



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**  
**“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”**  
**CAMPUS DE GUARATINGUETÁ**

**RENAN BARBOSA ROSSETTI**

**IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS DE RISCO NA REGIÃO URBANA DO  
MUNICÍPIO DE GUARATINGUETÁ, SP, QUANTO À OCORRÊNCIA DE  
INUNDAÇÕES E PROCESSOS EROSIVOS.**

**Guaratinguetá, SP – Brasil**

**2011**

**RENAN BARBOSA ROSSETTI**

**IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS DE RISCO NA REGIÃO URBANA DO  
MUNICÍPIO DE GUARATINGUETÁ, SP, QUANTO À OCORRÊNCIA DE  
INUNDAÇÕES E PROCESSOS EROSIVOS.**

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Eduardo de Oliveira

**Guaratinguetá, SP – Brasil**

**2011**

Rossetti, Renan Barbosa  
R82 Identificação de áreas de risco na região urbana do município de  
9i Guaratinguetá, SP, quanto à ocorrência de inundações e processos erosivos  
/ Renan Barbosa Rossetti – Guaratinguetá : [s.n], 2011.  
83 f. : il.

Bibliografia : f. 76

Trabalho de Graduação em Engenharia Civil – Universidade  
Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2011.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Eduardo de Oliveira

1. Guaratinguetá (SP) - inundações I. Título

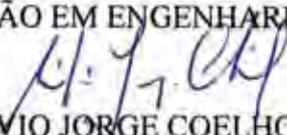
CDU 556.166

**IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS DE RISCO NA REGIÃO URBANA DO  
MUNICÍPIO DE GUARATINGUETÁ, SP, QUANTO À OCORRÊNCIA DE  
INUNDAÇÕES E PROCESSOS EROSIVOS.**

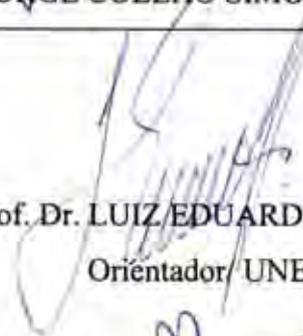
**RENAN BARBOSA ROSSETTI**

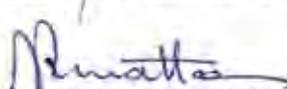
ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO  
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE  
**“GRADUADO EM ENGENHARIA CIVIL”**

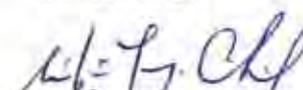
APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE  
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

  
Prof. Dr. SÍLVIO JORGE COELHO SIMÕES

**BANCA EXAMINADORA:**

  
Prof. Dr. LUIZ EDUARDO DE OLIVEIRA  
Orientador/ UNESP-FEG

  
Prof. Dr. JUÉRCIO TAVARES DE MATTOS  
UNESP-FEG

  
Prof. Dr. SÍLVIO JORGE COELHO SIMÕES  
UNESP-FEG

**Novembro de 2011**

## **DADOS CURRICULARES**

### **RENAN BARBOSA ROSSETTI**

NASCIMENTO	13.05.1989 – CACHOEIRA PAULISTA / SP
FILIAÇÃO	Renato Santos Rossetti Regiane Aparecida Barbosa Rossetti
2007 – 2011	Curso de Graduação Engenharia Civil – Universidade Estadual Paulista no Campus de Guaratinguetá.

## **DEDICATÓRIA**

de modo especial, dedico este trabalho de graduação à toda minha família, que com amor, carinho e paciência me incentivou e motivou durante a execução.

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço à Deus, fonte da vida, de bênçãos e graças. Agradeço pela vida, saúde, inteligência, paciência e determinação, minha família, amigos e colegas,

ao meu orientador, *Prof. Dr. Luiz Eduardo de Oliveira*, que com sua sabedoria, dedicação e incentivo muito me auxiliou na elaboração deste trabalho e sem o qual, se tornaria impossível realizá-lo,

ao *Prof. Dr. Francisco Antônio Ramos de Araújo*, do Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), que com sua presteza contribuiu com este trabalho,

à *Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP)*, que financiou o projeto de pesquisa que deu origem a este trabalho,

aos meus pais *Renato Santos Rossetti* e *Regiane Aparecida Barbosa Rossetti*, que com carinho e dedicação me apoiaram sempre nos meus estudos,

à minha namorada *Tamiris Gomes Luiz de Paula*, que teve o amor e a paciência necessários para estar sempre ao meu lado durante os intensos períodos de estudo,

aos meus avós *Jandyra Ferreira Barbosa*, *Geraldo Custódio Barbosa*, *Gessilda Santos Rossetti* e *Januário Rossetti*, que sempre me apoiaram e rezaram por mim,

aos meus irmãos *Bruno Barbosa Rossetti* e *Lucas Barbosa Rossetti*, que sempre me ajudaram nos meus estudos,

a todos os meus amigos de faculdade e colegas de turma, em especial *Geison da Veiga Pires*, *Joyce Carvalho de Almeida*, *Mariana Araújo Oneto*, *Mariana Heimy kano*, *Pedro Raphael de Souza Pedroso*, *Thomaz Lourenço de Mattos*, *Vanessa S. Costa Santos*, *Vitor de Souza Silva* e *William Corrêa dos Santos*, aos quais sem as presenças, parcerias, incentivos, auxílios e noites de estudo não seriam agradáveis e saudáveis os anos do curso de graduação,

ao técnico *Élson Faria de Vasconcelos*, que muito colaborou com disponibilidade e atenção nos ensaios de laboratório e campo necessários para este trabalho,

à todo o corpo docente e discente do curso de Engenharia Civil, que direta ou indiretamente colaborou com minha formação pessoal e profissional,

às funcionárias da Biblioteca, que sempre me trataram com muito respeito e atenção,

aos funcionários da Seção da Graduação, que sempre me ajudaram,

à todos os funcionários responsáveis pela manutenção, conservação patrimonial, limpeza e segurança do campus da faculdade, que tornam o ambiente propício ao estudo.

**ROSSETTI, R. B. Identificação de áreas de risco na região urbana do município de Guaratinguetá, SP, quanto à ocorrência de inundações e processos erosivos.** 2011. 83 f. Trabalho de Graduação em Engenharia Civil – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

## **RESUMO**

O município de Guaratinguetá, SP, apresenta, em seu histórico, várias ocorrências de danos materiais e prejuízos humanos condicionados aos eventos de inundação e movimento de massas de solo, resultante do desenvolvimento de processos erosivos. A amplitude destes eventos e a gravidade com que acometem o homem e suas propriedades é fruto das ocupações irregulares nestas áreas consideradas potenciais de risco geológico. Assim, torna-se de grande importância a caracterização física de tais áreas e a identificação das mesmas dentro do mapa municipal, como forma de minimizar os efeitos e mitigar as consequências dos eventos relacionados.

Dessa forma, este trabalho de graduação apresenta uma série de campanhas de campo, ensaios geotécnicos laboratoriais, consultas à mapas e imagens de satélites, representativas do meio físico, e ao plano diretor do município, como meios conclusivos para a delimitação de áreas de riscos com potencial para ocorrência de processos erosivos e/ou inundações no mapa representativo da área urbana de Guaratinguetá, SP. Também são apresentadas as descrições das principais características dessas áreas identificadas como sendo de risco, juntamente com propostas para evitar ou minimizar os impactos dos problemas relacionados à inundações e processos erosivos sobre a população local.

**PALAVRAS-CHAVE:** Inundação. Erosão. Perímetro urbano. Áreas de risco.

**ROSSETTI, R. B. Identifying areas of risk in the urban área of Guaratinguetá, SP, regarding the occurrence of flooding and erosion.** 2011. 83 f. Report of Graduation in Civil Engineering – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

### **ABSTRACT**

The city of Guaratinguetá, SP, presents in its history, several instances of property damage and human losses, conditional on the event of flooding and mass movement of soil, resulting from the development of erosion processes. The extent and severity of these events that affect humans and their properties is the result of the illegal occupation of these areas as potential geohazard. Thus, it is of great importance to physical characterization and identification of such areas within the map of the same city as a way to minimize the effects and mitigate the consequences of these events.

Thus, this graduate report presents a series of field campaigns, geotechnical laboratory testing, consultation with maps and satellite images, representative of the physical environment, and the city plan as a means conclusive for the delimitation of risk areas with potential for occurrence of erosion and / or flooding on the map representing the urban area of Guaratinguetá, SP. Also featured are the descriptions of the main characteristics of those areas identified as being at risk, along with proposals to avoid or minimize the impact of problems related to flooding and erosion processes on the local population.

**KEYWORDS:** Flooding. Erosion. Urban Perimeter. Risk areas.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Passarela na Avenida José Juvenal M. dos Santos .....	19
Figura 2 – Ponte na Avenida Eduardo Rodrigues Alves .....	20
Figura 3 – Ponte na Avenida Eduardo Rodrigues Alves .....	20
Figura 4 – Localização da bacia do Ribeirão Guaratinguetá .....	24
Figura 5 – Mapa geológico da bacia do Ribeirão Guaratinguetá .....	25
Figura 6 – Mapa de declividade da bacia do Ribeirão Guaratinguetá .....	27
Figura 7 – Mapa geomorfológico da bacia do Ribeirão Guaratinguetá .....	27
Figura 8 – Mapa de densidade de drenagem da bacia do Ribeirão Guaratinguetá .....	28
Figura 9 – Mapa de uso do solo da bacia do Ribeirão Guaratinguetá .....	30
Figura 10 – Mapa de localização da bacia do Ribeirão dos Mottas .....	31
Figura 11 – Trecho do Ribeirão dos Mottas .....	35
Figura 12 – Trecho do Ribeirão dos Mottas .....	35
Figura 13 – Trecho do Ribeirão Guaratinguetá .....	36
Figura 14 – Gráfico do balanço hídrico mensal em anos-padrão considerados em Guaratinguetá .....	39
Figura 15 – Localização das seções de estudo das vazões nos ribeirões indicados .....	43
Figura 16 – Esboço das seções estudadas .....	44
Figura 17 – Rua Anísio Novaes, Pedreira .....	47
Figura 18 – Rua Anísio Novaes, Pedreira .....	48
Figura 19 – Rua Anísio Novaes, Pedreira .....	49
Figura 20 – Rua Anísio Novaes, Pedreira .....	49
Figura 21 – Rua Anísio Novaes, Pedreira .....	50

Figura 22 – Rua Anísio Novaes, Pedreira .....	50
Figura 23 – Rua Anísio Novaes, Pedreira .....	51
Figura 24 – Rua Anísio Novaes, Pedreira .....	51
Figura 25 – Rua Anísio Novaes, Pedreira .....	52
Figura 26 – Rua Anísio Novaes, Pedreira .....	53
Figura 27 – Rua Rangel Pestana .....	54
Figura 28 – Rua Rangel Pestana .....	55
Figura 29 – Rua Olga Lourenço, Village Sant’Anna .....	56
Figura 30 – Rua Olga Lourenço, Village Sant’Anna .....	57
Figura 31 – Rua Olga Lourenço, Village Sant’Anna .....	57
Figura 32 – Estrada Vicinal Cesare Zangrandi, dentro do Village Sant’Anna .....	58
Figura 33 – Estrada Vicinal Cesare Zangrandi, dentro do Village Sant’Anna .....	59
Figura 34 – Rua Coronel Villagram Cabrita, Nova Guará .....	60
Figura 35 – Rua Coronel Villagram Cabrita, Nova Guará .....	61
Figura 36 – Rua Coronel Villagram Cabrita, Nova Guará .....	61
Figura 37 – Rua Coronel Villagram Cabrita, Nova Guará .....	62
Figura 38 – Rua Coronel Villagram Cabrita, Nova Guará .....	62
Figura 39 – Rua Coronel Villagram Cabrita, Nova Guará .....	63
Figura 40 – Carta de plasticidade de Casagrande com os pontos obtidos pelos ensaios geotécnicos .....	64
Figura 41 – Corpo de prova em imersão no ensaio de perda de massa .....	67
Figura 42 – Ábaco com os graus de erosão associados (GEA) .....	68
Figura 43 – Trecho do Rio Paraíba do Sul na Avenida Nossa Senhora de Fátima .....	70
Figura 44 – Rua Anísio Novaes, Pedreira .....	70
Figura 45 – Rua Coronel Tamarindo, Pedreira .....	71

Figura 46 – Rua Coronel Villagram Cabrita, Nova Guará .....	71
Figura 47 – Trecho do Ribeirão Guaratinguetá .....	72
Figura 48 – Mapa de uso e ocupação do solo em Guaratinguetá referente ao ano de 1976 .....	73
Figura 49 – Mapa de uso e ocupação do solo em Guaratinguetá referente ao ano de 2007 .....	73

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados metereológicos sazonais dos Anos-Padrão 1983, 1984 e 1985 considerando dados entre 1962 e 1991 .....	38
Tabela 2 – Valores dos coeficientes de deflúvio (C) para as diversas condições de superfície .....	41
Tabela 3 – Valores dos parâmetros calculados no estudo das vazões dos ribeirões dos Mottas e Guaratinguetá .....	42
Tabela 4 – Valores dos coeficientes de rugosidade de superfície de Manning .....	45
Tabela 5 – Valores dos parâmetros utilizados no cálculo da vazão de pico para cada seção estudada .....	45
Tabela 6 – Valores da vazão na seção do ribeirão dos Mottas considerando redução de 30% da área da seção de escoamento .....	46
Tabela 7 – Resultados dos ensaios de caracterização geotécnica básica para as amostras de solo coletadas .....	63
Tabela 8 – Parâmetros classificatórios MCT e classificação MCT-M das amostras consideradas .....	65

## **LISTA DE ANEXOS**

ANEXO A: Figura do mapa de Isoietas para o município de Guaratinguetá gerado referente ao período de 1937 a 2004.

