	46

A correlação dos parâmetros analisados sugere que os sedimentos da LQG representam um tipo de transporte proximal, com predomínio de grãos pouco trabalhados (de anguloso a sub-anguloso) somando 70% da amostra. Grande parte do transporte

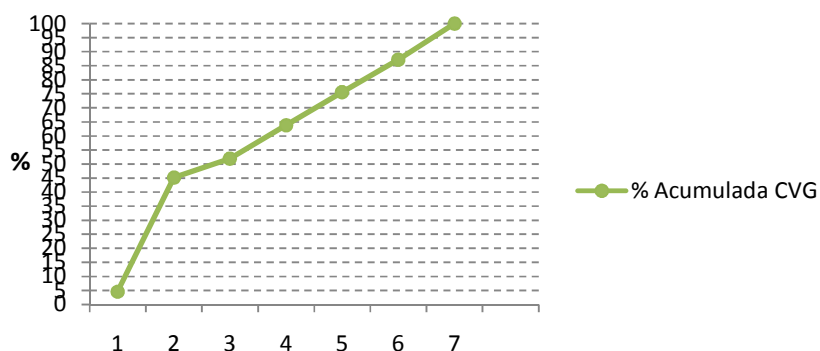
também se da por tipo fluido, já que 72% da amostra apresentaram polimento em seus grãos. LQG também foi a amostra que apresentou a maior proporção de grãos de baixa esfericidade, porém não muito diferente das amostras restantes, podendo ter uma forte ligação com material de origem, como o Quartzito Garanhuns.

As amostras CVG e NCG apresentaram uma leve tendência de arredondamento dos grãos. Neste caso com pouca relação de transporte, já que são constituídas por área fonte de sedimento. A diferenciação do grau de maturidade dos grãos, nesse caso, deve-se mais à circulação de água no perfil e porosidade do solo (área de contato entre grãos) verificada pela maior proporção de grãos polidos em CVG que em NCG. O que pode indicar que em NCG ocorre maior fricção entre os grãos. A classificação modal nesse caso confirma o grau de maturidade dos solos, atribuindo a amostra CVG maior relação entre areia e silte que NCG.

Tabela 03: Parâmetros estatísticos por área de amostragem.

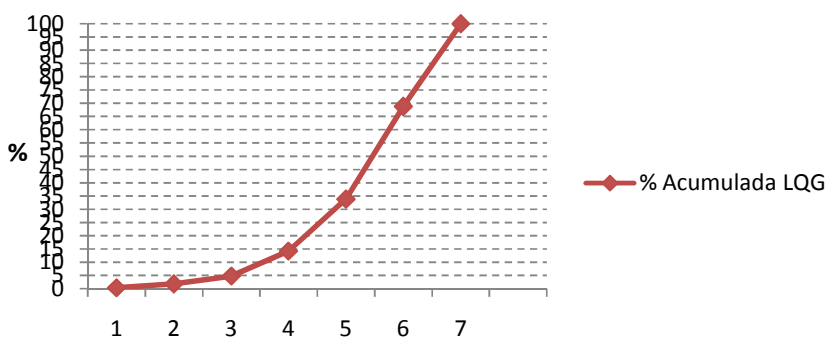
Amostra	Seleção	Assimetria	Curtose
CVG	2,5 Muito pobremente selecionada	-0,06 Assimetria negativa	0,93 mesocúrtica
LQG	1,0 Pobremente selecionada	0,1 Assimetria positiva	0,75 platicúrtica
NCG	2,3 Muito pobremente selecionada	0,3 Assimetria muito positiva	0,98 mesocúrtica

7.1.1 Curvas Cumulativas e diagrama de disco por área de amostra



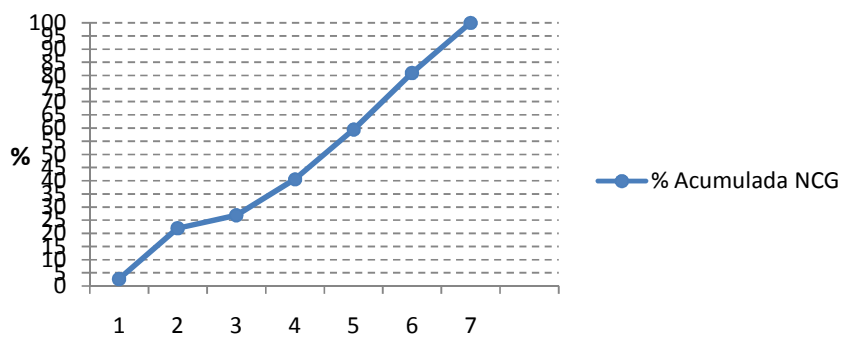
CVG

Gráfico 06: Curva cumulativa por classe granulométrica CVG.



LQG

Gráfico 07: Curva cumulativa por classe granulométrica LQG.



NCG

Gráfico 08: Curva cumulativa por classe granulométrica NCG.

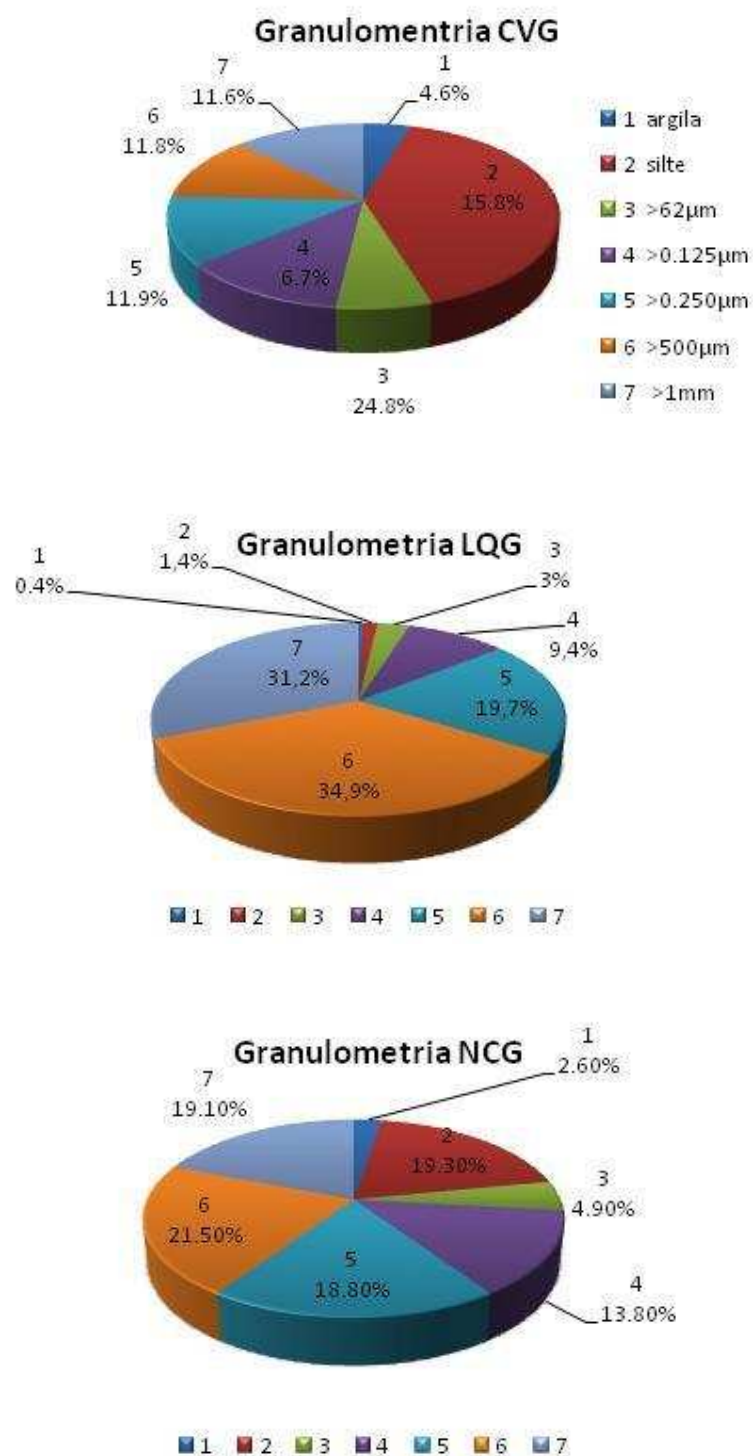


Figura 15: Distribuição granulométrica em diagrama de disco CVG, LQG e NCG.

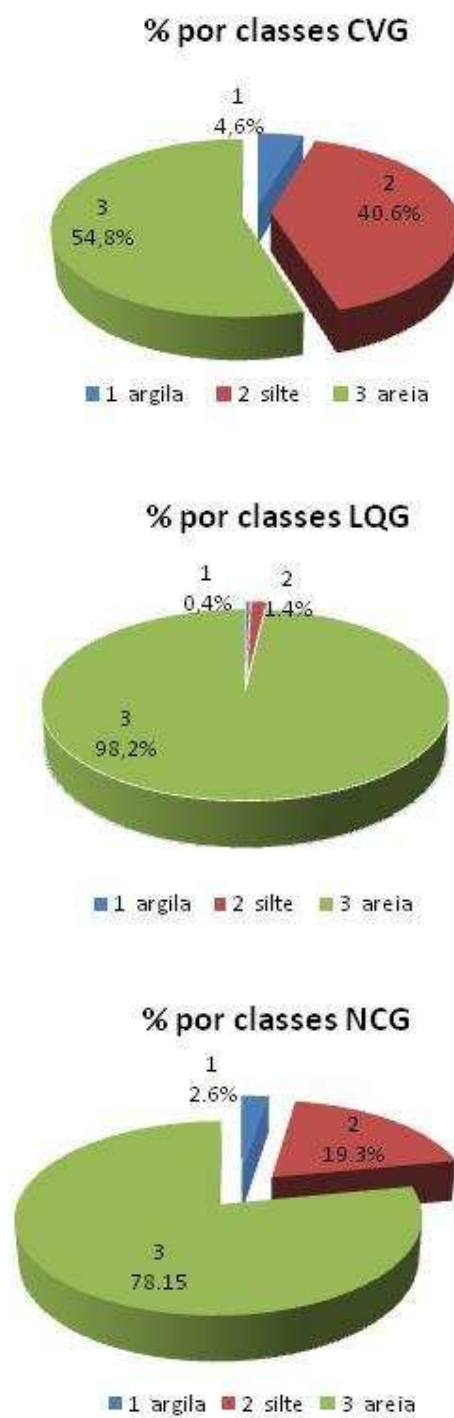


Figura 16: Distribuição granulométrica por classes em diagrama de disco CVG, LQG e NCG.

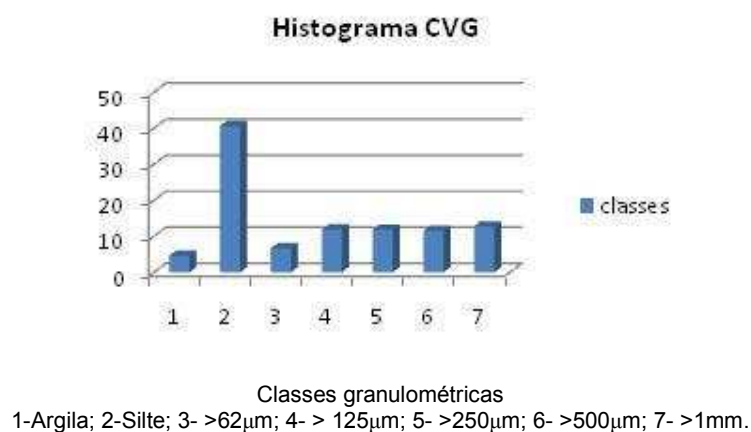


Gráfico 09: Histograma das classes granulométricas para a amostra CVG.

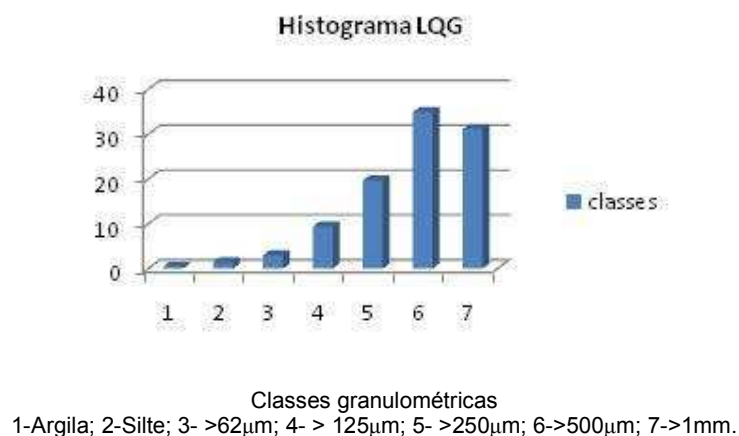


Gráfico 10: Histograma das classes granulométricas para a amostra LQG.