ANEXO B: Figura do mapa de aumento das precipitações médias no município de Guaratinguetá no período de 1937 a 2004.

ANEXO C: Figura do mapa de áreas de risco estudadas do município de Guaratinguetá.

ANEXO D: Figura do mapa de uso e ocupação do solo com as áreas de risco estudadas para o município de Guaratinguetá.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	15
2. OBJETIVOS .....	16
3. MATERIAIS E MÉTODOS .....	17
4. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DAS ÁREAS ESTUDOS .....	21
4.1. Município de Guaratinguetá .....	21
4.2. Bacia do Ribeirão Guaratinguetá .....	23
4.3. Bacia do Ribeirão dos Mottas .....	30
5. RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÕES .....	33
5.1. Áreas com potencial para ocorrência de inundações .....	33
5.2. Estudo de vazão nas seções estabelecidas nos ribeirões dos Mottas de Guaratinguetá .....	34
5.2.1. Estudo da pluviometria na região de Guaratinguetá .....	37
5.2.2. Cálculo das vazões dos ribeirões dos Mottas e Guaratinguetá .....	40
5.3. Áreas com potencial para ocorrência de erosões .....	46
5.4. Resultados dos ensaios geotécnicos .....	63
5.5. Potencial de erodibilidade dos solos considerados .....	65
5.6. Localização de áreas de risco identificadas .....	69
6. CONCLUSÃO .....	74
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	76
8. ANEXOS .....	80

## 1. INTRODUÇÃO.

Na região do Vale do Paraíba, localizada no leste do Estado de São Paulo, o acelerado processo de urbanização e o crescimento desordenado de algumas cidades promovem mudanças acentuadas no meio físico, ocasionando degradações ambientais.

Historicamente no Brasil, o processo de urbanização e crescimento das cidades decorreu da intensa migração da população rural para áreas urbanas, notadamente nos últimos trinta anos. Essas cidades, de forma geral, não dispunham de planejamentos para absorver a nova demanda populacional, ocasionando, assim, a ocupação de áreas com potencial para ocorrências de erosões e inundações (CANIL, 2001).

A erosão, em áreas de expansão urbanas brasileiras, é função de fatores como as condições de drenagem, a topografia, o manejo incorreto dos solos e as práticas conservacionistas aplicadas de forma não adequada. De forma geral, os estudos sobre erosões consideram a pedologia para estimar as características erosivas do solo (BAPTISTA et al. 1994), e o planejamento do uso racional dos solos tem sido feito por meio da Equação Universal de Perdas de Solos – USLE (WISCHMEIER & SMITH, 1978). No Brasil, tem-se utilizado no meio rodoviário, os resultados da Classificação MCT (Miniatura, Compactado, Tropical) como ferramenta para avaliar a erodibilidade de solos típicos brasileiros.

Um dos principais problemas enfrentados pelos municípios, localizados na Região do Vale do Paraíba, refere-se ao conflito de uso da várzea do rio, a qual até pouco tempo era susceptível à ocorrência de inundações. Na região, existem três utilizações que disputam espaço na área de várzea: o uso urbano, a agropecuária e a mineração.

Outro aspecto a ser destacado dentre os problemas urbanos que mais diretamente afetam os recursos hídricos é a ocorrência de inundações, decorrentes do transbordamento do Rio Paraíba do Sul e de alguns de seus afluentes. Finalmente, observa-se que o problema que mais impacta as áreas urbanas do Vale, decorrente de processos de ocupação inadequados, é a contaminação das águas pelos esgotos sanitários e pela disposição inadequada dos resíduos sólidos.

Na cidade de Guaratinguetá, hoje com cerca de 112 mil habitantes, 95% dos domicílios da área urbana são atendidos por redes de abastecimento de água potável e coletora de esgotos, e 40% dos esgotos coletados são tratados. Observa-se, também, que em função das características geomorfológicas da área urbana do município, diversos empreendimentos imobiliários foram implantados em áreas inadequadas. Com o crescimento econômico, a

expansão dos centros comerciais e o crescimento populacional, a demanda por moradias e locais adequados para habitação foi aumentando com mais intensidade. Porém este processo se deu de forma muito rápida, desenfreada e desordenada, acarretando problemas habitacionais. O excesso de pessoas e a escassez de moradias adequadas fazem com que muitas pessoas se instalem em locais inadequados e/ou ilegais, recorrendo muitas vezes a práticas que podem gerar a proliferação de moradias subnormais, como a autoconstrução. Com a diversidade de relevos presente no município, alguns problemas decorrentes da ocupação geram situações de riscos geológicos, e conseqüentemente, possibilidades de haverem também riscos condicionados à vida.

O Risco Geológico, segundo Oliveira e Brito (1998), é definido como uma situação de perigo, perda ou dano, ao homem e à suas propriedades, em razão da possibilidade de ocorrência de processo geológico. No Brasil são mais freqüentes os processos exógenos, como escorregamento, corridas e rastejo de massa, queda de blocos, inundações, etc. Dentre os fatores condicionantes de processos geológicos presentes em tais áreas, destacam-se os problemas relacionados à processos erosivos e os à inundações, uma vez que a combinação desses fatores geológicos e eventos climáticos contribuem muito para agravamento desses problemas e suas conseqüências.

A erosão é um fenômeno natural que atinge não só as diversas formações naturais, mas também o meio antrópico, modificando-os em longo prazo. Segundo Salomão e Iwasa (1995), a erosão pode ser definida como qualquer processo que gere uma desagregação e remoção de partículas do solo e/ou de rochas pela ação combinada da água, gravidade, gelo, vento ou organismos biológicos. Ligados aos processos erosivos estão alguns condicionantes: a chuva, a cobertura vegetal, o relevo, o solo e o substrato rochoso (OLIVEIRA e BRITO, 1998).

## **2. OBJETIVOS.**

A proposta deste trabalho de graduação objetiva identificar áreas, no setor urbano do município de Guaratinguetá, SP, com predisposição para ocorrência de inundações e áreas que apresentam predisposição ou ocorrências de processos erosivos. Nas áreas identificadas, foram realizados estudos que permitiram identificar os agentes causadores das degradações ambientais.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS.

Para execução do plano de trabalho proposto, utilizou-se a infra-estrutura da Faculdade de Engenharia, Campus de Guaratinguetá (FEG-UNESP), composta pela biblioteca e pólo computacional. Para os ensaios geotécnicos, contou-se com os laboratórios de geologia e transportes e seus equipamentos. Contou-se, ainda, com o apoio do técnico de laboratório, Élson Faria de Vasconcelos, na execução das atividades de campo e laboratório.

Através de consultas à mapas e imagens de satélites, bem como a realização das campanhas de campo, foram obtidas diversas informações sobre o meio físico do município de Guaratinguetá, SP.

Na Prefeitura Municipal de Guaratinguetá, mais especificamente na Secretaria de Coordenação e Planejamento, foram solicitadas informações sobre os empreendimentos imobiliários legalizados e sobre aqueles considerados clandestinos e sobre as taxas de ocupação dos bairros considerados nesta pesquisa. Entretanto, infelizmente, grande parte das informações não foi disponibilizada pela Prefeitura. Campanhas de campo foram realizadas, objetivando o conhecimento da área urbana do município e a identificação dos problemas ambientais presentes nas mesmas. Durante essas campanhas, todos os pontos de interesse foram identificados pelas suas coordenadas geográficas, determinadas com o aparelho GPS – marca *GARMIN eTrex Legend*.

Ao Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Guaratinguetá (SAAEG), foram solicitadas informações sobre as condições de atendimento à população urbana, na área de estudos, no que se refere ao abastecimento de água potável e coleta e tratamento de esgotos sanitários e, também, sobre a destinação final dos resíduos sólidos, visto que o SAAEG é a empresa responsável pela coleta e disposição final do lixo doméstico no município.

Através das campanhas de campo, identificaram-se alguns bairros que representam os principais problemas enfrentados pelo município no que diz respeito a áreas condicionadas aos processos erosivos, registrando as imagens através de câmera fotográfica. Foram selecionadas áreas em que se desenvolvem feições erosivas no solo e áreas com ocupações de encostas. Assim, foram selecionadas as seguintes localidades: Rua Anísio Novaes, no bairro da Pedreira; Rua Rangel Pestana, no bairro Alto do São João; Rua Olga Lourenço, no loteamento Village Sant'Anna, Estrada Vicinal Cesare Zangrandi; Rua Coronel Villagram Cabrita, no bairro Nova Guará.

Nas áreas em que se desenvolvem feições erosivas no solo e/ou ocorrem ocupações de encostas, foram coletadas amostras representativas dos solos superficiais, através da abertura de trincheiras, utilizando um conjunto de enxadas, cavadeiras manuais e sacos de coleta. As amostras coletadas foram submetidas a ensaios de caracterização geotécnica básica no Laboratório de Transportes da FEG/UNESP, segundo os métodos de ensaios abaixo relacionados:

- Análise granulométrica por peneiramento (DNER-ME 080-94);
- Determinação do limite de liquidez (DNER-ME 122-94);
- Determinação do limite de plasticidade (DNER-ME 082-94);
- Solos compactados em equipamento miniatura – Mini-MCV (DNER-ME 258-94).

Para o ensaio de análise granulométrica, contou-se com o conjunto de peneiras normalizadas pela norma correspondente, além do conjunto vibratório, um agitador e solução defloculante, para a sedimentação. Para o ensaio de determinação do limite de liquidez, utilizou-se o Casagrande e o cinzel. Para o ensaio do limite de plasticidade, contou-se com a placa de vidro esmerilhada e o cilindro comparador. Com relação aos ensaios de compactação Mini-MCV, utilizou-se o equipamento de compactação de amostras, para realização das séries de golpes, um paquímetro para medição da compactação e balança de alta precisão e estufa, para determinação do teor de umidade da amostra.

Com base nos resultados dos ensaios acima mencionados, as amostras foram classificadas segundo os sistemas USCS (*Unified Soil Classification System*) e MCT-M (Miniatura, Compactado, Tropical – Modificado), versão modificada, proposta por Vertamatti (1988), do ábaco MCT (Miniatura, Compactado, Tropical) apresentado por Nogami e Villibor (1980). Os resultados da Classificação MCT-M permitiram avaliar o grau de evolução pedológica dos solos considerados e a sua maior ou menor resistência aos processos erosivos, assim como proposto por Vertamatti e Araújo (1998).

As principais sub-bacias que compõem a rede hidrográfica do município são os ribeirões Guaratinguetá, dos Mottas e São Gonçalo. Com base no conjunto de informações colhidas, foram identificados, como sendo os principais contribuintes para a ocorrência de processos de inundação, em áreas situadas no perímetro urbano do município de Guaratinguetá, as bacias dos ribeirões dos Mottas e do Guaratinguetá, uma vez que na

localidade em que ocorre a passagem do Ribeirão São Gonçalo (Rua Anísio Novaes – Pedreira) observou-se, *in situ*, que os fatores condicionantes do risco estavam associados à erosão de margem provocada pelo aumento de vazão do ribeirão nas épocas de intensas precipitações e ao estreitamento de seu canal nessa localidade da rua, pela deposição de objetos poluentes e assoreamento, acentuando os processos erosivos que condicionaram os prejuízos humanos e materiais no local. Portanto, a caracterização física da bacia do Ribeirão São Gonçalo não foi realizada, pois priorizou-se os efeitos provocados pelos processos erosivos, e não sua influência com o processo de inundação.

No Ribeirão dos Mottas, selecionou-se uma seção para estudos de vazão, localizada nas proximidades da Estação Rodoviária Municipal de Passageiros (Coordenadas geográficas: 22° 49,231' S/ 45° 11,678' W), que rotineiramente vem ocasionando problemas para a Prefeitura Municipal e esteve em obras para substituição de tubulações (tubos *Armco*) para melhorar as condições de vazão no local, conforme ilustra a Figura 1.



**Figura 1 – Ponte sobre o Ribeirão dos Mottas, localizada na Avenida José Juvenal M. dos Santos: Observam-se as obras para troca das tubulações. Fonte: Autor.**

No Ribeirão Guaratinguetá, selecionou-se, para estudos de vazão, uma seção localizada no bairro Jardim Rony, mais precisamente na ponte Antônio R. Gonçalves, na Avenida Eduardo Rodrigues Alves (Coordenadas geográficas: 22° 48,720' S/ 45° 12,416' W), conforme ilustra a Figura 2. Este bairro, em função do grande volume de água que escoava através do ribeirão, em épocas de intensas precipitações, tem sofrido com problemas de inundações, levando a Prefeitura Municipal a construir uma pequena represa para contenção das águas, solução que se mostrou ineficaz.



**Figura 2 – Vista parcial da ponte sobre o Ribeirão Guaratinguetá, na Avenida Eduardo Rodrigues Alves. Fonte: Autor.**



**Figura 3 – Vista parcial da seção do Ribeirão Guaratinguetá. Fonte: Autor.**

Nas seções acima mencionadas, os estudos de vazões foram realizados considerando-se os procedimentos preconizados por Netto *et al* (1998).

## 4. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DAS ÁREAS DE ESTUDOS.

### 4.1. Município de Guaratinguetá.

O município de Guaratinguetá, localizado na região do Vale do Paraíba, leste do estado de São Paulo, situa-se a 176 km da capital. Encontra-se às margens da rodovia Presidente Dutra, que liga as cidades de São Paulo e Rio de Janeiro, na altura do quilômetro 65. Os municípios limítrofes ao seu território são: Campos do Jordão, Piquete, Delfim Moreira e região sul do estado de Minas Gerais ao norte, Cunha, Lagoinha, Aparecida e Potim ao sul, Pindamonhangaba a oeste e Lorena a leste.

O Vale do Paraíba encontra-se confinado entre os alinhamentos orográficos das serras do Mar e da Mantiqueira, dispostos paralelamente à linha da costa. Esta região paulista, estruturada como um espaço regional organizado, sistêmico e moldado em relevos alinhados que por sua vez, condicionam uma rede hidrológica e de solos associados, pode ser dividida em três sub-regiões, com as seguintes características:

1. Serra da Mantiqueira – É a borda meridional da Serra da Mantiqueira, do embasamento cristalino pré-cambriano (Proterozóico), apresentando paredões abruptos voltados para S/SE, intercalados por vales e esporões. Ao longo da Serra encontram-se superfícies regularmente planas, provenientes de erosões antigas como os planaltos de Campos do Jordão e maciços alcalinos com cristas elevadas, atingindo de 1200 m a 2000 m acima do nível do mar, como em Itatiaia, no Estado do Rio de Janeiro. A diversidade morfo-geológica que a região tem, provoca significativas conseqüências à distribuição da pluviosidade.

2. Vale do Paraíba – Inicia-se onde o curso do Rio Paraíba do Sul muda radicalmente de direção em Guararema, SP, a jusante dos reservatórios Paraitinga e Santa Branca. Este segue paralelamente ao litoral por aproximadamente 180 km atravessando três estados, São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro, até sua foz próxima à cidade de Campo dos Goytacazes (RJ). A região concentra um alto índice de urbanização, constituindo-se um eixo de circulação entre as metrópoles do Rio de Janeiro e São Paulo.

3. Serra do Mar – É a borda setentrional do embasamento cristalino pré-cambriano, que compreende a Serra do Mar e fica paralelamente disposta a do Quebra-Cangalha, caracterizando as zonas do Planalto de Paraitinga, Planalto Bocaina e médio vale do Paraíba,

conforme descreve Almeida (1964). Apresenta relevo diversificado e acidentado constituído de morros, morrotes e serras suportadas por rochas migmatíticas apresentando fortes declividades em suas escarpas. A altimetria, bem como sua proximidade do litoral, expõe a região à ação umidificadora do oceano, que proporcionam condições que influenciam na circulação atmosférica, nos índices pluviométricos e na vegetação.

Segundo o Consórcio de Desenvolvimento Integrado do Vale do Paraíba – CODIVAP (1971) – é possível encontrar, em diferentes proporções, as seguintes unidades pedológicas no município de Guaratinguetá. São elas:

1. Latossolo vermelho amarelo – fase rara;
2. Latossolo vermelho amarelo “intergrade” para argissolo vermelho amarelo;
3. Latossolo vermelho amarelo – fase terraço;
4. Solos hidromórficos;
5. Argissolo vermelho amarelo “intergrade” para latossolo vermelho amarelo;
6. Argissolos com cascalho;

No domínio municipal, verificam-se com mais frequência os argissolos e seus associados, que constituem cerca de 30% dos tipos de solo presentes no município, os latossolos terciários, com cerca de 40%, os solos hidromórficos, cerca de 10% do total municipal e o latossolo vermelho amarelo, com 20%. A diversidade de solos é grande e está associada à geologia e geomorfologia local.

O CODIVAP (1992) relaciona com o município de Guaratinguetá os seguintes tipos de clima:

1. Mesotérmico com verões quentes e estação chuvosa no verão;
2. Mesotérmico com verões brandos e estação chuvosa no verão.

As condições climáticas de Guaratinguetá a classificam como sendo de clima tropical úmido de altitude. De acordo com os dados de Silva e Silva (2000), referentes aos anos de 1962 a 1991, a temperatura média registrada na periferia do município foi de 22,6°C, porém existem registros de temperatura da ordem de 37°C (máxima) e de -1°C (mínima), em regiões características, como centros urbanos e serras, respectivamente. A diversidade de relevos existente no município provoca certa variação nos índices registrados.

Os índices pluviométricos também são elevados, com média mensal de 108,6 milímetros, ainda referente ao período de 1962 a 1991. Mesmo em estações mais frias do ano, como o inverno e o outono, existem registros de altos índices pluviométricos em relação à média normal sazonal, o que é uma característica que vem sendo observada atualmente em diversos locais do Brasil, notadamente no Sul e Sudeste. As massas de ar equatorial continental, tropical atlântica e frente intertropical, influenciam o clima da região.

A umidade relativa média por sua vez constitui-se ligeiramente alta, registrando 67% no mesmo período de registro. Isso pode ser atribuído a proximidade do domínio municipal com as áreas de várzea do Rio Paraíba do Sul e dos seus afluentes, aos índices pluviométricos elevados e às áreas de vegetação primitiva.

#### **4.2. Bacia do Ribeirão Guaratinguetá.**

A bacia do Ribeirão Guaratinguetá constitui-se um afluente da margem esquerda do Rio Paraíba do Sul, nascendo na Serra da Mantiqueira. Situa-se no município de Guaratinguetá, Estado de São Paulo, possuindo área de, aproximadamente, 164,0 km<sup>2</sup> que corresponde a cerca de 22% da área total do município. O Ribeirão Guaratinguetá recebe as águas do Ribeirão Taquaral que, por sua vez, recebe as águas do Ribeirão Gomerál. Em Guaratinguetá, passa pelos bairros do Gomerál, Pirutinga, Pedrinha, Taquaral e Lemes. Através da Figura 4 ilustra-se a localização da bacia na região do Vale do Paraíba.



Figura 4 – Localização da área da bacia do Ribeirão Guaratinguetá. *Apud.* SOARES (2005).

A bacia do Ribeirão Guaratinguetá, que teve origem nos períodos Terciário Superior e Pleistoceno, apresenta diversidade geológica caracterizada por rochas cristalinas de idade pré-cambriana que formam o arcabouço estrutural da Serra da Mantiqueira e pela bacia sedimentar de Taubaté que possui idade Cenozóica.

Soares (2005), em seus estudos, apresenta o mapa geológico da bacia do Ribeirão Guaratinguetá, ilustrado na Figura 5, tendo considerado, para a descrição das unidades geológicas presentes e confecção do mapa, as bases e o material bibliográfico disponíveis em Hasui e Ponçano (1978) e Landim *et al.* (1984).

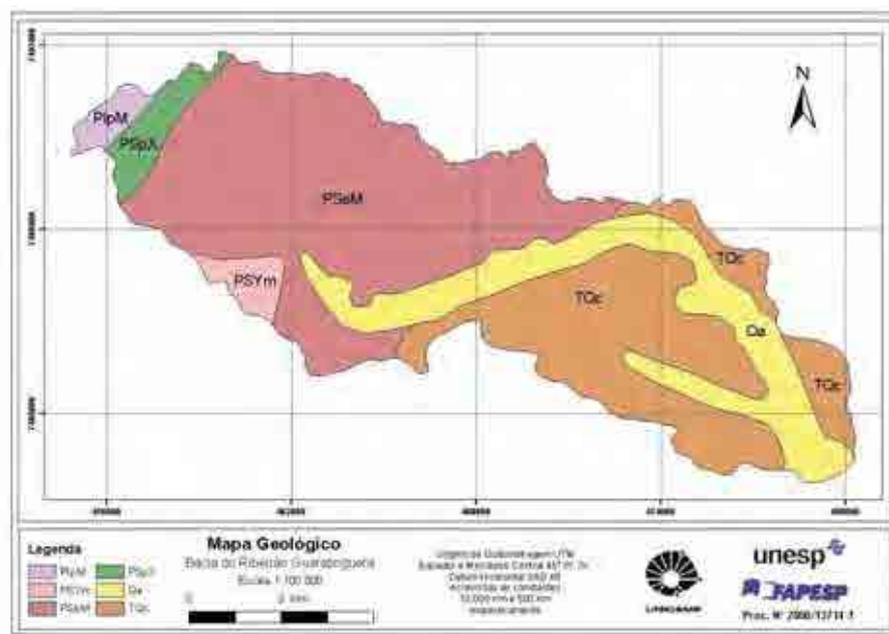


Figura 5 – Mapa geológico da bacia do Ribeirão Guaratinguetá. *Apud.* SOARES (2005).

São descritos por Soares (2005), da base para o topo, as unidades geológicas que constam no mapa geológico da bacia, de acordo como se segue:

- *Unidade Proterozóica Inferior com Migmatitos (PipM):*

Esta unidade ocorre em uma pequena porção no limite oeste da região sendo constituída por migmatitos estromáticos com paleossoma xistoso. Estas rochas não diferem muito daquelas encontradas na unidade (PSpM) descrita mais adiante. A principal diferença é a idade Proterozóico Inferior para estas rochas em contraste com a idade Proterozóico Superior na unidade PSpM.

- *Proterozóico Superior (PSpX):*

Esta unidade também corresponde a uma pequena faixa aflorante na região oeste da bacia. Na unidade predominam micaxistos, quartzo micaxistos e gnaisses. Em face de sua composição micácea e da presença marcante de estruturas metamórficas, as rochas desta unidade estão associadas principalmente a um relevo colinoso formado por encostas relativamente suaves contrastando com os demais relevos encontrados na região.

- *Proterozóico Superior (PseM):*

Esta unidade é formada por migmatitos heterogêneos com o paleossoma (porção mais antiga) constituído por litotipos como biotita gnaisses, xistos e

anfíbolitos. Em quantidade menor ocorrem migmatitos homogêneos que apresentam estruturas variadas. Em termos espaciais esta unidade representa o substrato geológico que ocupa 45% da bacia.