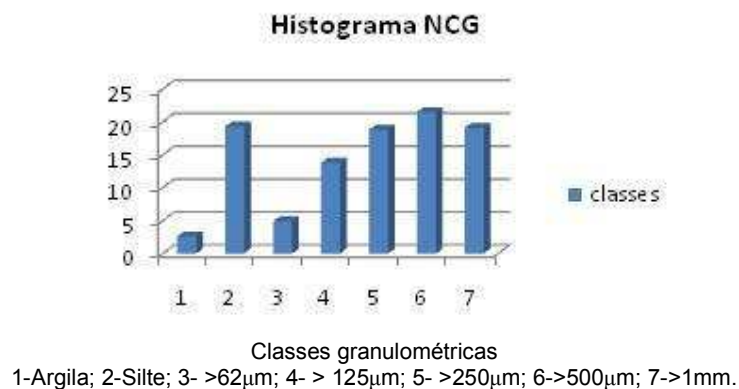


Gráfico 11: Histograma das classes granulométricas para a amostra NCG.

Dissertando sobre os resultados dos parâmetros de análise granulométrica pode-se dizer que de acordo com a classificação estabelecida por Folk e Ward (1957) para o grau de seleção, as amostras apresentaram sedimentos muito pobremente selecionados e pobremente selecionados (Tabela 03). Valores de desvio padrão acima de 2 foram encontrados para as amostras CVG e NCG atribuindo um caráter de seleção muito baixa para ambas amostras. A pequena diferenciação para a amostra LQG deve-se ao fato de o sedimento transportado e depositado no local, ter sofrido progressivo efeito de seleção, porém ainda muito incipiente, apresentando-se mal selecionado de acordo com os resultados obtidos.

A assimetria por outro lado é dada pelo afastamento do diâmetro médio da mediana. Corrêa (2001) acrescenta que o grau de assimetria reflete o quanto uma distribuição varia em relação à curva de distribuição normal (curva simétrica) e nos fornece indicações sobre a natureza do fluxo dos sedimentos. Se unidirecional (assimetria positiva) ou bidirecional (negativa) (Corrêa, op. cit.).

Os resultados positivos e muito positivos (para LQG e NCG, respectivamente) são representados pela concentração de grãos mais grossos e distribuição polimodal. Enquanto que a amostra CVG apresentou valor negativo de assimetria. Condizente com o resultado obtido por Camargo Filho e Bigarella (1998) na bacia do Rio Bananas, no Brasil meridional. A combinação nos resultados de assimetrias muito negativas e sedimentos muito pobremente selecionados indicaram que a ocorrência de movimentos de massa sobre os ambientes de encostas ocorrem justamente sobre sedimentos dessa natureza.

A própria relação entre área fonte (CVG) e área deposicional (LQG) demonstra que tais sedimentos transportados, sofreram uma sensível perda das classes mais finas, sobretudo pela erosão laminar, pós-deposicional que ocorre na área citada (Figuras 15 e 16).

O caráter de bimodalidade ou polimodalidade é demonstrado pela curtose, como sugerem Folk e Ward (1957). Valores muito baixos de curtose encontrados para as três amostras refletem um padrão de distribuição muito platicúrtica, para todas as amostras analisadas (Gráficos 09, 10 e 11). Suguio (1973) afirma que a ocorrência de distribuição com mais de uma classe modal em combinação com valores muito altos ou muito baixos de curtose sugerem uma forte relação com o tipo de transporte. Tais sedimentos podem ter sofrido seleção em uma região de alta energia, transportado e depositado sem mudanças nas características, sendo os mesmos misturados com outros sedimentos em equilíbrio. Entretanto, os valores encontrados para as amostras em questão definiram os sedimentos com muito pobremente selecionados, não condizente com esta afirmativa. Este fato se explica pela natureza de áreas fonte, compostas por antigos perfis de intemperismo, como demonstrado pelo perfil CVG (Gráficos 06 e 09). Somente no caso da amostra LQG pôde ter ocorrido uma seleção sofrida pelo transporte entre a área de cabeceira da voçoroca e o lóbulo terminal, retrabalhado pela erosão laminar, com a carreamento dos sedimentos finos.

Foi percebido ainda o predomínio de classes modais arenosas para as amostras LQG e NCG (Figura 16). Para o primeiro caso pode-se dizer que o fator hidrodinâmico local rege um forte controle sobre o transporte de classes finas, resultando em uma distribuição predominantemente arenosa (Gráficos 07 e 10). Em NCG este parâmetro reflete um controle mais climático que, propriamente um predomínio de fluxo (Gráficos 08 e 11). A área de expansão urbana, localizada a norte da cidade, particularmente no bairro de Dom Helder Câmara, apresentou variações no comportamento climático. Diferente do predominante no município, verificado, sobretudo pelo predomínio dos Regossolos, em franco processo de perda de material fino (silte e argila).

7.2 Propriedades dos solos residuais e depósito alúvio-coluvial.

Algumas propriedades dos solos foram avaliadas com a finalidade de caracterizar o estágio de evolução pedogenética das áreas fontes (CVG e NCG) e processos deposicionais resultantes (LQG).

Os resultados obtidos demonstraram valores muito baixos de sódio trocável (<10%) sendo de maior capacidade de troca, o material proveniente de CVG – 6,8%. Como era de se esperar os valores de pH acompanharam os valores de capacidade de troca catiônica (CTC). As áreas fonte apresentaram valores baixos de pH, o que indica predominância de ambiente ácido. Enquanto a área deposicional (LQG) apresentou pH quase básico (6,8). Este resultado demonstra que de certa forma vem ocorrendo na área em questão, o acúmulo de bases provenientes da área fonte.

Os valores de CTC muito baixo indicam para os depósitos residuais, avançada perda dos minerais silicatados. No caso da amostra CVG, os sedimentos analisados demonstraram maior grau de intemperismo químico com uma relação silte/areia maiores que as demais amostras (Tabela 04).

Tabela 04: Propriedades pedológicas das amostras.

Amostra	pH	CTC	PST	M.O	P	Na ⁺	K ⁺	Mg ⁺²	Ca ⁺²	Al ⁺³
nome	(H ₂ O) 1:2,5			g/kg	mg/dm ₃	(cmolc/dm ₃)				
CV	4.9	6.04	6.87	9.47	0	0.22	0.43	1	1.1	0.45
LQ	6.8	3.72	3.7	1.44	2	0.08	0.43	0.75	0.85	0.05
NC	4.6	6.84	2.52	11.42	0	0.08	0.39	0.7	0.8	1.2

Os cálculos efetuados para saturação por bases indicaram valores acima de 50% em todos os casos, o que significa que os solos da área são caracterizados como estróficos.

7.3 A mineralogia das Argilas

Os resultados da mineralogia das argilas foram concordantes com os resultados de pH das amostras, estabelecendo uma divisão entre ambientes de monossialitização (argilas do tipo 1:1) nas áreas de cabeceira e um enriquecimento de argilas do tipo 2:1 na porção deposicional do leque aluvial (Tabela 05).

Tabela 05: Mineralogia das argilas: minerais primários e supérgenos.

Amostras	Minerais Primários	Minerais Supérgenos
CVG	Q - KF	K - I - HL - G - H
LQG	Q	K - S - MG - G - H
NCG	Q - KF	K - I - G - H

Q - quartzo, KF – K-feldspato (microclina), K – caulinita, I – illita, HL – haloisita, G – goethita, H- hematita, S – Saponita, MG – magnetita.

A ocorrência de minerais de argila do tipo 2:1 sobre as áreas fontes como a Illita, reflete o intemperismo de K-feldspato (microclina) ou minerais micáceos como a muscovita. Esta associação pode ocorrer como referida alhures entre faixas de quartzitos, rocha predominante no local. Predominaram, portanto sobre as áreas de cabeceira, a ocorrência de Minerais ferruginosos, ora em estrutura caulínica, ora sobre a forma de óxido e hidróxidos de ferro, como a Hematita (em menor proporção) e a goethita (mais abundante).

A Haloisita, denominada como uma variação das caulinitas também apresentou consideráveis proporções em CVG (Figura 17), indicando um maior acúmulo de Alumínio neste perfil. Em NCG (Figura 19) não foram encontradas grandes variações de minerais do tipo 1:1. Entretanto, níveis de quartzo também foram encontrados em abundância em ambas as amostras, demonstrado pela boa reflexão dos picos e tamanho de fração >1µm. Através do predomínio de níveis caulínicos de oxi-hidróxidos de alumínio pode-se aventar que o ambiente em questão, em um momento pretérito atravessou um período de maior umidade, possibilitando a intensa alteração dos minerais primários. Em

concordância com Corrêa (2001) estes níveis de intemperismo vão se restringir, em geral, aos níveis de cimeira mais elevados, ou mesmo, sobre a condição particular de hidrologia de encosta, como os depósitos sub-planares em posição subaérea.

No que diz respeito à amostra LQG (Figura 18), as condições hidrológicas de encosta tem favorecido a formação de minerais supérgenos particulares sobre o depósito de origem coluvio-aluvial. Ocorre sobre tal depósito a presença de argilominerais de do tipo 2:1 como a magnetita e a saponita (pertencente à família das esmectitas). Enquanto que a hematita e goethita ocorreram em menores proporções, a caulinita também apareceu neste depósito em maiores proporções.

Estes resultados permitem concluir que na área de cabeceira em que a pedogênese está ocorrendo no sentido da monossialitização as estruturas compostas pelos tipos de argilominerais 1:1 têm contribuído para uma menor estabilidade do ambiente, não somente pelas condições texturais do solo, já que os níveis de argilas em todas as amostras foram baixos, mas primordialmente pelo nível de desenvolvimento do manto de intemperismo que se encontra empobrecido pela ação percolante dos fluxos subsuperficiais.

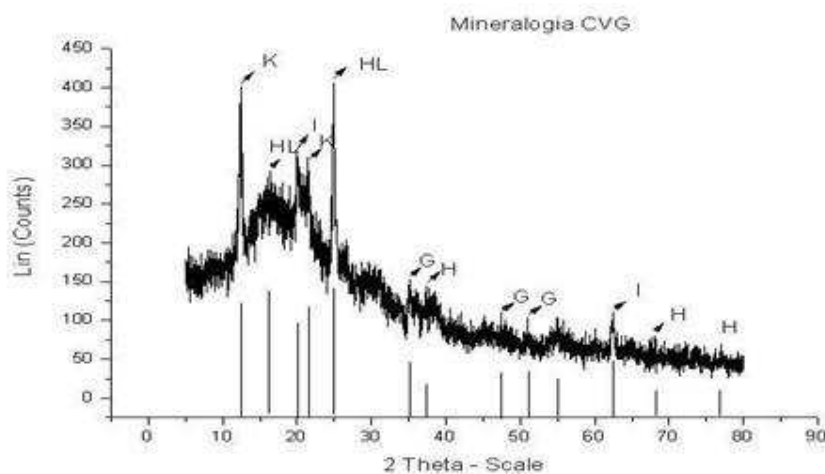


Figura 17: Mineralogia de Argilas - CVG

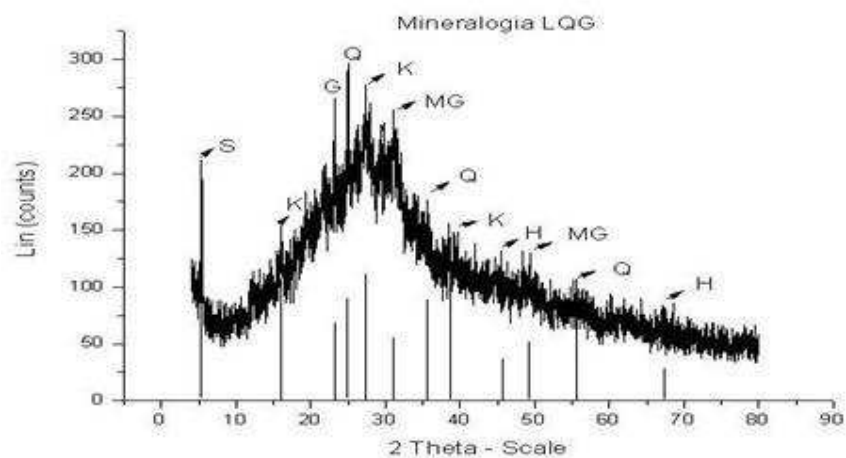
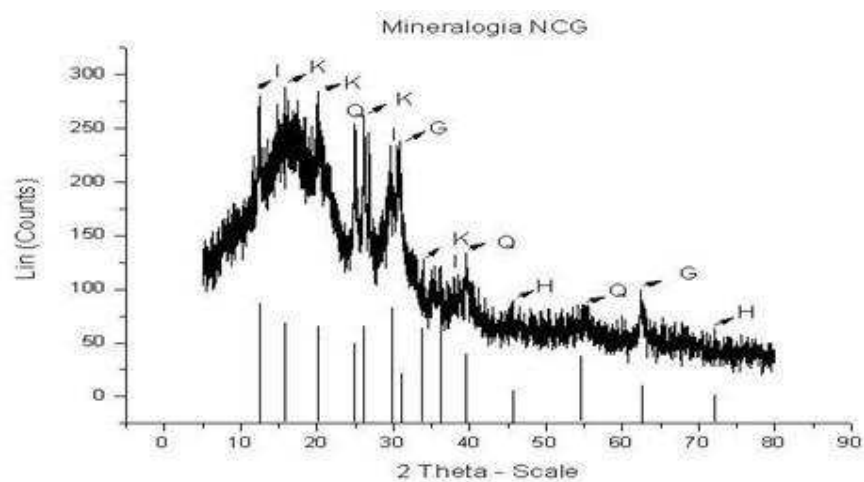


Figura 18: Mineralogia de argila LQG.