- *Proterozóico Superior (PSym):*

Esta unidade corresponde aos únicos corpos granitóides encontrados na área da bacia e possui composição tonalítica a granítica. Parte destes corpos foi afetada pelo metamorfismo regional que é evidenciado pela presença de estruturas foliadas em seu interior. Ocorrem em uma pequena faixa na porção sudoeste da bacia estando associados, do ponto de vista geomorfológico, a um relevo de escarpas.

- *Formação Caçapava (TQc):*

Esta formação de idade terciária-quadernária é constituída por arenitos, argilitos e, subordinadamente, por folhelhos e conglomerados. Esta seqüência de rochas ocorre no terço inferior da bacia e corresponde aos relevos colinosos encontrados na área. São depósitos continentais e fluviais.

- *Depósitos Quadernários (aluviais – Qa):*

Os depósitos inconsolidados aluvionares aparecem ocupando as calhas fluviais, planícies de inundações e terraços. Estes depósitos são constituídos de areias e argilas e desenvolvem-se ao longo dos principais cursos de água da bacia. É, porém, adjacente ao Ribeirão Guaratinguetá, que os sedimentos aluvionares estão mais desenvolvidos possuindo uma largura variando entre 500 m e 1000m.

Na Figura 6 apresenta-se o mapa de declividade da bacia do Ribeirão Guaratinguetá, e em complemento a este, apresenta-se na figura 7 o mapa geomorfológico da mesma bacia, ambos elaborados por Soares (2005).

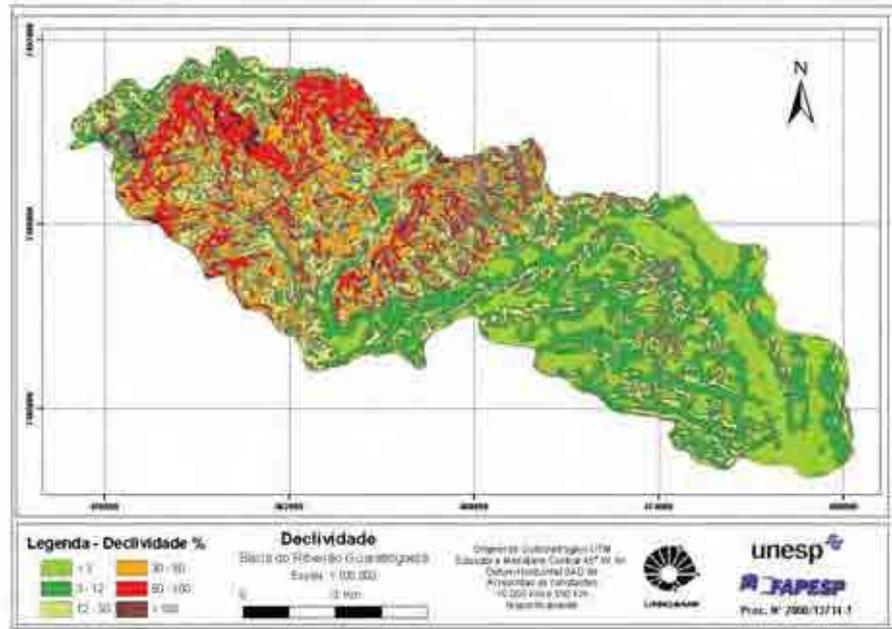


Figura 6 – Mapa de declividade da bacia do Ribeirão Guaratinguetá. *Apud.* SOARES (2005).

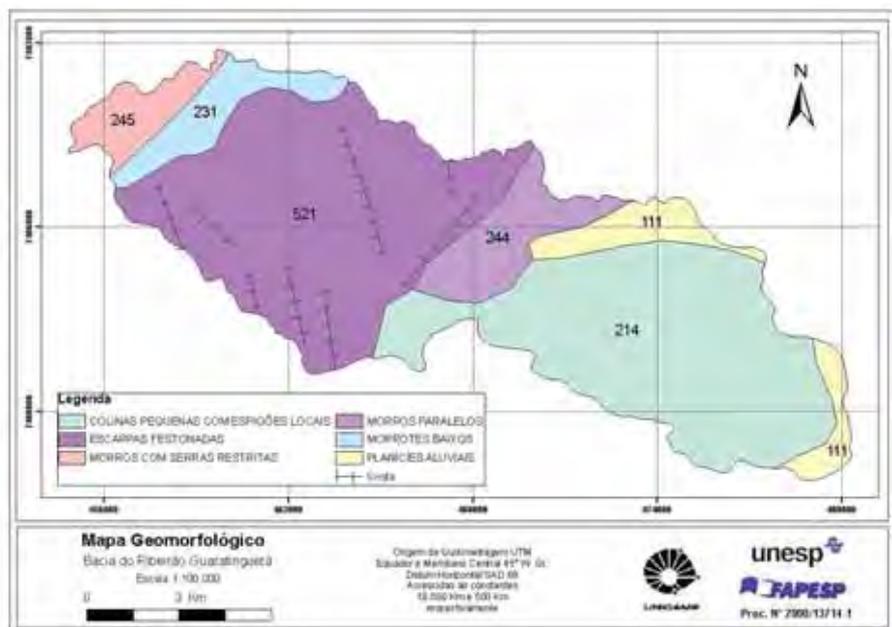
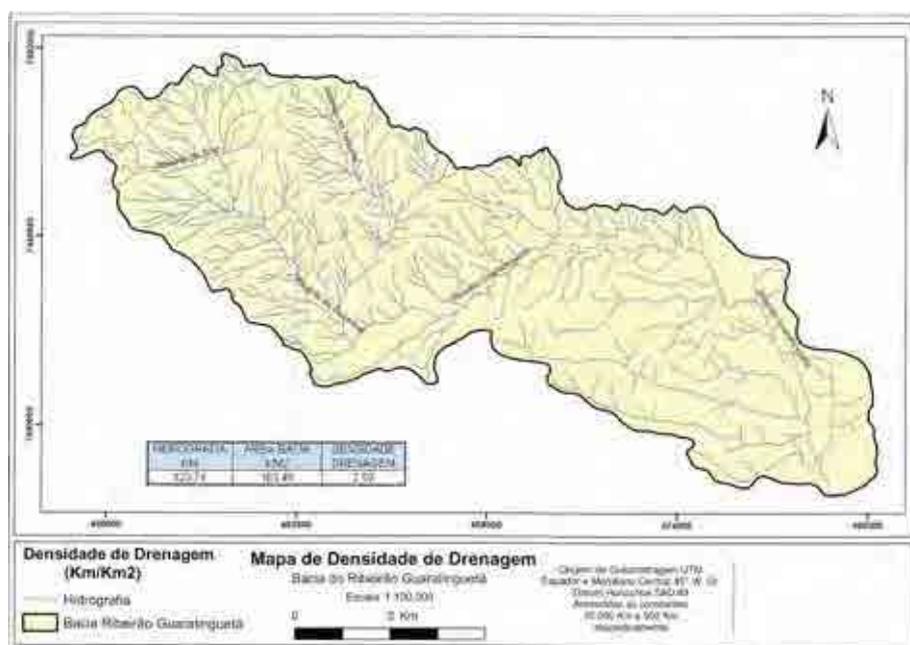


Figura 7 – Mapa geomorfológico da bacia do Ribeirão Guaratinguetá. *Apud.* SOARES (2005).

Através destes mapas de declividade e geomorfologia, pode-se observar que os relevos com menores declividades, inferiores a 30%, correspondem aos terrenos colinosos, situados na porção média inferior. Aos terrenos amorreados são correspondentes às unidades “Morros com Serras Restritas” e “Morrotes Baixos” situados no extremo oeste da bacia. As regiões com declividades entre 50% e 100% estão associadas, quase que exclusivamente, com a

unidade de relevo “Escarpas Festonadas”. Os setores com declividades superiores a 100% são espacialmente pouco expressivos, ocorrendo em pequenos trechos de encostas localizadas na unidade “Escarpas Festonadas”.

O arranjo da rede de drenagem é o somatório de um conjunto de variáveis físicas como clima, relevo, solos, substrato rochoso e vegetação e, em grande parte, função da relação infiltração-escoamento. Soares (2005) apresenta o mapa de densidade de drenagem da área da bacia do Ribeirão Guaratinguetá, conforme se vê na Figura 8, e tece importantes considerações sobre as características da área, comentadas adiante.



**Figura 8 – Mapa de densidade de drenagem da bacia do Ribeirão Guaratinguetá. Apud. SOARES (2005).**

A densidade de drenagem estabelece a relação entre o somatório dos canais e a área da bacia, e constitui um dos elementos mais importantes para a representação morfo-métrica de uma bacia hidrográfica, sendo um dos critérios que permite avaliar a velocidade que a água deixa a bacia. A extensão e a densidade de drenagem refletem controles topográficos, litológicos, pedológicos e de vegetação. Na bacia do Ribeirão Guaratinguetá foi calculada a densidade de drenagem conforme se observa no mapa hidrográfico da bacia (Figura 8). A relação entre o somatório do comprimento dos canais (423,74 km) e a área da bacia (163,49 km<sup>2</sup>) é de 2,59. Este valor “médio” total, entretanto, não representa a diversidade das sub-bacias que compõem a bacia como um todo. Conforme se observa na Figura 7, os ribeirões

formadores do Guaratinguetá como os ribeirões do Sino, Taquaral e o Gomerl, situam-se no contexto de rochas cristalinas (porção oeste) e sua densidade de drenagem difere, substancialmente, daquela relacionada ao Ribeirão Guaratinguetá (porção leste) que teve todo seu traçado esculpido no ambiente de rochas sedimentares.

A área da bacia possui três classes de cobertura vegetal, conforme descrito a seguir:

- *Mato ou Macega:*

Vegetação original que hoje se apresenta perturbada em virtude do corte seletivo de espécies nobres;

- *Pastagem:*

Inclui áreas predominantemente de gramíneas de crescimento natural com ou sem adensamento ocasional de indivíduos arbustivos (pastagem e/ou campo) e área cultivada para atividades de pecuária (pastagem melhorada);

- *Cultura:*

Inclui principalmente o cultivo de arroz irrigado.

Os índices pluviométricos na área da bacia oscilam entre 1300 mm e 1900 mm, concentrando-se os índices mais elevados nas regiões mais próximas à Serra da Mantiqueira. Apesar da ampla distribuição pluviométrica, os índices climáticos sofrem grandes oscilações devido às variações altimétricas.

Atualmente, as áreas de florestas naturais na região do Vale do Paraíba são pequenas, o que também se verifica na área da bacia do Ribeirão Guaratinguetá que apresenta, aproximadamente, 27% de mata primária na área da bacia hidrográfica. Este percentual parece ser elevado, porém, deve-se considerar que estas vegetações ainda existem por estarem localizadas em regiões de difícil acesso para a ocupação humana.

A ocupação da bacia do Ribeirão Guaratinguetá é influenciada pelas características geomorfológicas, tendo-se a predominância de atividades agropastoris intensivas e mecanizadas (rizicultura e pecuária leiteira) nas áreas mais planas. O uso da área para rizicultura e outras formas de atividades agrícolas representam mais de 6% da área da bacia. À medida que aumenta a declividade e as rupturas no relevo, aumentam as áreas com atividades agrícolas extensivas e com solo exposto, pastagem mal utilizada e degradada e,

atividade cultural com baixo conteúdo tecnológico. A relação entre o uso do campo e a pastagem representa mais de 56% da área da bacia.

A ocupação das áreas de preservação permanente deve-se, basicamente, à expansão do cultivo de pastagem e lavouras e do perímetro urbano. Tem-se que a taxa de ocupação de área urbana e vilas é de, aproximadamente, 5% da área da bacia.

Com o crescimento demográfico de Guaratinguetá e conseqüente incremento dos vetores de expansão urbana, a tendência é que a cidade cresça sobre as áreas mais planas da bacia, aumentando os problemas ambientais. Na Figura 9 apresenta-se o mapa de uso do solo da bacia elaborado por Soares (2005).