Fugura 19: Mineralogia de argila NCG.

8. MAPEAMENTO MORFODINÂMICO: UMA ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL

A elaboração de cartas morfodinâmicas tem representado importante papel no estabelecimento dos graus de sensibilidade do quadro ambiental correlatos aos processos degradacionais e agradacionais. Com finalidade de fornecer dados consistentes para o planejamento estratégico ambiental e controle de erosão em áreas urbanas, o mapeamento morfodinâmico pode diagnosticar de forma precisa o comportamento geomorfológico referente a uma determinada área de estudo. Tendo em posse a compilação dos dados realizada previamente neste trabalho e a correlação dos diversos níveis categóricos segue-se a fase de síntese.

Modificações introduzidas no tipo de uso do solo pelo movimento de expansão urbana têm provocado efeitos notáveis sobre o transporte e produção de sedimentos, acarretando conseqüentemente na modificação do relevo. Através da obtenção dos mapas morfodinâmicos em escala espaço-temporal pôde-se averiguar o conjunto dos elementos que, possivelmente, vem afetando as condições de estabilidade geomorfológica da área em questão. Porém, como o trabalho requer grande detalhamento dos fatores intervenientes dessa estabilidade, o mapeamento morfodinâmico cingiu em síntese, a pontualização de áreas instáveis, como pré-requisito para o planejamento urbano e ambiental. Dessa forma os mapas trataram de pontos críticos e não-críticos que compõe a complexa caracterização do ambiente ocupado pela rede urbana e adjacências do município de Garanhuns.

8.1 A Análise da evolução espaço temporal

8.1.1-1965: O início da Expansão Urbana

O marco inicial do estudo ocorre no ano de 1965. Apesar de este ano coincidir com a implementação do Código Florestal Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, pouco se fez em favor da manutenção de áreas de preservação. Neste período não foram identificados muitos processos de desestabilização na área de entorno do perímetro urbano.

Ambientes Fortemente Instáveis: Apenas foi encontrado um indício de ravinamento sobre um anfiteatro de erosão a norte da área urbana. A associação entre corte de estrada em áreas próximas a rupturas de alta declividade e, exposição de solo sobre tais vertentes, qualifica o ambiente como altamente instável. Sendo assim, a sobreposição dos *layers* de uso do solo, cobertura lito-pedológica, cobertura vegetal e declividade, conferiram ao local a classificação de ambiente instável (Figura 20).

Ambientes Moderadamente Instáveis: Sobre as áreas de uso rural foram detectados inúmeros processos de erosão laminar incipiente. Neste período há uma clara divisão na utilização do solo em áreas de topo, voltada em geral para a pecuária bovina, com forragem de gramíneas, e áreas de baixas vertentes e várzea, voltadas para atividade de policultura. De acordo com os dados meteorológicos extraídos do INMET (2005), 1965 não se comportou como um ano de estiagem. Não foi verificado nenhum déficit de precipitação ou acúmulo de água no solo, apresentando um acumulado total de 879,8 mm.

O principal fator de exposição de solo neste caso está associado às áreas de cultura de curto ciclo e longo ciclo de baixa densidade, onde a propensão de ocorrência de erosão laminar é potencializada. Porém, a suavização do relevo relacionado à diminuição da energia cinética do escoamento superficial pôde representar um fator atenuante para essas áreas. Outro fator que se julga preponderante para a diminuição da

atuação erosiva é a presença de vegetação secundária sobre vertentes de alta declividade e/ou retilíneas, na transição entre os usos de policultura e pecuária.

Sobre as áreas localizadas a montante, ocupadas por atividade pecuárias, houve certa tendência de erosão laminar. Provavelmente o contínuo uso pela pecuária extensiva sem manutenção adequada próximo às áreas de rupturas de declividade, provocou a compactação do solo e a conseqüente diminuição da cobertura de forragem. O resultado deste cenário através da sobreposição dos *layers confere* aos ambientes de ruptura de declividade a classificação de moderadamente instável, quando associado à presença de cobertura de gramíneas e fortemente instável onde a cobertura vegetal foi completamente removida dos ambientes de encosta.

Ambientes de Fraca instabilidade: Embora as áreas ocupadas por vegetação secundária arbustiva, estejam geralmente associadas a terrenos de alta declividade e as mesmas representem média instabilidade, este ambiente foi o único, moderadamente estável encontrado durante este período.

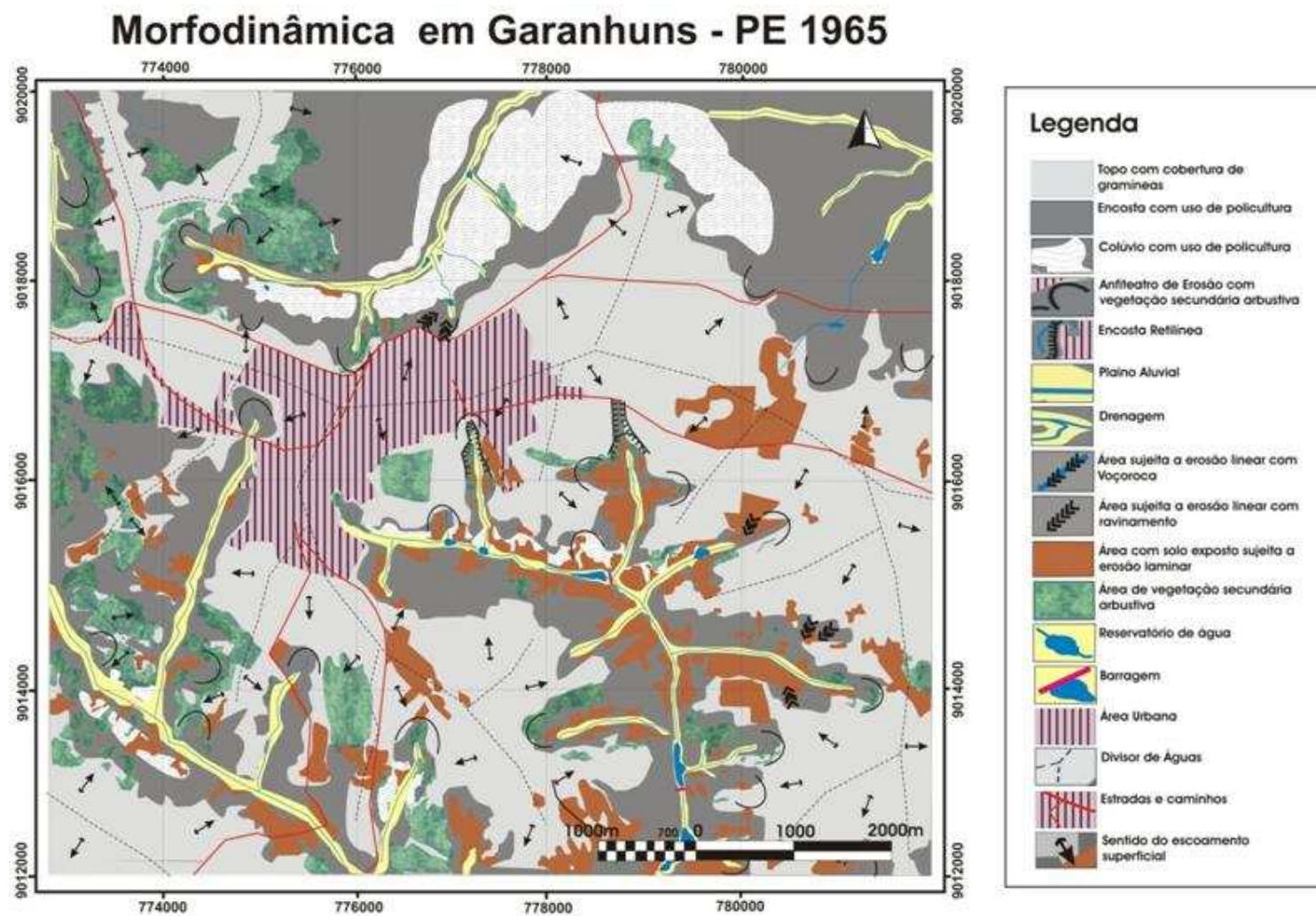


Figura 20: Mapa Morfodinâmico de 1965 (Autora: Renata Nunes Azambuja).

8.1.2-1982: Transformações Antrópicas e Processos Naturais

O ano de 1982 representa um marco sobre a desestabilização morfodinâmica da área de estudo. A ocorrência de um forte evento de estiagem durante os anos de 1982-83, conhecido como o mais forte evento de El Niño – Oscilação Sul (ENOS) do século XX teve grande participação na transformação ambiental de Garanhuns.

Fortes condicionantes climáticos, neste caso, conduziram a tipos de ações antrópicas extremamente nocivas aos sistemas naturais. Knox em 1972 (*apud* Christofolletti, 1999) imputou às mudanças de fatores externos, como sendo responsáveis pelo ajustamento em novos estados de equilíbrio. Isso significa que, as rápidas mudanças climáticas afetam ligeiramente a cobertura vegetal, e seu curto período de duração desencadeia instabilidade sobre o momento de transição. Calcula-se que após o forte evento de ENOS, durante a transição que se seguiu de um regime árido para um moderadamente úmido, a densidade de drenagem, a taxa de escoamento e a produção de sedimentos foram acentuadas até atingir seu novo patamar de equilíbrio (figura 21).

Tais modificações foram expressamente encontradas nesse período histórico sobre a área de estudo.

Ambientes Fortemente Instáveis: Notou-se um aumento de solo exposto sobre a área de contato urbano-rural e fragmentação da cobertura vegetal, concentrando-se, sobretudo, em área ripária. A associação entre espécies vegetais e cursos d'água neste período, possui íntima relação à construção de inúmeras barragens, com o objetivo de armazenagem de água (Figura 22).

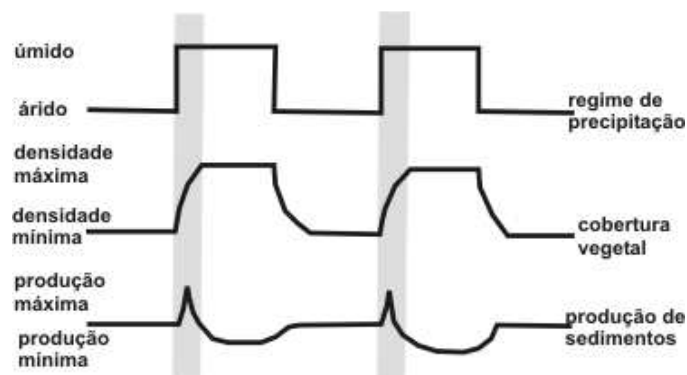


Figura 21: Modelo de *Mudanças Episódicas em sistemas fluviais* proposto por Knox (1972) apud Christofolletti (1999), no qual os episódios relacionados à alta produção de sedimentos podem estar ligados com a mudança no regime de precipitação.

Ambientes que, anteriormente eram considerados com moderadamente estável-instável passaram à categoria de altamente instáveis, devido principalmente à ausência de cobertura vegetal, seja natural ou cultivada. A formação de áreas com propensão à erosão laminar tornou-se ubíqua nesse momento histórico.

Outro fator agravante está relacionado à expansão urbana, presente agora sobre quase todo o patamar erosivo de cimeira e próxima às áreas de ruptura de declividade. Este movimento expansionista repercutiu sobre a área desencadeando os primeiros grandes problemas ambientais de Garanhuns (Fotos 14 e 15). Dentro das categorias morfodinâmicas, estas áreas apresentam forte instabilidade. Destacadas pela associação de instalação incipiente de infra-estrutura, com a conseqüente exposição de solo, e proximidade às altas declividades, estas áreas propiciaram a formação de novos pontos de ruptura ou *knckpoints*.

Ambientes Moderadamente Instáveis: Áreas relativas à produção agropecuária (policultura permanente e pecuária extensiva), com algum tipo de cobertura vegetal, enquadram-se na categoria de média instabilidade. Porém, nota-se que quase sempre essas áreas são acompanhadas por pequenas manchas de solo exposto com propensão à erosão laminar. Podendo em certos casos se enquadrar na categoria de áreas fortemente instáveis, pela variação de declividade.

Ambientes de Fraca Instabilidade: A fraca proteção de cobertura vegetal existente nesse período reduz sensivelmente a ocorrência de ambientes com fraca instabilidade. Calcula-se que estes ambientes estejam limitados pelas áreas devidamente urbanizadas (equipadas de forte infra-estrutura, porém de difícil identificação apenas pela fotografia aérea) e as pequenas áreas verdes de vegetação mais densa, como ocorre a NW da área urbana.



Foto 14: Fotografia aérea do setor SW de expansão urbana no ano de 1982. A linha vermelha destaca as cabeceiras de drenagem sem cobertura vegetal (à direita da linha) e formação de erosão em sulco sobre vertentes íngremes (à esquerda da linha). O contorno lilás destacado corresponde às áreas de expansão urbana. As setas indicam o sentido do fluxo superficial. (Fonte: FUNTEPE. Licença de voo: 183/82 – Projeto 099/82 Região subaérea 2. Agreste Meridional. Escala 1:25.000, faixa 17 A, 1982)

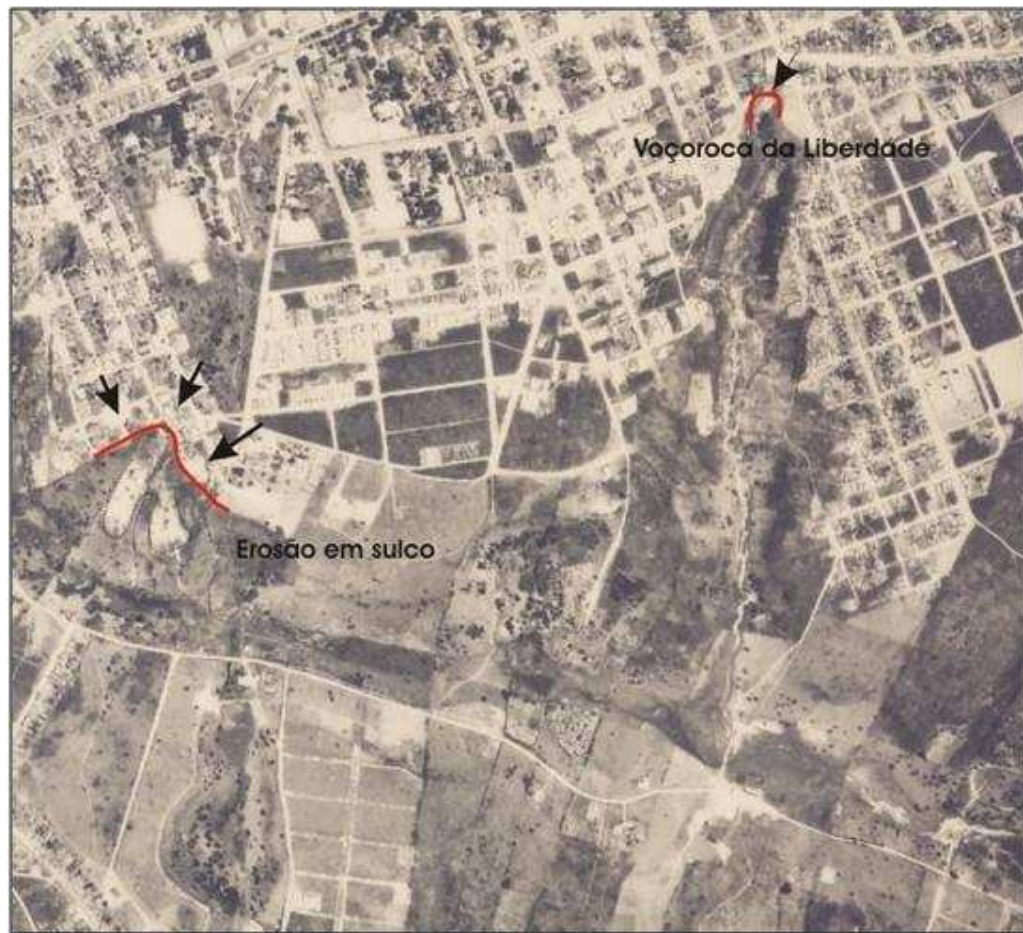


Foto 15: Fotografia aérea em área urbanizada com problemas de erosão, localizada no Vale do Riacho Rua Nova e drenagens tributárias. A primeira área, destacada à esquerda, apresenta um processo complexo de movimento de massa (*slides*), com formação de um leque de dejeção logo a jusante da linha vermelha. Consecutivamente ocorre a formação de erosão em sulco na área central do leque e lateralmente. À direita (sentido NE) destaca-se a Voçoroca da Liberdade. A retirada da cobertura vegetal da área de cabeceira de drenagem, pelo crescimento urbano é considerada como a principal causa de reativação erosiva da área. Lateralmente sobre as encostas retilíneas nota-se também uma tendência de erosão em ravinamento (Fonte: FUNTEPE. Licença de voo: 183/82 – Projeto 099/82 Região subaérea 2. Agreste Meridional. Escala 1:25.000, faixa 17 A, 1982).

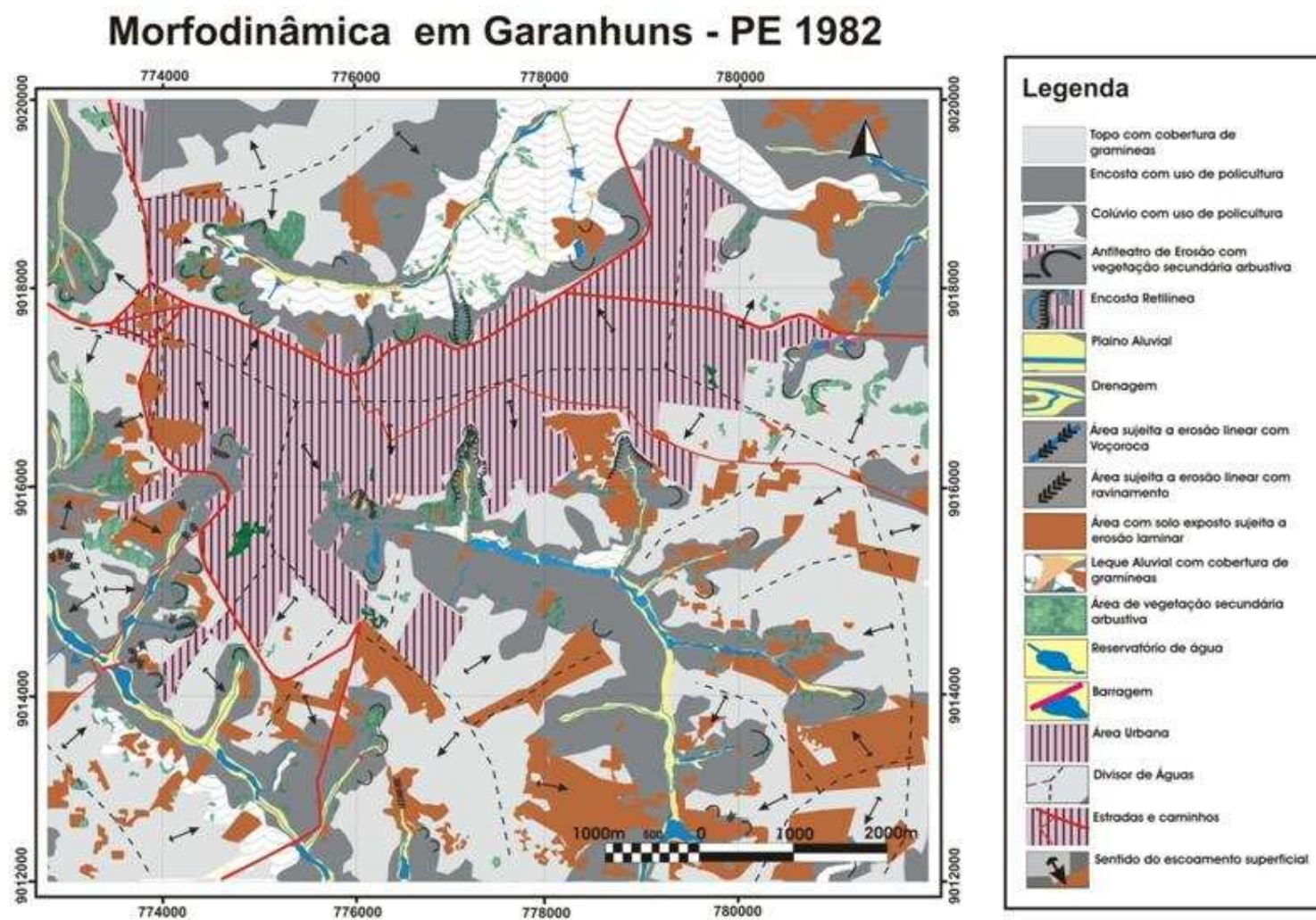


Figura 22: Mapa Morfodinâmico de 1982. (Autora: Renata Nunes Azambuja).

8.1.3- 2006: Problemas Ambientais e Planejamento Urbano

O interstício de 24 anos configurou-se em um complexo mosaico de arranjos morfodinâmicos para a área de Garanhuns. Após dois grandes episódios de ENOS nos anos de 1982-83 e 1997-99, a tendência de precipitação sofreu sensível aumento, sobretudo nos anos de 2002, 2004 e 2005. Este movimento de mudanças de signos sazonais e rápidas mudanças climáticas têm refletido em modificações no padrão de comportamento da geomorfologia processual local.

Apesar do movimento de expansão de áreas verdes sobre as encostas (Figura 23) não ocorreram modificações quanto ao redirecionamento de habitações em áreas de alto risco para áreas menos instáveis. Esse fato é demonstrado pelo contínuo descumprimento do código florestal.

Ambientes Fortemente Instáveis: As modificações globais de circulação atmosférica também têm colaborado para a intensificação da produção de sedimento. Problemas relacionados a movimentos de massa e erosão linear são ubíquos no entorno da mancha urbana. O possível aumento desta taxa provocou modificações irreversíveis na morfologia da paisagem.

Devido ao caráter de intermitência dos cursos de água e o alto aporte de sedimentos, as áreas de várzea apresentam-se atualmente inteiramente colmatadas por sedimentos alúvio-coluvionares. Como essas são áreas de interesse especial sob os códigos ambientais, deve-se salientar que a sua permanência como tal necessita ser mantida e cumprida. A caracterização morfodinâmica deste tipo de ambiente é de alta instabilidade, ou seja, facilmente erodível, devido à inconsolidação de seus depósitos recentes e sub-recentes (Foto 16).



Foto 16: Vista atual do Bairro COHAB I sobre o vale do Riacho Pau Amarelo. O fundo de várzea e terraço se encontra colmatados por sedimentação aluvio-coluvial sub-recente. Sobre as vertentes ocorreu expansão de vegetação secundária arbustiva (Coordenadas UTM: 0778669 S / 9016318 W, 871 m de altitude).

Cerca de 85% das áreas mapeadas com exposição de solo, estão relacionadas à atividade de policultura. Isso significa dizer que este tipo de atividade, ainda proporciona ao ambiente instabilidade, quando em áreas baixas e, forte instabilidade quando relacionado às altas declividades. (Foto 17). Os outros tipos de uso do solo dentro dessa classe morfodinâmica ocorrem sob áreas de pastagem e de expansão urbana.

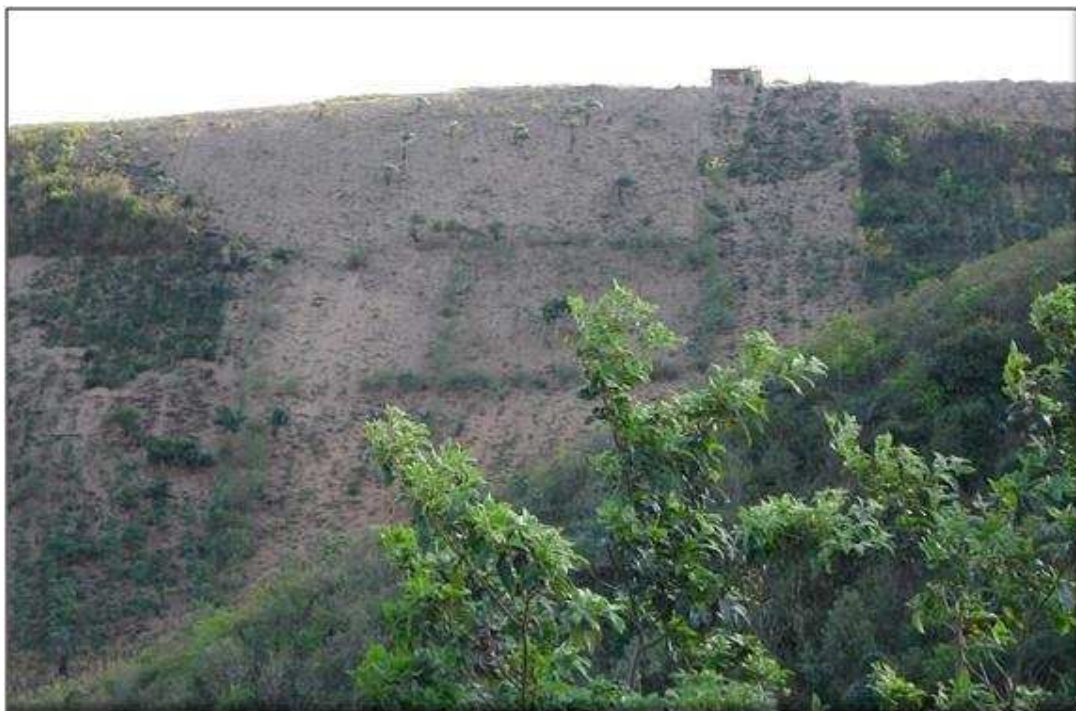


Foto 17: Vista de uma vertente retilínea com uso para agricultura. A relação entre: declividade, arranjo da cobertura vegetal e uso do solo conferem a tais ambientes, alta instabilidade (Coordenadas UTM 0778669 S / 9016318 W, 871 m de altitude).