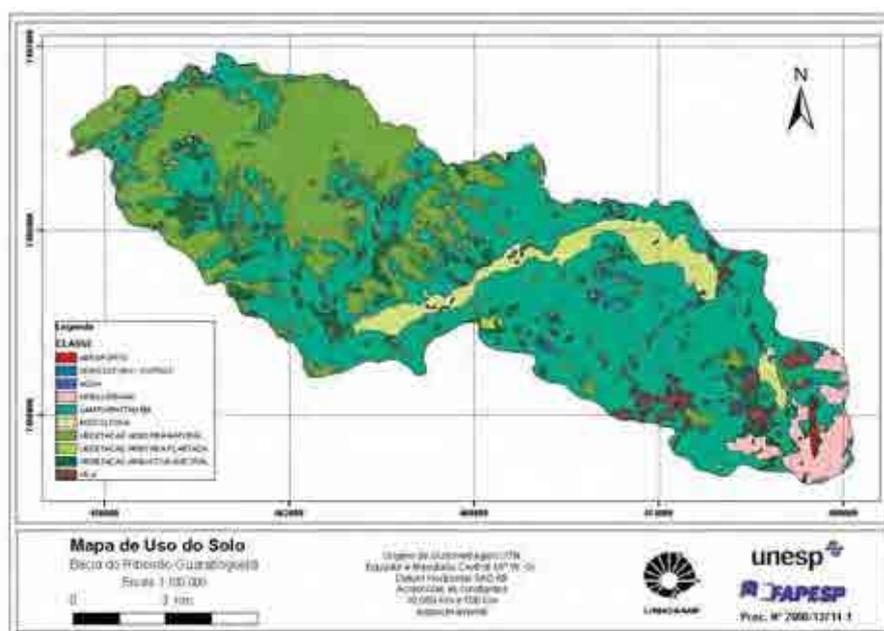


Figura 9 – Mapa de uso do solo na área da bacia do Ribeirão Guaratinguetá. *Apud.* SOARES (2005).

#### 4.3. Bacia do Ribeirão dos Mottas.

A bacia dos Mottas constitui-se um ribeirão que desemboca na margem direita do rio Paraíba do Sul, nascendo na Serra Quebra Cangalha, que faz parte do sistema de elevações que compõem a Serra do Mar no Estado de São Paulo. A bacia compreende uma área de aproximadamente 102,4 Km<sup>2</sup>, situada nos municípios de Aparecida e Guaratinguetá. No final do seu percurso, o ribeirão atravessa áreas em expansão urbana e áreas centrais da cidade de Guaratinguetá, desaguando no rio Paraíba do Sul. Nas áreas de expansão urbana, a fragilidade

dos terrenos e a ocupação desordenada têm levado a freqüentes problemas de inundação, deslizamentos de terra e processos erosivos acelerados. Através da Figura 10, ilustra-se a localização da bacia na região do Vale do Paraíba.

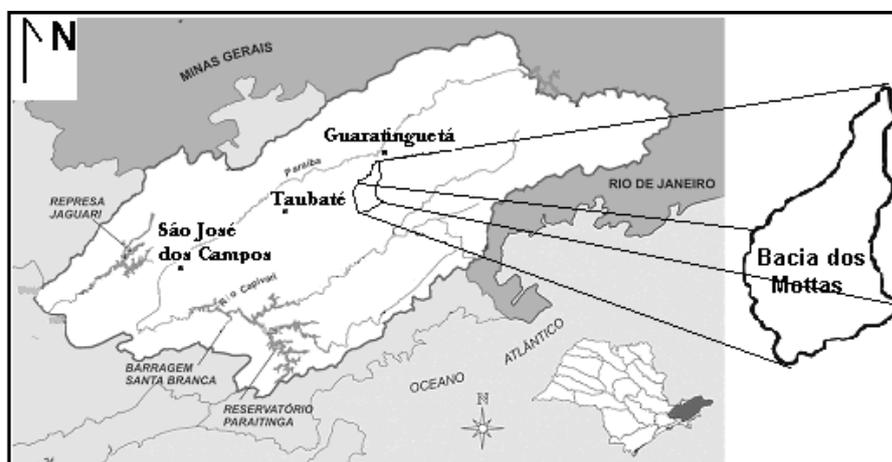


Figura 10 – Localização da bacia do Ribeirão dos Mottas. *Apud. SIMÕES et al. (2007).*

Na bacia dos Mottas, a maior parte do solo é destinada a áreas de pastagem, a partir de levantamentos em imagens de satélite LANDSAT geradas em 1997. Pode-se observar que a maior parte da bacia dos Mottas é caracterizada como área rural; as áreas de pastagem costumam ser degradadas e as práticas de desmatamento, manejo e ocupação são, de uma maneira geral, inadequadas. A área urbana ocupa apenas 0,65% da área total da bacia. Em algumas áreas existem construções em áreas impróprias, deficiência do sistema de coleta de esgoto e falta de um sistema de tratamento dos detritos, conforme se apresentará neste trabalho.

A bacia dos Mottas é constituída por rochas do embasamento cristalino, de idade pré-cambriana, formada principalmente por gnaisses, migmatitos e granitos (CODIVAP, 1992). Além destas rochas ocorrem pequenas faixas de sedimentos quaternários associados aos principais cursos de água da região. Este contexto geológico favoreceu o desenvolvimento de formas de relevos mais íngremes como morros alongados e arredondados com declividades médias variando entre 20% a 40 % e amplitudes entre 100 m e 300 m normalmente associados a gnaisses e migmatitos. Os espigões e serras locais com declividades elevadas – 20% a 50% - estão normalmente associados às rochas graníticas e são predominantes na região sul da bacia, nos pontos mais distantes do seu exutório. A distribuição das declividades em relação à extensão territorial da bacia, bem como a freqüência percentual em que ocorrem, mostram que a maior parte da bacia – cerca de 47,85% - é constituída de relevos de

declividade mais suave (menores que 10%). Já 30,71% referem-se a relevos de alta declividade (maiores que 35%), e estão associadas a relevos bem íngremes. A ocorrência de valores entre 10% e 35% é menor, da ordem de 21,44%.

Com base na classificação de Oliveira *et al.* (1999), as principais unidades pedológicas mapeadas na bacia são:

a) *Argissolo Vermelho Amarelo Orto*, encontrados somente em uma pequena área à oeste e associados aos topos das serras;

b) *Argissolo Vermelho Amarelo “intergrade” para Latossolo Vermelho*, de maior extensão e geralmente associados aos relevos de morros alongados e arredondados;

c) *Argissolo com Cascalho*, verificados na parte sul da bacia associada à relevos de escarpas e serras restritas;

d) *Latossolos Vermelho Amarelo* (fase rasa) encontrados em pequenas áreas associados aos topos das serras.

A bacia dos Mottas pode ser considerada representativa das condições de paisagem existentes no Vale do Paraíba. A predominância das áreas de pastagem sobre as demais formas de uso pode ser bem observada no domínio da área de estudo, sendo que estas representam cerca de 80,11% da área total da bacia. A existência de matas pode ser verificada, ainda que degradadas, preservam um pouco da área primária, respondendo por 10,89% da bacia dos Mottas. O domínio capoeira responde por 4,45%, enquanto que as atividades e culturas agrícolas somam 3,90% da área total.

A maior parte da bacia dos Mottas é caracterizada como área rural; as áreas de pastagem costumam apresentar degradação, sendo que as práticas conservacionistas de uma maneira geral são inadequadas. O desmatamento, as práticas inadequadas de manejo e a ocupação desordenada da bacia têm contribuído para a ocorrência de feições de instabilidade das cristas dos morros, processos erosivos acelerados, taxas de assoreamento elevadas no reservatório dos Mottas e processos de inundação relativamente frequentes. A área urbana ocupa apenas 0,65% da área total da bacia e corresponde a alguns bairros periféricos e centrais de Guaratinguetá situados nas proximidades do seu exutório. Em algumas áreas é possível detectar construções em áreas impróprias, deficiência do sistema de coleta de esgoto urbano e falta de um sistema de tratamento dos detritos e efluentes. Estes problemas se constituem

restrições importantes para a manutenção da qualidade da água e do equilíbrio ecológico da bacia.

## **5. RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÕES.**

### **5.1. Áreas com potencial para ocorrência de inundações.**

Parte da região urbana do município de Guaratinguetá é muito susceptível à ocorrência de processos de inundação, por ocupar áreas de várzea tanto do Rio Paraíba do Sul quanto de seus afluentes. No município de Guaratinguetá, identificaram-se dois importantes afluentes do Rio Paraíba do Sul: os ribeirões dos Mottas e Guaratinguetá, que têm seus cursos d'água atravessando parte da área urbana do município, representando potenciais causadores de inundações por terem um estreitamento de seu canal nas seções críticas de seu escoamento e junto à foz no Rio Paraíba do Sul. Destaca-se, também, a existência de áreas localizadas na várzea do Rio Paraíba do Sul, identificadas pela Prefeitura Municipal de Guaratinguetá, que sofrem inundações periódicas, fato que está também relacionado ao aumento da vazão do Rio Paraíba do Sul causado pelo ajuste sazonal das vazões nas represas de Santa Branca e Paraibuna, que afetam diretamente as cidades banhadas pelo Rio Paraíba do Sul.

O alto índice pluviométrico da região também contribui para que os sistemas de drenagem superficial sejam por vezes insuficientes para escoar os volumes precipitados, especialmente em eventos nos quais a intensidade e a quantidade precipitadas se mostram extremamente altas (geralmente épocas de verão). Também contribuem para essa ineficiência as condições do relevo e geologia e o nível freático próximo às camadas superficiais do solo, o que prejudica a drenagem superficial.

Além das duas sub-bacias mencionadas, identificou-se, também, através das campanhas de campo, outro local sujeito ao problema de desenvolvimento dos processos erosivos condicionada à problemas de inundação na área urbana do município. Trata-se do bairro da Pedreira, localizado na parte sul do município de Guaratinguetá, que ocupa parcialmente uma área sedimentar, adjacente ao Ribeirão São Gonçalo. Conforme citado anteriormente, este ribeirão, também, integrante do sistema hidrográfico do município, não foi alvo de estudos de vazão, porque por mais que seja um afluente do Rio Paraíba do Sul e corte zonas urbanas, não

se constitui um problema diretamente de inundações nessas zonas, visto que a sua área de contribuição é menor. Entretanto em alguns pontos ao longo de seu curso sua extrapolação apresenta problemas relacionados à erosão de margem, com notável perda de massas de solo, obstrução do canal pelo assoreamento e conseqüente aumento da vazão, em especial para a Rua Anísio Novaes, localizada na margem do ribeirão. Para este local, contudo, foram estudados somente os efeitos dos processos erosivos decorrentes não só das ações causadas pelo ribeirão, mas também dos problemas de habitação e topografia locais.

No ANEXO C (Figura do mapa de áreas de risco no município de Guaratinguetá), são representadas as áreas de inundação definidas para a enchente do ano 2000 no município de Guaratinguetá, SP (ANA, 2001), e que são representativas de áreas sujeitas a inundações em eventos de precipitação intensa.

## **5.2. Estudo de vazão nas seções estabelecidas nos ribeirões dos Mottas e Guaratinguetá.**

Conforme mencionado, as seções escolhidas para cálculos de vazões, respectivamente, nos ribeirões dos Mottas e Guaratinguetá, foram a passarela localizada nas proximidades da estação rodoviária de passageiros de Guaratinguetá, na Avenida José Juvenal M. dos Santos e a ponte Antônio R. Gonçalves, na Avenida Eduardo Rodrigues Alves, no bairro Jardim Rony. Nestas localidades, os referidos ribeirões causam inúmeros transtornos com as inundações freqüentes em períodos de intensas precipitações pluviométricas.

No trecho considerado no ribeirão dos Mottas, ocorre o assoreamento do curso de água pela deposição de sedimentos, provindos das erosões das margens do ribeirão e das práticas inadequadas de manejo do solo na área da sua bacia. A ocupação antrópica nas áreas marginais do curso também prejudica seu fluxo normal (Figura 11), uma vez que ocupam suas áreas de várzea, destroem ou prejudicam parte da mata ciliar e poluem o ribeirão com despejo de resíduos sólidos e outros detritos (Figura 12).



**Figura 11 – Trecho do Ribeirão dos Mottas, localizado nas imediações da Avenida José Juvenal M. dos Santos: Observa-se o leito do ribeirão um pouco estrangulado, com presença de habitações na sua margem. Fonte: Autor.**



**Figura 12 – Passarela na Avenida José Juvenal M. dos Santos: Observa-se nos pilares da ponte a presença de materiais diversos carreados pelas águas do ribeirão, diminuindo a seção de escoamento, tais como: folhas, gravetos e também lixo proveniente das ocupações irregulares. Fonte: Autor.**

No trecho selecionado do ribeirão Guaratinguetá (Figuras 2 e 3), verifica-se também o assoreamento do seu leito pela deposição de sedimentos, provindos de outros segmentos do ribeirão (à montante). Nesta região, o desenvolvimento da cidade estendeu-se às margens do ribeirão, ocupando de forma indevida parte de sua várzea. Destaca-se, também, o fato de realizar-se todo o lançamento das águas pluviais (Figura 13), captadas pelos sistemas de drenagem superficial desta região da cidade, no leito do ribeirão, contribuindo para a deposição de detritos sólidos e o conseqüente agravamento dos alagamentos.



**Figura 13 – Trecho do Ribeirão Guaratinguetá em que são despejados águas pluviais e detritos provindos desta região urbana, na seção da área de estudo. Fonte: Autor.**

Em decorrência dos trechos selecionados estarem localizados no perímetro urbano do município e representarem seções de estreitamento dos ribeirões, já prejudicados pelas condições inadequadas de ocupação, avaliou-se as vazões nas mesmas, considerando-se o método racional, apresentados em Netto *et al* (1998), conforme descrito abaixo:

A vazão em uma seção de drenagem pode ser calculada segundo a equação 1:

$$Q = C.i.A \quad (1)$$

A equação utiliza, para o cálculo da vazão na seção de drenagem ( $Q$ ), o coeficiente de escoamento superficial da bacia hidrográfica ( $C$ ), a intensidade média da precipitação sobre toda a área da bacia, com duração igual ao tempo de concentração ( $i$ ) e a área da bacia hidrográfica ( $A$ ).

O coeficiente de escoamento superficial da bacia expressa a relação entre vazão de enchente de certa frequência e a intensidade média da chuva de igual frequência. Pode ser determinada através de tabelas que relacionam o valor do coeficiente com a natureza da bacia e suas características físicas, ou pela equação 2, que relaciona o coeficiente com a duração da chuva ( $t$ ) e a porcentagem impermeabilizada da área ( $r$ ).

$$C = 0,364.\log t + 0,0042.r - 0,145 \quad (2)$$

A intensidade média da precipitação sobre a área da bacia é determinada através da equação 3, que relaciona a altura pluviométrica ( $h$ ) com o tempo de duração ( $t$ ). Para que se tenha toda a área da bacia contribuindo com a vazão, obtendo-se assim a máxima ocorrida, o tempo de duração deve ser igual ao de concentração ( $t_c$ ). O tempo de concentração é o tempo necessário para que a última gota de chuva caída na parte mais distante da bacia possa percorrê-la toda, até a seção de drenagem. Essa distância é denominada extensão do talvegue ( $L$ ). O cálculo do tempo de concentração depende ainda da declividade da bacia hidrográfica ( $I$ ), e é calculada segundo a equação 4.

$$i = \frac{h}{t} \quad (3)$$

$$t_c = 5,3 \cdot \left( \frac{L^2}{I} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (4)$$

A altura pluviométrica pode ser obtida através de uma tabela em função do tempo de retorno de uma precipitação e da duração da chuva, ou segundo a equação 5, que a relaciona com o tempo de concentração e com a altura pluviométrica no tempo de 30 minutos ( $h_{30}$ ).

$$h = 0,264 \cdot h_{30} \cdot t_c^{0,392} \quad (5)$$

Os dados climáticos para os estudos de vazão foram obtidos junto ao Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC/INPE. Os dados físicos foram obtidos através de consultas na Secretaria de Planejamento e Coordenação da Prefeitura Municipal de Guaratinguetá, em mapas representativos do meio físico e em outros trabalhos técnicos e científicos relacionados com as áreas de estudo.

### **5.2.1. Estudo da pluviometria na região de Guaratinguetá.**

Devido às características morfo-climáticas do município, já apresentadas anteriormente, o índice pluviométrico observado na área de estudo é muito alto. Estudos desenvolvidos na região, em anos-padrão, mostram claramente a evolução das precipitações ao longo dos anos, conforme mostram Silva e Silva (2000) através da Tabela 1, apresentada a seguir.

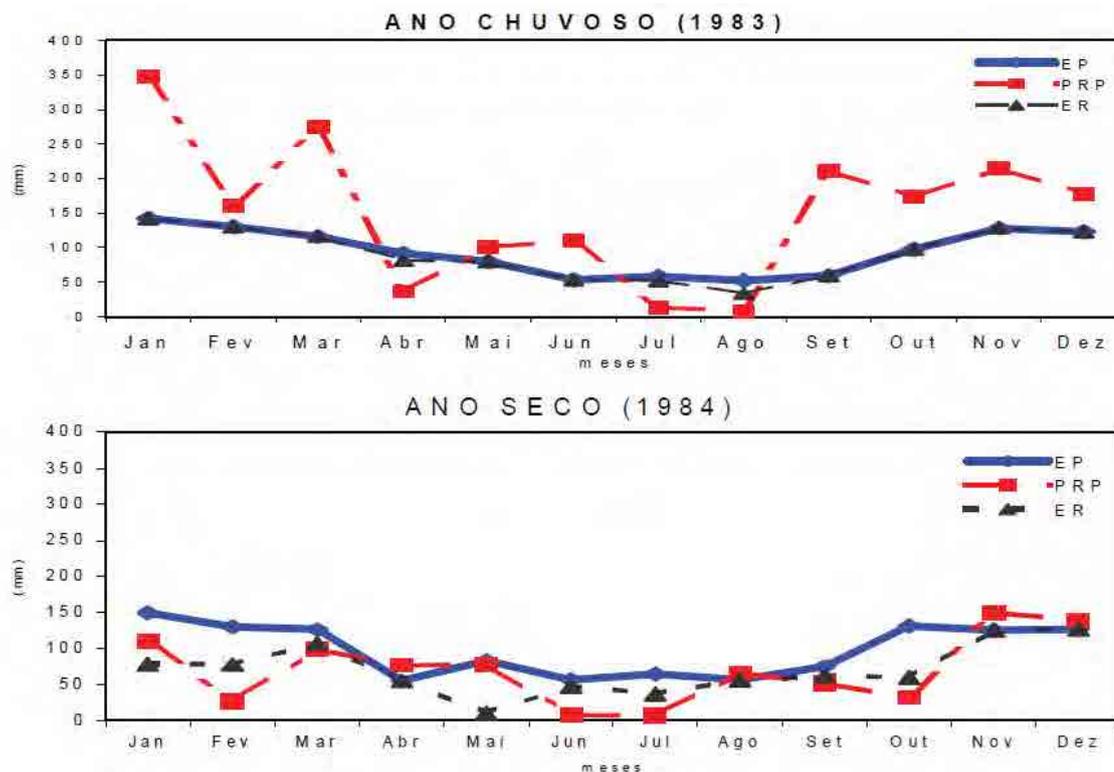
Guaratinguetá – Região “oriental” paulista

	Ano chuvoso (1983)				Ano seco (1984)				Ano médio (1985)			
	V	O	I	P	V	O	I	P	V	O	I	P
Temperatura Média °C	25,4	21,4	19,7	24,2	27,2	20,7	19,4	24,7	25,8	19,5	20,2	23,9
Umidade média %	69,5	69,2	65,2	68,7	62,2	66,5	61,7	62,0	69,5	64,5	60,8	61,2
Pressão Média mb	950,9	953,4	956,0	952,2	950,4	954,4	955,2	950,7	949,7	955,7	957,0	950,8
Precipitação Total mm	784,8	247,8	481,6	567,4	235,3	162,2	79,6	320,0	855,0	109,6	121,1	465,1

V=verão O=outono I=inverno P=primavera

**Tabela 1 – Dados meteorológicos sazonais dos Anos-Padrão 1983, 1984 e 1985, considerando dados entre 1962 e 1991. *Apud.*: Silva e Silva (2000).**

Na observação dos dados da tabela anterior, percebe-se que, no período considerado, a variabilidade dos resultados é grande se comparado entre os anos chuvoso, seco e médio. Enquanto se observa uma precipitação total maior no ano padrão chuvoso, em época de verão se observa um índice sazonal maior no ano padrão médio. Essa característica é importante porque é no verão que costuma ocorrer os episódios de chuva mais intensa, esta mais perigosa para ocorrência de desastres. Ainda sobre a Tabela 1, observa-se que no ano padrão seco, a temperatura média é maior que nos outros anos observados, ao contrário da umidade relativa do ar. Na figura 14 se apresenta o balanço hídrico dos anos padrão dos períodos mais extremos (seco e chuvoso):



**Figura 14 – Gráfico do balanço hídrico mensal dos Anos-Padrão 1983 (ano chuvoso) e 1984 (ano seco), onde se observa as curvas da PRP (precipitação), EP (evapotranspiração potencial) e ER (evapotranspiração real). Fonte: Silva (2000).**

Observa-se que no ano padrão chuvoso, a variabilidade mensal da precipitação (PRP) é muito grande, bem como a quantidade de chuva precipitada, que se apresenta de maior valor que no ano padrão seco, especialmente se considerado o período do verão e primavera (entre setembro e março).

Outro aspecto a ser considerado para caracterizar bem a pluviometria especialmente nas regiões de estudo é a definição das quantidades médias anuais de eventos de chuva observados no município, através do uso de um mapa de isoietas, conforme mostrado no ANEXO A (Figura do mapa de Isoietas para o município de Guaratinguetá gerado referente ao período de 1937 a 2004).

Analisando-se o mapa de isoietas, observa-se que a região da bacia dos Mottas (região ao Sul do município, na Serra do Quebra-Cangalha) se situa basicamente na faixa correspondente a 1300 mm e 1400 mm de chuva anual, enquanto a região da bacia do Ribeirão Guaratinguetá (na porção noroeste do município) fica entre faixas maiores, da ordem de 1300 mm a 1600 mm anuais. Já a parte central do município, notadamente a área urbana, apresenta valores menores, entre 1200 mm e 1300 mm anuais, representando que a chuva cai

em maior quantidade na periferia do município, que se caracteriza como zona rural e, na maior parte, com as características morfo-geológicas e de vegetação preservadas. Com esse comportamento, nota-se também que a contribuição das bacias hidrográficas se torna importante, uma vez que o volume de chuvas naqueles locais é maior.

Para avaliação do potencial de risco envolvido na área urbana do município, é importante caracterizar também as chuvas intensas ocorridas, pois estas chuvas são as que causam maiores prejuízos com relação à destruição de casas, deslizamentos e enxurradas nos ribeirões. Assim, segundo a Agência Nacional de Águas – ANA (2001), no verão entre os anos de 2001 e 2002, observou-se que a máxima precipitação com duração de um dia para o município de Guaratinguetá foi de 130 mm de chuva. Para um período de dois dias, esse índice passou para 216 mm. Se considerarmos uma média de 784,8 mm de chuva esperados para todo o verão num ano chuvoso (Tabela 1), esse índice representaria cerca de 28% do total, um valor muito alto para apenas dois dias.

Além da frequência de episódios extremos acontecerem em tempos mais curtos principalmente no verão, observa-se ainda um aumento da quantidade precipitada na região do município de Guaratinguetá, representado no ANEXO B (Figura do mapa de aumento das precipitações médias no município de Guaratinguetá no período de 1937 a 2004).

Pelo mapa contido no ANEXO B, percebe-se um aumento da precipitação média anual especialmente na área urbana do município e em alguns pontos de periferia. Já na porção noroeste de Guaratinguetá verifica-se um decréscimo. No geral, é possível dizer que a média municipal se manteve estável, pelo equilíbrio de áreas de acréscimo e decréscimo.

### **5.2.2. Cálculo das vazões dos ribeirões dos Mottas e Guaratinguetá.**

A vazão a ser determinada aqui é aquela chamada de valor de pico, ou seja, representa a quantidade máxima (crítica) de descarga da bacia hidrográfica no leito do principal curso d'água, de grande importância porque em eventos extremos, a força e o volume de água mobilizada são os grandes responsáveis pela destruição das ocupações irregulares e vítimas nas várzeas destes ribeirões.