Embora ainda existam problemas relacionados ao uso de solo rural, as áreas de entorno urbano são tidas como as mais vulneráveis no Município de Garanhuns. A complexa relação entre os elementos físicos da paisagem e a ação antrópica definem esse ambiente como altamente instável.

Tais problemas se deram de forma lenta e progressiva, e possuem íntima relação com a tomada de decisões por parte do poder público. Soluções rápidas e pouco planejadas têm refletido em uma expansão urbana de baixa infra-estrutura e problemática do ponto de vista ambiental. Em quase todos os casos analisados, as áreas de expansão compõem-se de construções regulares, coordenadas pela prefeitura. Casos como a permissão para construção regular de um edifício a menos de 50 metros de uma voçoroca aterrada demonstra o total descaso quanto à regulação e prevenção de riscos geomorfológicos em área urbana (foto 18).



Foto 18: Borda da Voçoroca da Liberdade no Bairro de Heliópolis, sobre um trecho no qual a mesma sofreu aterramento. Ao fundo avista-se um edifício de dois andares sendo construído a menos de 50 metros da área de cabeceira e ruptura de declive (Coordenadas UTM 0777453 S / 9016744 W , 860 m de altitude).

Ambientes Moderadamente Instáveis: Transformações relacionadas à pecuária extensiva de corte e o crescimento da pecuária leiteira, de certo, favoreceram a expansão de áreas de pastagem, sendo estas consideradas atualmente como áreas de média estabilidade na posição de topo da paisagem e, média instabilidade em áreas de declive, com a formação de terracetes de pisoteamento (Foto 19).

Ambientes de Fraca Instabilidade: São considerados como ambiente de fraca instabilidade áreas altamente urbanizadas ou que possuem cobertura vegetal sobre baixas declividades, cenário este, que quase inexiste atualmente sobre a área de estudo.



Foto 19: Formação de *terraces de pisoteamento* em área de pecuária bovina sob alta declividade (Coordenadas UTM: 0776513 S / 9018180 W, 791 m de altitude).

Apesar do crescimento de áreas verdes no entorno do perímetro urbano, como comentado anteriormente, tais ambientes nem sempre podem ser identificados como de fraca instabilidade. A constatação se dá através da simples observação *in loco*. As áreas fontes de fluxo superficial concentrado (cabeceiras) permanecem ainda, sem proteção, seja por adequação da infra-estrutura de drenagem de águas servidas e pluviais, seja por cobertura vegetal. Portanto, qualquer medida que seja tomada em função da recuperação ou reflorestamento deste tipo de ambiente, se não considerar o 'sistema ambiente', de forma completa, nunca atingirá seu objetivo. Estipula-se que, enquanto esse tipo de conduta permanecer sobre a administração de áreas vulneráveis, os problemas geomorfológicos tornar-se-ão cada vez mais de difícil solução, tendo em vista sua magnitude espacial no entorno da área urbana de expansão (Foto 20).



Foto 20: Erosão em voçoroca sobre encostas retilíneas (Zona de Preservação Rigorosa - ZPR) na BR 423, saída oeste de Garanhuns. Expansão urbana irregular sem infra-estrutura. Mesmo com a realização de obras de recuperação da pista, sobre a área de cabeceira de drenagem, o problema persiste a jusante, com a existência de uma grande incisão. Coordenada UTM 0775267 S/ 9018890 W, 892 m de altitude).

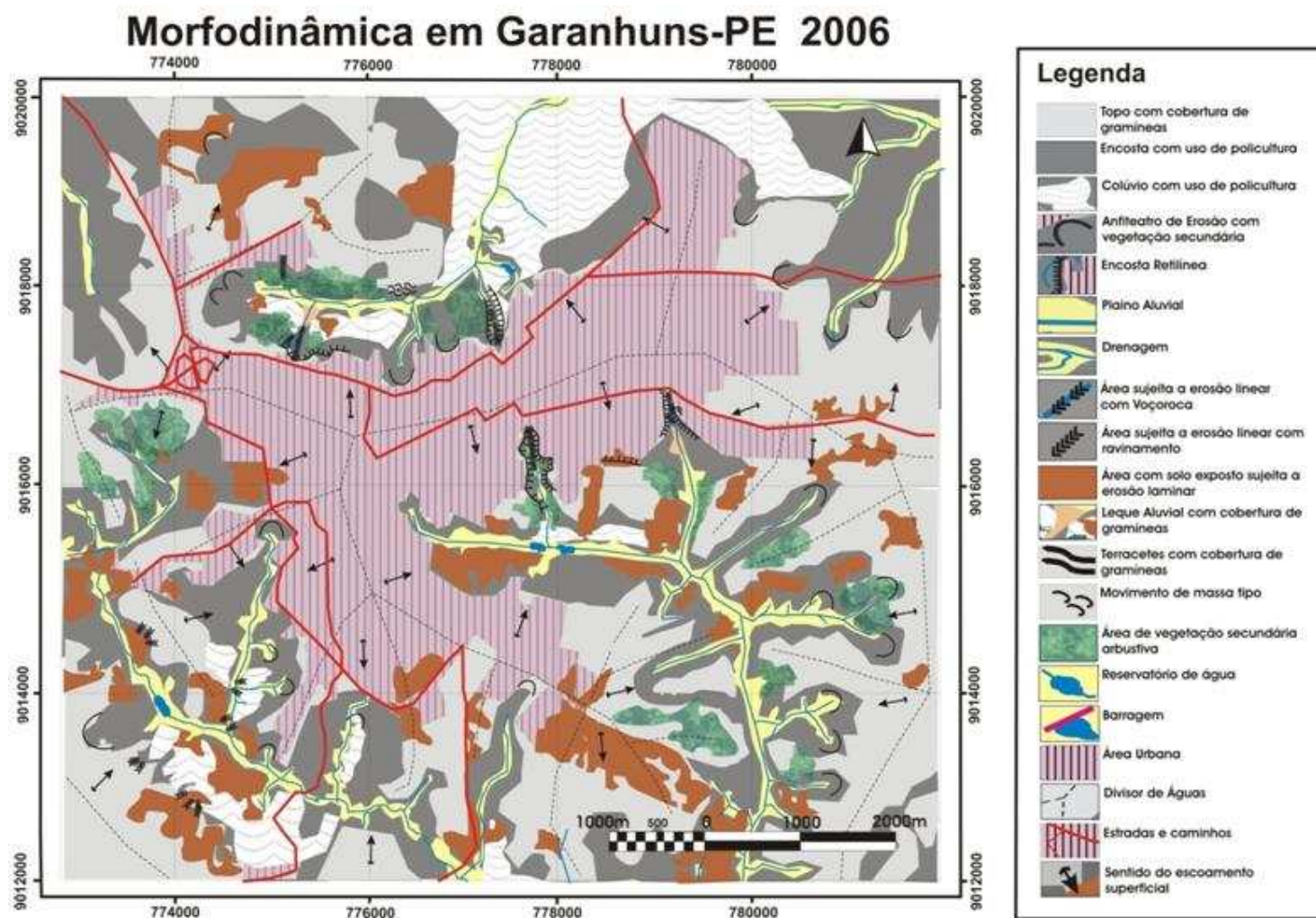


Figura 23: Mapa morfodinâmico de 2006 (Autora: Renata Nunes Azambuja).

8.2 O estudo evolutivo da voçoroca localizada na BR-423

Sobre o ponto de vista da erodibilidade das chuvas em relação à evolução das encostas, a voçoroca da BR 423 é o caso mais ilustrativo de um processo geomorfológico em plena vigência. A interposição de diversas camadas categóricas, no espaço e tempo, ora exposto pelo mapeamento morfodinâmico, demonstram que um dos pontos de maior vulnerabilidade localizados em Garanhuns não tem recebido atenção devida, sobretudo por parte dos organismos responsáveis pelo planejamento urbano e manutenção das vias.

Evidências de modificação sobre o padrão hidrológico em nível local foram observadas, sobretudo ao longo da porção basal da voçoroca, onde está localizado o eixo deposicional dos sedimentos provenientes da encosta.

Em primeira instância, o recuo da encosta provocado pela remoção da cobertura vegetal, nos últimos 25 anos, tem fornecido grandes quantidades de sedimentos para o fundo do vale, onde se encontra o Riacho São Vicente. Porém, como os fluxos superficiais não possuem competência suficiente para a evacuação desta descarga de sedimentos, os mesmos têm sofrido curto transporte, evidenciado pela textura superficial das partículas depositadas na baixa encosta e ainda pelo moderado grau de retrabalhamento dos grãos (maiores porcentagens entre sub-angulosos e sub-arredondados).

Através da análise de campo e do mapeamento morfodinâmico realizado neste trabalho, algumas relações foram tecidas a respeito da ocorrência de voçorocas sobre o perímetro urbano de Garanhuns. Em uma primeira generalização foi identificada uma série de paleo-feições em setores superiores das encostas. Estas feições, aparentemente estáveis ou mesmo reativadas pela mudança de condicionantes ambientais, podem ser classificadas de acordo com Oliveira e Meis (1985) como incisões desconectadas da rede de drenagem, além é claro das incisões conectadas. Em um caso mais complexo, onde grandes incisões erosivas ocupam longitudinalmente o conjunto de encosta, existe a

hipótese de que estas são resultantes da integração das duas anteriores. Acredita-se que este modelo proposto possa ter fundamento na formação e desenvolvimento da voçoroca localizada sobre a BR-423 na área urbana de Garanhuns.

Em trabalho sobre integração de canais em área de cabeceira de drenagem, monitorado por 12 anos, Oliveira (1996) concluiu que, ao mesmo tempo em que a incisão desconectada evoluiu a montante e formou um leque de dejeção a jusante, a incisão conectada a rede de drenagem expandiu-se a montante linearmente (por 83,15 metros). O mecanismo de regressão desenvolvido pela incisão conectada, neste caso, possui relação direta com a dissecação linear dos fluxos superficiais originados na incisão desconectada na cabeceira de drenagem.

Apesar da existência de algumas condições particulares à área de estudo, o modelo de Oliveira e Meis (1985) possui uma boa aplicação para o estudo de caso da voçoroca da BR-423. Sendo assim, baseado nos resultados da análise sedimentológica e análise das propriedades dos solos e depósitos sedimentares foi realizada a esquematização de eventuais modificações sobre a geomorfologia da área em decorrência de variações de processos atuantes.

De acordo com o esquema evolutivo (Figura 24 e 25) ocorreram mudanças significativas em cinco estágios diferenciados em termos de processos superficiais e sub-superficiais.

Partindo do estágio I (Figura 24), verifica-se a manutenção de certo equilíbrio sobre o ambiente de encosta. A cobertura vegetal ocupa toda área de maior suscetibilidade, mantendo estabilizada uma paleo-feição erosiva, caracterizada por uma suave linha de drenagem de primeira ordem. O impacto da gota de chuva e o fenômeno do *splash* são pouco eficientes neste primeiro momento, sobretudo para o destacamento de partículas e compactação do solo. Sobre as baixas encostas, ou pedimentos a atividade antrópica já se faz sentir, pela substituição de vegetação de porte arbóreo para gramíneas de pastagem. A incisão de uma linha de drenagem bem marcada sobre a área