O primeiro aspecto considerado em ambas as bacias referiu-se às suas características físicas. Na equação 4, nota-se a dependência do tempo de concentração com o comprimento do talvegue e a declividade média da bacia hidrográfica. Estimando-se o comprimento de talvegue e calculando de forma ponderada a declividade média da bacia, a partir de mapas em

escalas representativas de cada bacia, obtêm-se para a bacia do Ribeirão Guaratinguetá os valores de 27 km e 0,0091 m/m e para o Ribeirão dos Mottas, os valores de 24 km e 0,0098 m/m. Com isso calcula-se o tempo de concentração, que é de 228,47 minutos para o ribeirão Guaratinguetá e 206,07 minutos para o ribeirão dos Mottas. Nota-se que estes tempos de concentrações compatibilizam-se com os relevos ligeiramente íngremes das bacias e aos tipos de vegetações encontradas.

Com o valor do tempo de concentração, é possível calcular o coeficiente de descarga de cada bacia (ou coeficiente de deflúvio). Aqui, cabe destacar que as bacias apresentam em sua área diversos fatores que contribuem para a variação do coeficiente de descarga, mas por limitações do método racional, o coeficiente foi calculado como único em toda a bacia. Para o ribeirão Guaratinguetá, o coeficiente calculado pela equação 2 retorna um valor 0,714, e para o ribeirão dos Mottas, de 0,697. Estes valores apresentam-se extremamente altos, não sendo, portanto, representativos da condição real encontrada em cada bacia, o que se pode verificar ao observar as características físicas de cada uma. Isso se deve ao fato de que a fórmula explicitada é de origem empírica, obtida para uma dada condição e/ou região, que pode não ser representativa para outras regiões, como foi o caso das áreas abordadas neste estudo. Utilizou-se então a tabela apresentada abaixo:

Natureza da Superfície	Valores de C
Telhados perfeitos, sem fuga	0,70 a 0,95
Superfícies asfaltadas e em bom estado	0,85 a 0,90
Pavimentações de paralelepípedos, ladrilhos ou blocos de madeira com juntas bem tomadas	0,75 a 0,85
Para as superfícies anteriores sem as juntas tomadas	0,50 a 0,70
Pavimentações de blocos inferiores sem as juntas tomadas	0,40 a 0,50
Estradas macadamizadas	0,25 a 0,60
Estradas e passeios de pedregulho	0,15 a 0,30
Superfícies não revestidas, pátios de estrada de ferro e terrenos descampados	0,10 a 0,30
Parques, jardins, gramados e campinas, dependendo da declividade do solo e da natureza do subsolo	0,01 a 0,20

Tabela 2 – Tabela com os valores dos coeficientes de deflúvio (C) para as diversas condições de superfície. *Apud.: Netto et al. (1998).*

Na Tabela 2 foi estimado, segundo as características da bacia, um coeficiente de descarga médio de 0,30 para o ribeirão Guaratinguetá e 0,25 para o ribeirão dos Mottas, de acordo, portanto, com o que é proposto por Reggiani (1999) e Ponte (2002) em seus estudos.

Com relação à intensidade de precipitações e com base nos dados apresentados no item 5.2.1 (Estudo da pluviometria na região de Guaratinguetá), foi estimado 40 mm de chuva por 30 minutos de duração e um tempo de recorrência de 10 anos para compor a equação 5, estimativa que fornece uma intensidade alta de chuva (1,33 mm/min) e representa adequadamente as condições observadas no local de estudo, inclusive no que se refere às quantidades mais intensas de precipitação, aspecto importante para se definir um evento de pico. Entrando também com o tempo de concentração, obtêm-se a altura da lâmina de água esperada para esse tempo, que no caso do ribeirão Guaratinguetá foi de 88,78 mm e no ribeirão dos Mottas, 85,26 mm. Assim, usando o tempo de concentração, calcula-se a intensidade média dessa precipitação nas bacias em questão, no qual resulta em 0,39 mm/min (ou 0,065 m<sup>3</sup>/s.ha) na bacia do Guaratinguetá e 0,41 mm/min (ou 0,069 m<sup>3</sup>/s.ha) na bacia dos Mottas.

Com todos estes parâmetros calculados, é possível usar a equação 1 para enfim estimar a vazão de pico de cada ribeirão. Para o ribeirão Guaratinguetá, a vazão de pico é de 319,08 m<sup>3</sup>/s, e para o ribeirão dos Mottas, de 176,64 m<sup>3</sup>/s. Todos os resultados de cálculo são apresentados na tabela abaixo:

<i>PARÂMETROS</i>		<i>t<sub>c</sub> (min.)</i>	<i>C</i>	<i>I (mm/min)</i>	<i>Q<sub>PICO</sub> (m<sup>3</sup>/s)</i>
<i>RIBEIRÕES</i>	<i>GUARATINGUETÁ</i>	228,47	0,30	0,39	319,08
	<i>MOTTAS</i>	206,07	0,25	0,41	176,64

**Tabela 3 – Tabela com os parâmetros calculados no estudo da vazão dos ribeirões indicados. Fonte: autor.**

Analisando-se a tabela 3, percebe-se que os valores encontrados para as vazões são bastante grandes, justificando as considerações feitas sobre o potencial dos ribeirões avaliados para ocorrências de inundações no município.

Com o intuito de quantificar o que representaria tal vazão observada em cada ribeirão estudado, foi decidido estudar a vazão numa seção mais crítica por onde o curso d'água corta um ponto da cidade. Portanto, foi definida para o ribeirão Guaratinguetá a seção sobre a ponte da Avenida Eduardo Rodrigues Alves, e para o ribeirão dos Mottas, a passarela sobre a

Avenida José Juvenal M. dos Santos, próxima à rodoviária municipal, assim como descrito anteriormente neste estudo e evidenciado na figura 15.

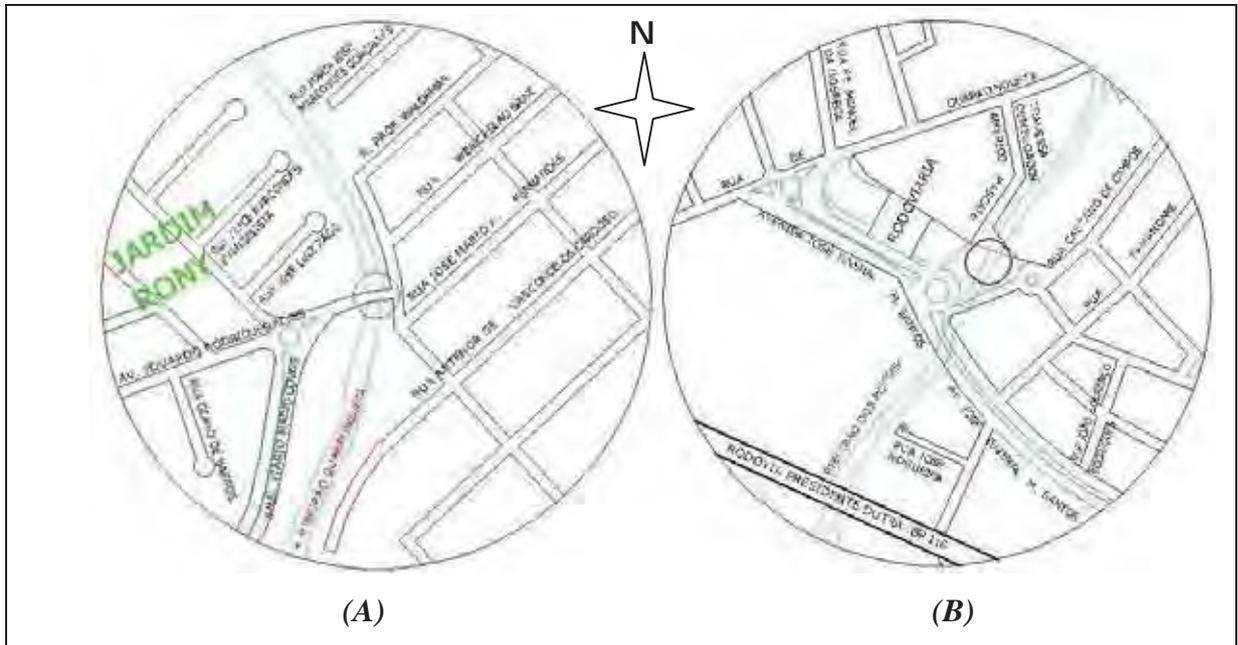


Figura 15 – (A) Localização da seção de estudo da vazão no ribeirão Guaratinguetá, na Avenida Eduardo Rodrigues Alves, Jardim Rony (círculo vermelho). (B) Localização da seção de estudo da vazão no ribeirão dos Mottas, na Avenida José Juvenal M. dos Santos (círculo vermelho). Desenho sem escala. Fonte: autor.

Na figura 16 são mostrados os esboços das seções onde serão estudadas as vazões de cada ribeirão, previamente determinadas como sendo pontos críticos de escoamento.

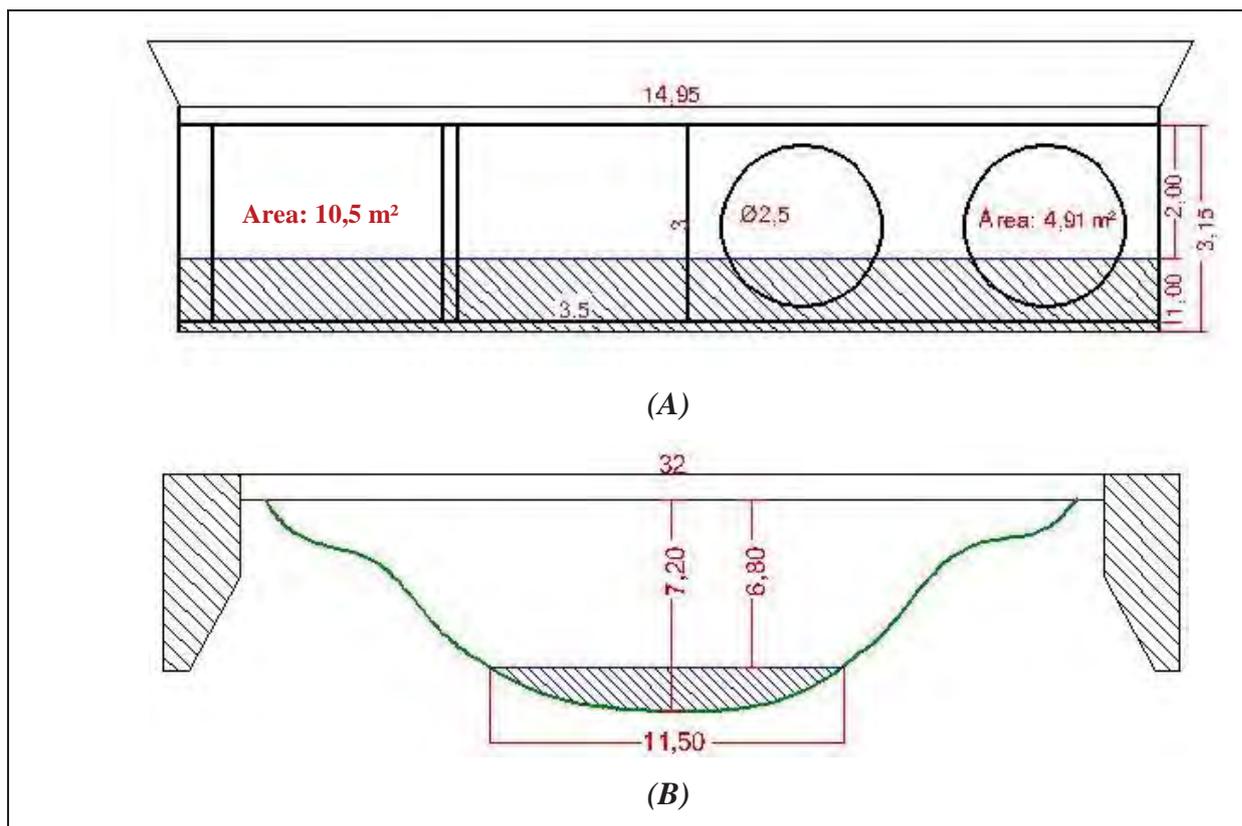


Figura 16 – (A) Seção de estudo da vazão no trecho do ribeirão dos Mottas sob a Avenida José Juvenal M. dos Santos, composta por dois tubos Armco e duas seções retangulares. (B) Seção de estudo da vazão no trecho do ribeirão Guaratinguetá sob a ponte da Avenida José Juvenal M. dos Santos, com margens em condição natural. Dimensões aproximadas indicadas em metros - sem escala. Fonte: autor.