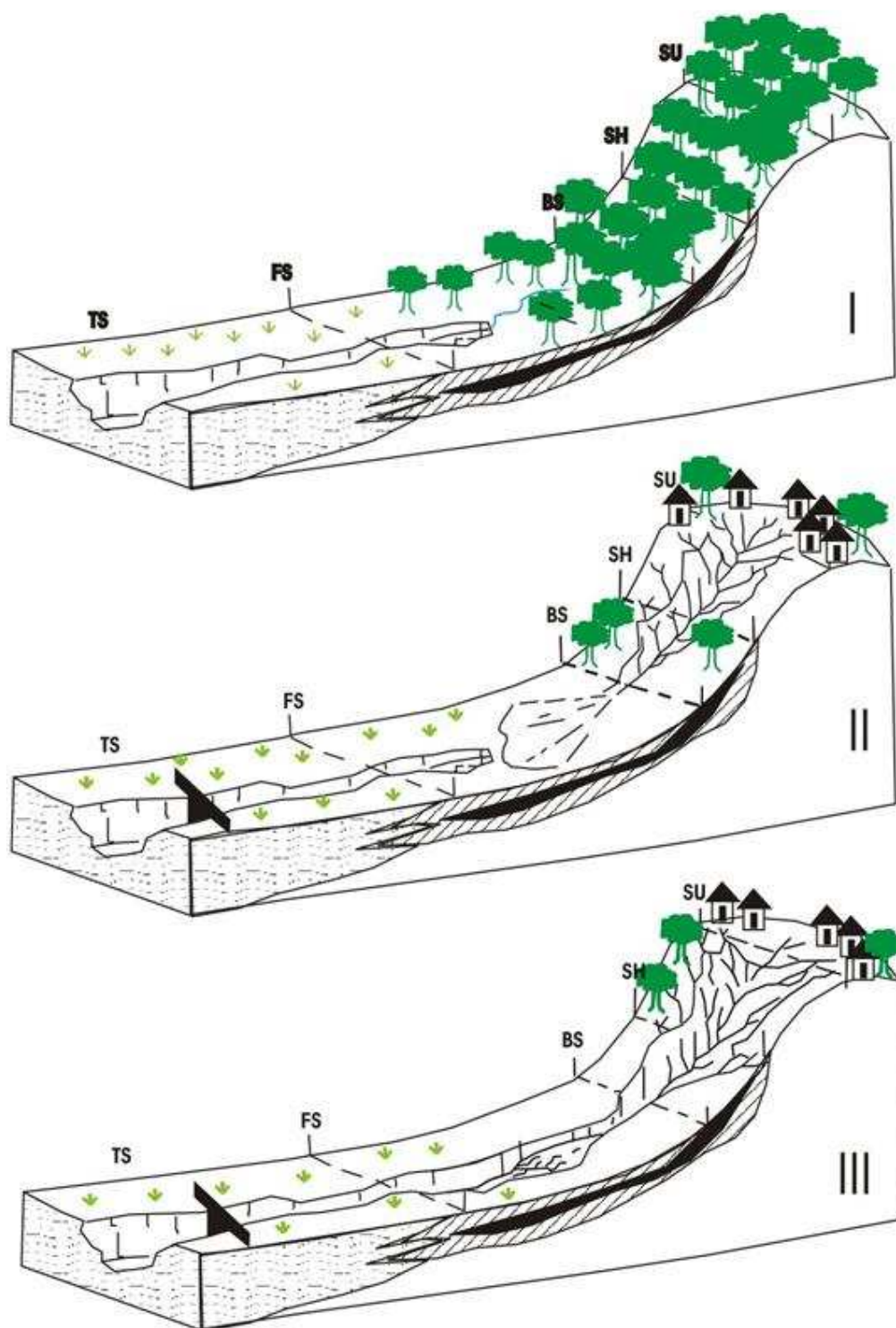


Figura 24: Momentos I, II e III para o Modelo evolutivo sobre a voçoroca da BR-423 na área urbana de Garanhuns. A divisão da encosta é realizada pela compartimentação geométrica, como proposto por Ruhe (1974), sendo TS – *toeslope*; FS *footslope*; BS – *backslope*; SH – *shoulder*; SU – *summit*. Adaptado de Oliveira e Meis (1985).

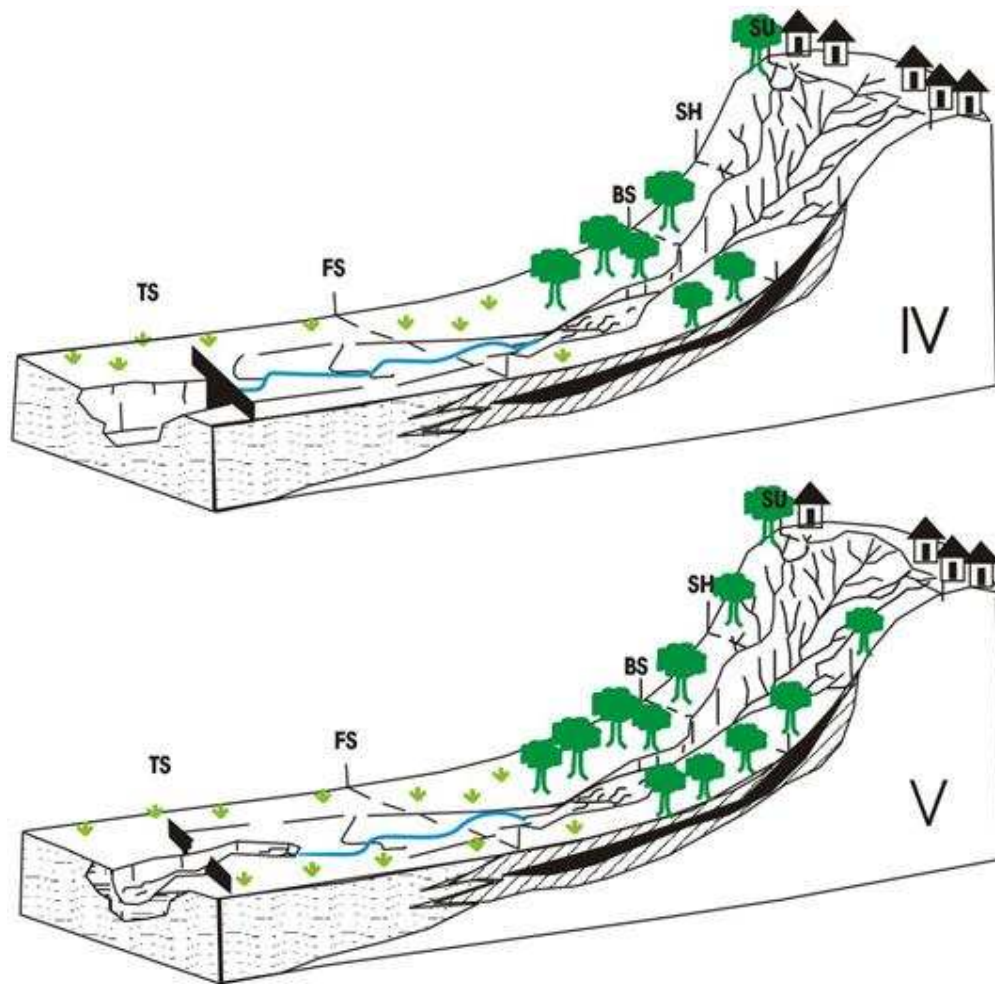


Figura 25: Momentos IV e V para o Modelo evolutivo sobre a voçoroca da BR-423 na área urbana de Garanhuns.

plana, favoreceu a construção de uma pequena barragem, impedindo a livre circulação do material transportado pela drenagem. Acredita-se que este momento de estabilidade da encosta tenha ocorrido até meados da década de 70 e 80, quando se inicia o processo de rápida expansão urbana (Figura 26).

No momento II a retirada de cobertura vegetal da área de cabeceira de drenagem expôs os solos à maior atuação dos agentes erosivos. Sobre o ambiente de encosta a condição de grande destacamento e baixo transporte dos sedimentos foi favorecida. Além do fornecimento de partículas para fora da zona de impacto, o efeito do *splash* pôde

causar a desagregação das partículas, promovendo por sua vez, o preenchendo dos micro-poros existentes e ocasionando a selagem da superfície. Com efeito, a selagem do solo reduziu a capacidade de infiltração e o incremento do escoamento superficial. De acordo com Selby (1994) o processo de selagem do solo depende fortemente das características físicas do solo e ainda, da energia do impacto da gota de chuva. Aplicando-se às características do perfil CVG, a considerável proporção de partículas do tamanho silte aliado a inclinação da encosta facilitou o destacamento e transporte dos sedimentos.



Figura 26: Estabilidade da encosta e em momento intermediário de evolução. (1) configuração do canal de drenagem conectado a rede de drenagem em 1965; (2) Relações antrópicas responsáveis pela modificação pelo início da desestabilização do meio ambiente em 1982.

A frequência de eventos pluviométricos intensos, sobre estas encostas desprotegidas converteu a situação para um baixo destacamento e alto transporte das partículas do solo.

O escoamento difuso ao divergir para as micro depressões do terreno converteu-se rapidamente em fluxo concentrado dando origem ao ravinamento da área em questão (Figura 24 n.II). A construção de casas próxima à linha de ruptura de declividade contribuiu fundamentalmente (pelo fornecimento de águas servidas) para o surgimento de

outros fluxos convergentes com o a incisão principal, aumentando a profundidade do canal. O material coluvial, transportado em momentos de tempestades ou mesmos pelo fluxo contínuo nas estações chuvosas, foi progressivamente sendo depositado sobre o sopé da encosta formando um cone de dejeção. Sobre a incisão conectada à rede de drenagem, movimentos lentos de massa, provocados pela ação do *creeping* ou rastejamento, forneceram quantidades suficientes de sedimentos para a formação de pequenas rupturas de declividade dentro da incisão. Em consequência, houve um aumento na atuação dinâmica da erosão linear em nível local. Acredita-se que este patamar crítico de estabilidade tenha sido atingido entre meados da década de 80 e 90.

A atuação de um complexo sistema envolvido na modificação da geometria do relevo no terceiro momento (Figura 24 n.III) gerou o aprofundamento na incisão do canal desconectado e o solapamento de base da encosta. Na medida em que progressivamente a incisão desconectada fornecia sedimentos para formação do cone de dejeção, o material depositado, pouco coeso, sobre a atuação de fluxos superficiais e subsuperficial promoveu uma interação sinérgica, intensificando o processo de erosão linear.

Segundo Oliveira (1999) processos de liquefação por afloramento do lençol freático associado ao escoamento superficial sobre as bordas de degraus construídos, pode provocar a formação de alcovas de regressão sobre o compartimento de meia encosta (*Transportational midslope*). Por outro lado, a atuação de fluxos supercríticos sobre as bordas da incisão, tende a provocar a dissecação dos sulcos ou ravinas, alargando a incisão, favorecendo a evolução para uma voçoroca. Outro mecanismo que pode estar atuando sobre a incisão é resultante da queda d'água. Lâminas de água de descargas menores, que escorrem ao longo da parede de incisão, tendem a dissipar-se a jusante dando origem ao que Oliveira (op.cit.) denominou por filetes subverticais de escoamento difuso. A infiltração de tais filetes sobre o sopé da encosta é responsável pela esculturação de alcovas de regressão, ao passo que, sobre a atuação de uma série

de eventos chuvosos, as mesmas podem causar desmoronamentos periódicos, contribuindo para a extensão da incisão a montante.

A ocorrência de união entre os dois canais com o avanço da erosão linear a montante tendeu a construir vários degraus de ruptura, mantendo a erosão regressiva ativa. No entanto, a construção da barragem sobre a planície aluvial, passou a exercer controle sobre o balanço de sedimentação em nível local. Grande quantidade de sedimentos foi continuamente retida iniciando um processo de colmatação do canal.

Nos últimos anos a área em questão (Figura 25 n. IV), antes considerada como uma cabeceira de drenagem de primeira ordem intermitente tem funcionado como um dos principais contribuintes da micro-bacia do Riacho São Vicente. O fluxo perene de águas servidas tem conferido para área uma maior taxa de saturação dos solos a jusante da cabeceira de drenagem. Processos de fluidização podem estar ocorrendo sobre a base da voçoroca, fornecendo grande quantidade de fluxos de alta viscosidade para o eixo deposicional dos baixos pedimentos. O processo de fluidização, segundo Allen (1994), ocorre através do empilhamento das partículas em estado de equilíbrio metaestável sobre a ação de um fluido. Este fluido permite que as partículas individuais experimentem um empuxo para cima, contrabalançado pelos seus pesos individuais. Ao passo que, qualquer aumento suplementar sobre o empuxo provocará o desprendimento das partículas individuais, anulando por seguinte as forças de atrito e determinando uma pequena expansão da camada afetada. O fluido depositado rapidamente deu origem a um empacotamento frouxo dos sedimentos na porção do leque aluvio-coluvial que, pela atuação dos fluxos laminares perenes sofreu uma retirada progressiva do material de fração $<62\mu\text{m}$, elevando a textura dos depósitos. Como resultado, a grande produção de sedimentos a jusante da voçoroca proporcionou a completa colmatação da barragem construída transversalmente sobre a incisão conectada a rede de drenagem.

Após a ocorrência do progressivo processo de reajustamento da geometria da encosta aos fatores de ordem externa, o período que se estendeu de janeiro a julho de

2004, foi decisivamente importante sobre a evolução da geomorfologia da área. A ocorrência de eventos chuvosos, sucessivos, de alta energia provocou a expansão à montante da incisão sobre a área de cabeceira, e ainda, o rompimento da barragem a jusante. O alargamento e aprofundamento da voçoroca foram sentidos pela população circunvizinha e pela própria população de Garanhuns, sobretudo, pela destruição de metade da pista localizada na BR-423 (Figura 25 n.V). No momento atual, a barragem anteriormente colmatada, com o seu rompimento transformou-se em um novo *knickpoint*, redinamizando a área de deposição, e conseqüentemente, provocando em micro-escala a inversão do relevo.

A análise do novo leque formado pela redinamização da área deposicional, não foi considerado nesta presente análise através de amostragem, porém, percebe-se que ocorre uma mudança de textura após a posição terminal da barragem. O movimento de erosão laminar bem definido sobre o leque tem proporcionado a retirada quase total do material terrígeno $<62\mu\text{m}$, como foi observado na análise granulométrica de LQG. No entanto, devido ao caráter de drenagem “intermitente”, já que o Riacho São Vicente foi completamente assoreado, o material de textura mais fina tende a depositar-se imediatamente após a barragem (Fotos 21 e 22).

A partir do delineamento dos processos responsáveis pela transformação da paisagem, percebe-se em Garanhuns, um movimento cíclico da atuação dos agentes externos provocando, por conseguinte, alterações profundas na estrutura interna do relevo. Se não observadas a tempo, tornar-se-ão irreversíveis no controle do balanço denudacional.



Foto 21: Antigo nível de base localizado sobre a barragem rompida, no qual os depósitos colúvio-aluviais foram evacuados. Nota-se em micro escala a inversão do relevo, convertendo a área deposicional em nova área fonte.

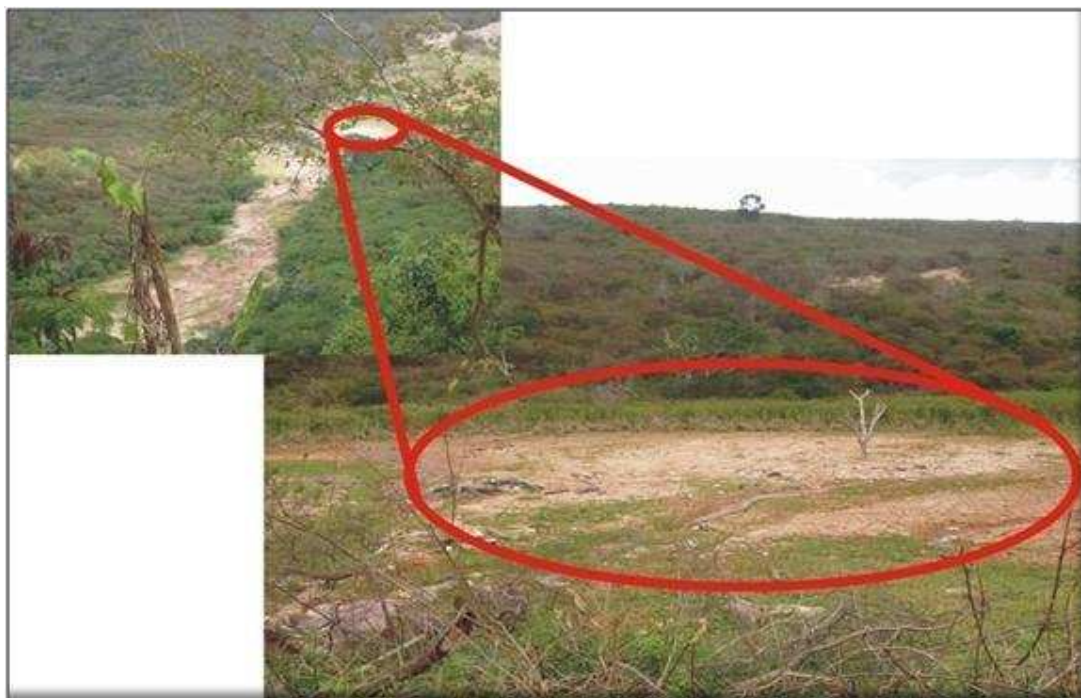


Foto 22: Leque secundário formado imediatamente após a barragem rompida.

CONCLUSÃO

O desafio da realização de um desenvolvimento sustentável sobre a modelagem econômica regional, cada vez mais tem se apoiado na aquisição de conhecimentos precisos dos sistemas geográficos. A compreensão e modelagem dos mecanismos interativos dos sistemas ambientais têm como objetivos principais, dar suporte e potencializar as atividades sócio-econômicas. Através do estudo realizado, pôde-se constatar que as tendências de mudanças ambientais progressivamente têm refletido o cenário de expansão territorial, exploração dos recursos naturais e principalmente o uso inadequado do solo.

Ainda que o tempo de reação apresentado pela sensibilidade da paisagem freqüentemente possa ser definido por intervalos de eventos de magnitude relevante, a inserção de práticas antrópicas tem se tornado um forte condicionante na potencialização de tais eventos. Christofolletti (1999) considera que a estabilidade prevalece sobre domínios amplos de sistemas dinâmicos, ainda que pequenos distúrbios possam ocasionar efeitos negativos sobre a instabilidade, como as catástrofes. A subsequente tentativa de auto-reorganização dos sistemas tende a torná-los novamente estáveis, porém em processo evolutivo diferenciado do anterior. Dessa forma, o sistema geomorfológico de Garanhuns tem se comportado de maneira crítica. Ao mesmo tempo em que busca o seu reajustamento, novas entradas de fluxos de matéria e energia, decorrentes da má utilização do solo, provocam novos processos-respostas. De acordo com o modelo de evolução de voçoroca exposto, ocorre em todo contorno urbano de Garanhuns algo semelhante. As altas taxas de produção de sedimentos e a contínua formação de novos pontos de rupturas ou *knickpoints* são responsáveis pela dinâmica contínua dos *inputs* de energia no sistema geomorfológico.

De acordo com a análise efetivada em campo e comprovada em laboratório, a geomorfologia do contorno urbano de Garanhuns, apresenta de forma ubíqua, cicatrizes erosivas, algumas em estado de equilíbrio morfogenético e outras restabelecendo sua dinâmica sob as novas condições hidrodinâmicas que se estabelecem como resposta às mudanças nas formas de uso do solo. Na área em questão a suscetibilidade do relevo esteve freqüentemente relacionada à situação topográfica (compartimentos de encostas), às altas declividades e às atividades antrópicas. Apesar da predominância de incisões erosivas sobre as cabeceiras de drenagem, a produção excessiva de sedimentos relacionada às modificações antrópicas sobre áreas de baixa encosta e de várzea também começam a caracterizar a desestabilização da ação dos agentes morfogenéticos na área.

Um segundo aspecto importante diz respeito ao reconhecimento de Latossolos em processo de “podzolização” nas áreas de cimeira. Levando-se em consideração a maior relação entre silte e areia sobre tais solos, os mesmos possuem maior tendência à erosão, verificada pela baixa resistência dos agregados e microagregados que, em condição de alto destacamento (fortes chuvas) diminuem os espaços intergranulares. O preenchimento dos poros superficiais, por sua vez, tende a potencializar o escoamento superficial nas áreas de cabeceira. Associada a este aspecto, a ausência de cobertura vegetal em áreas de cabeceira de drenagem tem contribuído para o incremento do processo erosivo. Inúmeros estudos em parcelas de solo, como o desenvolvido por Martinez-Mena *et al* (1999) em ambiente semi-árido, tem demonstrado que a vegetação, além de contribuir para a manutenção dos agregados dos solos, pode reduzir em até 50% a erosividade da chuva e em 75% a energia do *runoff*. A manutenção de áreas vegetadas torna-se portanto ponto fundamental para a realização de um planejamento adequado para assentamentos urbanos próximos às áreas de encosta.

Entretanto, somente a manutenção de áreas verdes não seria capaz de reter a produção de sedimento acelerada, já que outros aspectos referentes à instalação de

estruturas urbanas sobre áreas ecologicamente irregulares contribuem significativamente para desestabilização do ambiente. Em se tratando de ambientes naturalmente vulneráveis, a ocupação antrópica sobre áreas de encostas íngremes e anfiteatros de erosão (áreas mais vulneráveis dentro do estudo), vem potencializando as condições de desequilíbrio da paisagem e os riscos de perdas materiais e humanas.

Muito tem se discutido acerca do crescimento das cidades e manutenção do meio ambiente em busca de uma melhor qualidade de vida, sobretudo no que concerne a expansão do uso e ocupação do solo. Apesar do Estatuto das Cidades estabelecer como dever das políticas urbanas estabelecer “*normas de ordem publica e interesse social que regulam o uso da propriedade urbana em prol do bem estar coletivo, da segurança e do bem estar dos cidadãos, bem como do equilíbrio ambiental*” (Brasil, 2001) muitos problemas decorrentes de ações regulamentadas propriamente pelas administrações públicas não tem contribuído para a garantia de bem estar social como um todo.

Assim, o estudo de evolução morfodinâmica da área em apreço, bem como a análise dos fatores intervenientes sobre os processos superficiais da paisagem demonstrou extrema fragilidade do sistema geomorfológico de Garanhuns quando em face às rápidas modificações climáticas e àquelas associadas à ação antrópica. Através do mapeamento morfodinâmico ficou constatado que a adoção de técnicas inadequadas de construção, infra-estrutura deficiente e retirada da cobertura vegetal em áreas de cabeceira tem condicionado o aumento de processos erosivos em nível local. Sendo assim, o reconhecimento dos elementos físicos que caracterizam o terreno e os processos geomorfológicos dominantes, comprova que, estudos morfodinâmicos possuem importante papel na avaliação de áreas afetadas pelo planejamento urbano. Na verdade, estes estudos podem funcionar como mensuradores da qualidade do impacto das práticas de ordenação espacial.

Cabe ao poder público coordenar e controlar, através de planejamento inter-setorial o crescimento urbano e a introdução de novos “estilos de vida”, sobretudo quando antigas áreas rurais se convertem aceleradamente em “novo” solo urbano.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

AB'SABER, A.N. *Um conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o Quaternário*. Instituto de Geografia. USP, 1969, 23p.

ALLEN, J.R.L. Fundamental properties of fluids and their relation to sediment transport processes. In: PYE, K (ed). *Sediment Transport and Depositional Process*. Blackwell Scientific Publications: 1994, p.25-60.

ANDRADE-LIMA, D. Estudos fitogeográficos de Pernambuco. *Arquivos do Instituto de Pesquisas Agronômicas*, Recife, n.2, 1957.

ANDRADE, G. O. Os Climas. In: AZEVEDO, Aroldo de (org.). *BRASIL: A Terra e o Homem por um grupo de geógrafos sob a direção de Aroldo de Azevedo*. V.1 As Bases Físicas. São Paulo: Editora Nacional, 1964.

BEUSELINCK, L.; STEEGEN, A.; GOVERS, G.; NACHTERGAELE, J.; TAKKEN, I. & POESEN, J. Characteristics of sediment deposits formed by intense rainfall events in small catchments in the Belgian Loam Belt. *Geomorphology*, 32: 69-82, 2000.

BIGARELLA, J.J.; MOUSINHO, M.R. E SILVA, J.X. Considerações a respeito da evolução das vertentes. *Boletim Paranaense de Geografia*, 16/17: 85-116, 1965.

BRADY, N.C. *Natureza e Propriedades dos Solos*. 9ª ed. Londres: Macmillan Publishing Company, 1989.

BRASIL. *Lei n. 4771, de 15 de Setembro de 1965*. Novo Código Florestal. Casa Civil – Subchefia de Assuntos Jurídicos. Brasília, 2001.

BRASIL. *Lei n. 7.803/89 de 15 de Agosto de 1989*. Altera a redação da Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, e revoga as Leis nº 6.535, de 15 de julho de 1978 e 7.511, de 7 de julho de 1986. Diário Oficial da União, Brasília, 20 de jul. 1989. p. 12025-12026.

BRASIL. *Lei n. 10.257 de 10 de julho de 2001*. Regulamenta os Arts. 182 e 183 da Constituição Federal estabelecem diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Brasília, 2001.

CASSETI, C. *Geomorfologia*. 2006. (Acesso em: www.funape.org.br/geomorfologia)

CAMARGO FILHO, M e BIGARELLA, J.J. Correlação de parâmetros estatísticos de sedimentos de vertente, rampas de colúvio-alúvio e terraços de várzea da bacia das Bananas - Guarapuava – PR. *Geosul*, v. 14, p. 438-442, 1998.

CAVALCANTI, A. L. *História de Garanhuns*. 2ª Edição. Recife: FIAM/Centro de Estudos de História Municipal, 1983.

CHORLEY, R.J. Geomorphology and general systems theory. U. S. *Geological Survey, Professional Paper* 500-B, 1962. In: *Notícias Geomorfológicas*, 11 (21): 3-22, 1971.

CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia*. São Paulo: Edgard Blücher, 1974, 144 p.

CHRISTOFOLETTI, A. variabilidade espacial e temporal da densidade de drenagem. *Notícias Geomorfológicas*, 21 (42): 3-22, 1981.

CHRISTOFOLETTI, A. *Modelagem de Sistemas Ambientais*. São Paulo: Edgard Blücher, 1999. 236 p.

CHRISTOFOLETTI, A. & FILIZOLA, H.F. Procedimentos expeditos para cálculo de densidade de drenagem. *Boletim Geográfico*, 36 (256): 96-104, 1978.

CPRM - COMPANHIA DE RECURSOS MINERAIS. Governo do Estado de Pernambuco. *Geologia e Recursos Minerais do Estado de Pernambuco*. Recife: CPRM, 2001.

CONTI, J.B. Resgatando a Fisiologia da Paisagem. *Revista do Departamento de Geografia*, 14: 59-68, 2000.

CORREA, A.C.B. *Mapeamento Geomorfológico de Detalhe do maciço da Baixa Verde – Estudo da relação entre a distribuição dos sistemas Geoambientais e Compartimentação Geomorfológica*. Recife, 1997, 182p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

CORREA, A.C.B. *Dinâmica geomorfológica dos compartimentos elevados do Planalto da Borborema, Nordeste do Brasil*. Rio Claro, 2001. 386p. Tese (Doutorado em Geografia), UNESP – Rio Claro, Rio Claro.

COSTA FILHO, A. *Estudo Geológico da Folha Garanhuns- PE- Área D*. Recife, 1978. 112 p. Relatório de Graduação (Monografia em Geologia), Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

CURI, N.; LARACH, J.O.I.; KÄMPF, N.; MONIZ, A.C., e FONTES, L.E.T. *Vocabulário de Ciência do solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*. Campinas, 1993, 90p.

CZAJKA, W. Estudos Geomorfológicos do Nordeste Brasileiro. *Revista Brasileira de Geografia*. Rio de Janeiro: 20 (2): 135-180, 1959.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. *Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos*. Brasília: SPI, 1999.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2001. 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. *Levantamento de Baixa e Média Intensidade de solos do Estado de Pernambuco*. Recife, 2002. Acesso em 10/02/06: <http://www.cnps.embrapa.br/zapenet/index.html>.

ERHART, H. A Teoria Bio-Resistásica e os Problemas Biogeográficos e Paleobiológicos. In: *Notícias Geomorfológicas*. Campinas: n.11, p. 51-58, 1966. Transcrito dos C.R. Som. des Sceances de la Societé de Biogeographie, XXXIII année, 278: 45-53, 1956.

GALE, S.J. & HOARE, P.G. *Quaternary Sediments: Petrographic Methods for the Study of Ulithified Rocks*. Londres: Bethaven Press, 1991, 318 p.

GERRARD, John. *Soil Geomorphology: An Integration of Pedology and Geomorphology*. London: Chapman & Hall, 1995, 269p.

GRAHAM, J. Collection and analysis of field data. In: TUCKER, M. *Techniques in Sedimentology*. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1988, p. 8-17.

GUERRA, A.J.T. O início do processo erosivo. In: GUERRA, A.J.T.; SILVA, A.S. e BOTELHO, R.G.M. (eds.) *Erosão e Conservação dos Solos: Conceitos , temas e Aplicações*. Bertrand Brasil : Rio de Janeiro, 1999, p.16-55.

GUERRA, A.J.T. Processos erosivos nas encostas. In: GUERRA, A.J.T. e CUNHA, S.B. (eds.). *Geomorfologia uma atualização de bases e conceitos*. Bertrand Brasil: Rio de Janeiro, 3ª edição, 1998, p. 149-209.

FARENHORST, A. e BRYAN, R.B. Particle size distribution of sediment transport by shallow flow. *Catena*. 25: 47-62, 1995.

FARRES, P. The role of time and aggregate size in the crusting process. *Earth Surface Processes*. 3: 243-254, 1978.

FREITAS, C.G.L.; BRAGA, T.O.; BITAR, O.Y. & FARAH, F. *HABITAÇÃO E MEIO AMBIENTE – Abordagem integrada em empreendimentos de interesse social*. Coleção Habitare. São Paulo: IPT, 2001, 227p.

FULLEN, M.A. Soil organic matter and erosion processes on arable loamy sand soils in the west midlands of England. *Soil Technology*, 4: 19-31, 1991.

HIRUMA, S.T. & PONÇANO, W.L. Densidade de drenagem e sua relação com fatores geomorfo-pedológico Na área do alto Rio Prado, Sp e MG. *Rev. Bras. Geologia*. 15 (1/2): 49-57, 1994.

HIRUMA, S.T. *Neotectônica no Planalto de Campos do Jordão, SP*. São Paulo, 1999, 102p. Dissertação (Mestrado), Universidade de São Paulo, São Paulo.

HORTON, R. E. Erosional development of Streams and their drainage basins: Hydrophysical approach to quantitative morphology. *Bulletin of the Geological Society of America*, 56 (2): 275-370, 1945.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Produção Pecuária e Agrícola Municipal 2003*. Perfil dos municípios Brasileiros, Garanhuns-PE. Acesso em 02/03/06: <http://www.ibge.gov.br> .

KERTZMAN, F.F.; OLIVEIRA, A. M.S; SALOMÃO, F.X.T & GOUVEIA, M.I.F. Mapa de Erosão do Estado de São Paulo. *Revista do Instituto Geológico*. Volume especial: 31-36, 1995.

KING, L. A Geomorfologia do Brasil Oriental. *Separata da Rev. Brasileira de Geografia*, 2: 1957. 121p

LIBAULT, A. *Os quatro níveis de pesquisa geográfica*. Métodos em Questão, São Paulo, n.1, 1971.

LONGO, R. M.; ESPÍNDOLA, C. A. e RIBEIRO, A. I. Modificações na estabilidade de agregados no solo decorrentes da introdução de pastagem em áreas de Cerrado e Floresta Amazônica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 3 (3): 276-280, 1999.

MARTINEZ-MENA, M.; ROGEL, J.A.; ALBALADEJO, J. & CASTILHO, V.M. Influence of vegetal cover on sediment particle size distribution in natural rainfall conditions in a semiarid environment. *Catena*: 38: 175-190, 1999.

MARTINEZ-MENA, M. CASTILHO, V. e ALBALADEJO, J. Relation between interrill erosion processes and sediment particle size distribution in a semiarid Mediterranean area of SE of Spain. *Geomorphology*. 45: 261-275, 2002.

MABESSONE, J.M. & CASTRO, C. Desenvolvimento do Geomorfológico do Nordeste Brasileiro. *Boletim da Sociedade de Geologia Núcleo Nordestino*. 3: 5-36, 1975.

MCMANUS, J. Grain size determination. In: TUCKER, M. *Techniques in Sedimentology*. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1988, p.63-85.

MODENESI, M.C. Intemperismo e Morfogênese no Planalto de Campos do Jordão. *Revista Brasileira de Geociências*. São Paulo, 10(3): 213-225, 1980.

MODENESI, M.C. Depósitos de Vertente e Evolução Quaternária no Planalto do Itatiaia. *Rev. do Instituto Geológico*. 13 (1): 31-46, 1992.

MODENESI, M.C. & TOLEDO, M.C.M. de. Morfogênese Quaternária e intemperismo: Colúvios do Planalto do Itatiaia. *Rev. do Instituto Geológico*. 14 (1): 43-53, 1993.

MODENESI-GAUTTIERI, M. C. & HIRUMA, S.T. A expansão Urbana no Planalto de Campo dos Jordão. Diagnóstico Geomorfológico para fins de Planejamento. *Rev. do Instituto Geológico*. 25 (1/2): 1-28, 2004.

MOREIRA, C.R.R. & PIRES NETO, A.G. Clima e Relevo. In: OLIVEIRA, A.M.S. & BRITO, S.N.A. (Orgs) *Geologia de Engenharia*. São Paulo: Associação Brasileira de Engenharia, 1998. p 69-85.

NIMER, E. *Climatologia do Brasil*. 2ª ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1989, pp.315-361.

OLIVEIRA, M.A.T. & MEIS. Relações entre geometria do relevo e formas de erosão linear acelerada (Bananal, SP). *Rev. de Geociências*. 4: 87-99, 1985.

OLIVEIRA, M.A.T. Evolução de Voçoroca e integração de canais em áreas de cabeceira de drenagem: modelo conceitual, taxas de erosão e sinergia de mecanismos. *Geosul*, 19/20: 153-182, 1996.

OLIVEIRA, M.A.T. Processos erosivos e preservação de áreas de risco de erosão por voçorocas. In: GUERRA, A.J.T.; SILVA, A.S. e BOTELHO, R.G.M. (eds.) *Erosão e Conservação dos Solos: Conceitos, temas e Aplicações*. Bertrand Brasil : Rio de Janeiro, 1999, p. 57-99.

PALMIERI, F. & LARACH, J.O.I. Pedologia e Geomorfologia. In: GUERRA, A.J.T. & CUNHA, S.B. (orgs.) *Geomorfologia e Meio Ambiente*. 3ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2000, p.59-122.

PEDRO, F. G. & LORANDINI, R. Potencial Natural de Erosão na Área Periurbana de São Carlos – SP. *Revista Brasileira de Cartografia*. 56 (01): 28-33, 2004.

PREFEITURA MUNICIPAL DE GARANHUNS-PE. *Plano de Desenvolvimento Urbano*. Relatório Final, Volume 1. 1978.

PREFEITURA MUNICIPAL DE GARANHUNS-PE. Lei n. 1.831, de 05 de dezembro de 1978. Plano de Desenvolvimento Urbano, dispositivos sobre Divisão Territorial, Uso e Ocupação do Solo e Definição do Sistema Viário Urbano do Município de Garanhuns.

PREFEITURA MUNICIPAL DE GARANHUNS-PE. Lei n. 2.992, de 05 de junho de 2000. Alteração da Lei Municipal n. 1.831/78 no que diz respeito à divisão Territorial, Uso e Ocupação do Solo do Município de Garanhuns.

PREFEITURA MUNICIPAL DE GARANHUNS-PE. *Sistema de Esgotamento Sanitário Bacia do Rio Canhoto*. Projeto Básico, Volume 1. Recife: DB Engenharia, 2004.

PROJETO RADAMBRASIL. *Levantamento de recursos naturais*. Volume 30. Brasil: 1982, 879p.

RIBEIRO, S.C. *Susceptibilidade aos processos erosivos superficiais com base na dinâmica geomorfológica na Microbacia do Rio Granjeiro, Crato-CE*. 2004, 120p. Dissertação (Mestrado em Ciências), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

ROSS, J.L.S. *Geomorfologia: Ambiente e Planejamento*. São Paulo: 8ª ed. Contexto, 2005. 84p.

ROSSI, M. & QUEIROZ NETO, J.P. Relações Solo paisagem em Regiões Tropicais Úmidas o Exemplo da Serra do Mar em São Paulo, Brasil. *Revista do Departamento de Geografia da USP*. 14: 11-23, 2001.

SALOMÃO, F.X.T. & ANTUNES, F.S. Solos In: OLIVEIRA, A.M.S. & BRITO, S.N.A. (Orgs) *Geologia de Engenharia*. São Paulo: Associação Brasileira de Engenharia, 1998, p.87-99.

SANTORO, J. & FULFARO, V.J. Estudo Geotécnico em Boçorocas na Cidade de São Pedro, São Paulo (SP). *Revista do Instituto Geológico*. 17 (1/2): 55-62, 1996.

SELBY, M.J. *Hillslope material and processes*. Oxford: Oxford University Press. 1982, 254 p.

SELBY, M.J. Hillslope sediment transport and deposition. In: PYE, K (ed). *Sediment Transport and Depositional Process*. Blackwell Scientific Publications: 1994, p.61-87.

SILVA, A. S. Análise morfológica dos solos e erosão. In: GUERRA, A.J.T.; SILVA, A.S. e BOTELHO, R.G.M. (eds.) *Erosão e Conservação dos Solos: Conceitos , temas e Aplicações*. Bertrand Brasil : Rio de Janeiro, 1999, p.101-126.

SILVA, D.G.; CORRÊIA, A.C.B.; SOUZA, A.O.; MELO, J.S.; LAMAS, R.C. & NÓBREGA, P.R.C. Contribution to the interpretation the erosive behavior on the hills of Guabiraba, Recife-PE, Northeastern Brazil: Sedimentological analysis of the superficial structure of landscape. *Rev. Sociedade Natureza*, Special Issue: 488-493, 2005.

SILVA, A.S. *Análise Morfológica dos Solos*. In: GUERRA, A.J.T.; SILVA, A.S. e Botelho, R.G.M (eds) *Erosão e Conservação dos Solos*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999, p. 102-126.

STERNBERG, H.Q. Enchentes e movimentos coletivos do solo no vale do Paraíba em dezembro de 1948. Influência de exploração destrutiva das terras. *Revista Brasileira de Geografia*. 11 (2): 67-105, 1949.

SUGUIO, K. *Introdução a sedimentologia*. São Paulo: Edgard Blücher, 1973. 317 p.

TRICART. J. Mise en point: L'évolution des versants. *L'information géographique*. 21: 108-115, 1957.

TRICART, J. *Ecodinâmica*, Rio de Janeiro: FIBGE/SUPREN, 1977, 97p.

Anexos

1. Graus de Fragilidade à Erodibilidade dos Tipos de Solos face ao escoamento superficial das águas pluviais.

Graus de Fragilidade	Tipo de Solos
Fraca (1)	-latossolo, vermelho amarelo, latossolo vermelho escuro - textura argilosa, desenvolvimento litologia de sedimentos argilosos. -latossolo roxo e terra roxa - textura argilosa, desenvolvimento de litologias como gabro, diabásio, basalto.
Média (2)	- podzólicos vermelhos-amarelos – textura média argilosa, desenvolvimento na litologia de granitos, gnaisses e migmatitos em relevo de acentuada declividade. - latossolo vermelho-amarelo – textura média argilosa – desenvolvimento de arenitos finos em associação com argilitos
Forte (3)	- cambissolos – desenvolvimento na litologia de granitos, vertentes com alta declividade ou ainda na litologia de siltitos. - latossolo textura média a arenosa, desenvolvimento na litologia de arenito friável. - areias quartzosas – desenvolvimento de arenitos. - hidromórficos.

Fonte: Ross, Jurandir. Geomorfologia Ambiente e Planejamento. São Paulo: Contexto, 2005.

2. Graus de Proteção dados ao Solo pela cobertura Vegetal face à Ação das águas pluviais.

Graus de Proteção	Tipos de Cobertura Vegetal/Uso da Terra
Forte (1)	- florestas natuaris -florestas cultivadas com diversidade de espécies e vários estratos
Médio (2)	- formações arbustivas naturais abertas com estrato garminoso - formações arbustivas densas de origem secundária (capoeira) - formações naturais ou cultivadas de gramíneas (pastos) - agricultura de ciclo longo de ocupação densa (cacau, banana)
Fraca (3)	- áreas desmatadas recentes - agricultura de ciclo curto (arroz, milho, feijão, soja, trigo). - agricultura de ciclo longo de baixa densidade (café, laranja, pimenta-do-reino).

Fonte: Ross, Jurandir. Geomorfologia Ambiente e Planejamento. São Paulo: Contexto, 2005.