Conhecendo-se as seções de estudo, foi utilizado como base as formulações de Manning (Netto *et al.*, 1998), dada pela equação 6, que relaciona a vazão de pico na seção em estudo ( $Q_{PICO}$ ) à área da superfície molhada da seção (A), o raio hidráulico ( $R$ ), a declividade da superfície de água ( $S$ ) e um fator de rugosidade da superfície ( $n$ ).

$$Q_{PICO} = \frac{1}{n} A R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

Com isso, determina-se para cada seção estudada (figura 16) a máxima vazão que aquela geometria é capaz de suportar. É importante ressaltar que para este cálculo foram feitas algumas aproximações tanto em valores quanto em considerações, caso da seção do ribeirão Guaratinguetá, que foi aproximado para uma seção trapezoidal, de base maior equivalente a 32 m e a menor de 11,50 m, com altura de 7,20 m. Os coeficientes de rugosidade da superfície foram também aproximados com base na tabela 4:

Natureza das paredes	Condições			
	Muito boa	Boa	Regular	Má
Alvenaria de pedra argamassada	0,017	0,020	0,025	0,030
Alvenaria de pedra aparelhada	0,013	0,014	0,015	0,017
Alvenaria de pedra seca	0,025	0,033	0,033	0,035
Alvenaria de tijolos	0,012	0,013	0,015*	0,017
Calhas metálicas lisas (semicirculares)	0,011	0,012	0,013	0,015
Canais abertos em rocha (irregular)	0,035	0,040	0,045	-
Canais c/ fundo em terra e talude c/ pedras	0,028	0,030	0,033	0,035
Canais c/ leito pedregoso e talude vegetado	0,025	0,030	0,035	0,040
Canais com revestimento de concreto	0,012	0,014*	0,016	0,018
Canais de terra (retilíneos e uniformes)	0,017	0,020	0,023	0,025
Canais dragados	0,025	0,028	0,030	0,033
Condutos de barro (drenagem)	0,011	0,012*	0,014*	0,017
Condutos de barro vitrificado (esgoto)	0,011	0,013*	0,015	0,017
Condutos de prancha de madeira aplainada	0,010	0,012*	0,013	0,014
Gabião	0,022	0,030	0,035	-
Superfícies de argamassa de cimento	0,011	0,012	0,013*	0,015
Superfícies de cimento alisado	0,010	0,011	0,012	0,013
Tubo de ferro fundido revestido c/ alcatrão	0,011	0,012*	0,013*	-
Tubo de ferro fundido sem revestimento	0,012	0,013	0,014	0,015
Tubos de bronze ou de vidro	0,009	0,010	0,011	0,013
Tubos de concreto	0,012	0,013	0,015	0,016
Tubos de ferro galvanizado	0,013	0,014	0,015	0,017
Córregos e rios Limpos, retilíneos e uniformes	0,025	0,028	0,030	0,033
Igual anterior porém c/ pedras e vegetação	0,030	0,033	0,035	0,040
Com meandros, bancos e poços, limpos	0,035	0,040	0,045	0,050
Margens espaiadas, pouca vegetação	0,050	0,060	0,070	0,080
Margens espaiadas, muita vegetação	0,075	0,100	0,125	0,150

Tabela 4 – Tabela com os coeficientes de rugosidade de superfície de Manning. *Apud.:* Ver *Referências Bibliográficas*.

Os resultados decorrentes do cálculo são apresentados na tabela 5 individualmente para cada seção calculada:

<b>SEÇÃO</b>	<b><i>n</i></b>	<b><i>A</i> (m<sup>2</sup>)</b>	<b><i>R</i> (m)</b>	<b><i>S</i> (m/m)</b>	<b><i>Q</i><sub>PICO</sub> (m<sup>3</sup>/s)</b>
<b><i>Retangular</i></b>	<i>0,020</i>	<i>10,50</i>	<i>0,808</i>	<i>0,04</i>	<i>91,10</i>
<b><i>Circular</i></b>	<i>0,020</i>	<i>4,91</i>	<i>0,625</i>	<i>0,04</i>	<i>35,90</i>
<b><i>Trapezoidal</i></b>	<i>0,030</i>	<i>156,60</i>	<i>2,284</i>	<i>0,03</i>	<i>1568,06</i>

Tabela 5 – Tabela com os valores dos parâmetros utilizados no cálculo da vazão de pico para cada seção estudada. Fonte: Autor.

Analisando os resultados encontrados, conclui-se que a seção trapezoidal que representa a seção do ribeirão Guaratinguetá, não apresentaria problemas quanto a vazão de pico de

descarga da bacia, que é de 319,08 m<sup>3</sup>/s, uma vez que o limite da vazão (considerando a seção até o tabuleiro da ponte) é de 1568,06 m<sup>3</sup>/s. Isso contudo jamais deveria ser atingido, por questões de segurança estrutural da ponte. Já a soma do dobro das vazões encontradas para as seções circular e retangular, representativas da seção do ribeirão dos Mottas, resulta num valor de vazão máxima de 254 m<sup>3</sup>/s, o que teoricamente estaria ainda dentro do limite da vazão de descarga da bacia hidrográfica, de 176,64 m<sup>3</sup>/s. Isso, contudo, é uma margem pequena de segurança, e o problema é que em condições normais, há um acúmulo de sedimentos, vegetação e até mesmo lixo nas seções, o que reduz, em média, 30 % de sua área útil de escoamento, como mostra a figura 12. Refazendo os cálculos com essa redução de seção, tem-se:

<i>SEÇÃO</i>	<i>n</i>	<i>0,7.A (m<sup>2</sup>)</i>	<i>R (m)</i>	<i>S (m/m)</i>	<i>Q<sub>PICO</sub> (m<sup>3</sup>/s)</i>
<i>Retangular</i>	<i>0,020</i>	<i>7,35</i>	<i>0,808</i>	<i>0,04</i>	<i>63,77</i>
<i>Circular</i>	<i>0,020</i>	<i>3,44</i>	<i>0,625</i>	<i>0,04</i>	<i>25,13</i>

**Tabela 6 – Tabela com os valores da vazão na seção do ribeirão dos Mottas considerando a redução de 30% na área da seção de escoamento. Fonte: Autor.**

Na tabela 6, somando-se o dobro das vazões calculadas, tem-se a vazão máxima suportada pelo sistema de escoamento igual a 177,8 m<sup>3</sup>/s, o que praticamente se iguala ao valor da vazão máxima de descarga da bacia. Sendo assim, e considerando ainda que todo esse volume sofra uma perda de carga hidráulica na entrada da seção, conclui-se que esta seção é insuficiente para garantir a segurança contra inundações provenientes da descarga da bacia do ribeirão dos Mottas.

### **5.3. Áreas com potencial para ocorrência de erosões.**

Neste item são apresentados os locais identificados como sujeitos à ocorrências de processos erosivos, desenvolvimento de fatores geológicos condicionantes do risco e degradação ambiental.

O Bairro da Pedreira tem uma vasta área, porém é afastado do centro comercial do município. Possui uma alta concentração de habitações, caracterizando o tipo de ocupação como sendo residencial. Neste bairro, identificou-se a Rua Anísio Novaes como sujeita ao desenvolvimento dos processos erosivos e movimentos de massas de solo. Nesta rua, as

habitações são, no geral, de baixa qualidade construtiva, e têm baixo padrão econômico e arquitetônico, podendo ser enquadradas como moradias subnormais, situadas à margem do ribeirão, local que se constitui uma área de risco, notadamente por já conter registros de outros eventos de enxurradas (que causam intensa erosão na margem do Ribeirão São Gonçalo) e por estar em local irregular de ocupação.

A rua que se encontra em nível altimétrico inferior ao da rua paralela (Rua Coronel Tamarindo) é margeada de um lado pelo talude da rua lateral e do outro, pelo leito do Ribeirão São Gonçalo.

Dentre os problemas observados na Rua Anísio Novaes, destacam-se, a proximidade entre o leito da rua e o talude da rua paralela, de forma que, na frente das casas, existe um paredão de solo coberto, em parte, por vegetação do tipo gramínea e árvores de pequeno/médio porte, sendo possível identificar alguns locais onde as árvores apresentam raízes expostas e os troncos ligeiramente inclinados, evidenciando a ocorrência de movimentos de massa de solo. Em outros trechos da rua, observou-se que o solo encontra-se desprotegido, potencializando o surgimento de feições de erosões lineares e podendo gerar instabilidade à encosta. Através da Figura 17 ilustra-se um trecho da Rua Anísio Novaes.



**Figura 17 – Vista parcial da Rua Anísio Novaes: Observa-se o talude em frente as casas de baixo padrão econômico, característica deste trecho do bairro. Fonte: Autor.**

Através da Figura 18, ilustra-se o local de coleta de amostra do solo (Amostra 01), no talude mencionado, através da abertura de trincheira. Essa amostra foi encaminhada ao laboratório para as análises que permitirão avaliar as características geotécnicas deste solo. Visualmente, um fator que gera grande preocupação nesta área é a falta de rede de esgoto

encanado. O esgoto corre a céu aberto entre o talude e chega até a rua (Figura 19), onde é despejado sem qualquer preocupação ambiental e sem o aporte de infra-estrutura adequada, terminando por fim no ribeirão. Além de causar um incômodo mau-cheiro, a percolação destes resíduos através do talude pode eventualmente causar ou potencializar o surgimento de erosões lineares.



**Figura 18 – Local de coleta da Amostra 01, na base do talude adjacente à Rua Anísio Novaes. Coordenadas do local da imagem: 22° 49,655' S/ 45° 11,219' W. Fonte: Autor.**

Quanto à infraestrutura do local, foram observados que há redes de distribuição de água potável, de eletricidade, de telefonia fixa, iluminação pública e pavimentação na rua, do tipo bloquetes. Há implantação de sarjetas, mas as fachadas das casas encontram-se praticamente no alinhamento do meio fio, o que não permite em alguns pontos a construção de calçadas. A rua não conta com sistema de drenagem superficial, embora apresente inclinação longitudinal adequada para tanto. Pela sua posição muito próxima ao ribeirão, a Rua Anísio Novaes lança as águas pluviais diretamente no leito do ribeirão, levando também detritos alocados nas margens da rua, em terrenos não ocupados, conforme ilustra a Figura 20.



**Figura 19 – Esgoto que corre através do talude, desembocando na sarjeta da Rua Anísio Novaes e contaminado o solo. Coordenadas do local da imagem: 22° 49,626' S/ 45° 11,230' W. Fonte: Autor.**



**Figura 20 – Trecho da Rua Anísio Novaes: Observa-se a proximidade da rua com o leito do Ribeirão São Gonçalo. Fonte: Autor.**

Com a falta de rede de esgoto e drenagem superficial, as águas pluviais e o esgoto são despejados nos fundos das casas, diretamente no solo (Figura 21), de onde são lançados no ribeirão. Observou-se que, neste trecho, o ribeirão encontra-se bastante assoreado devido às erosões das margens e transporte de materiais oriundos das ruas adjacentes ao seu curso. Com isso, a vazão do ribeirão fica prejudicada e com o excesso de chuvas a força das correntezas aumenta muito. Moradores do local relatam que parte do quintal de uma das casas foi totalmente erodido na última enxurrada, ocorrida em Março de 2009, devido ao grande volume de água e a força da correnteza, causando inúmeros estragos. Nessa mesma época, a altura da água atingiu um nível de aproximadamente 1,5 m ou 1,6 m a partir do nível da rua

em questão (Figura 22), inundando casas e causando destruição de bens materiais e proliferação de vetores de doenças. O prejuízo relatado pelos moradores foi grande com perdas significativas.



**Figura 21 – Quintal de uma das casas, onde o esgoto corre a céu aberto, caindo direto no solo e seguindo para o Ribeirão São Gonçalo. Fonte: Autor.**



**Figura 22 – Altura que o nível de água atingiu durante a enxurrada ocorrida em Março de 2009 em comparação com uma pessoa em pé na rua. Fonte: Autor.**

Em outro trecho mais a frente, já mais para a porção sul da rua (porção final da rua), observou-se uma casa que estava parcialmente destruída em virtude da última enxurrada (de Março de 2009), causando a morte de uma pessoa e sendo noticiada pelos jornais e telejornais locais, e tida como o símbolo das consequências causadas pela ocupação inadequada (Figura 23). Aqui foram observadas as mesmas circunstâncias da porção inicial da Rua Anísio Novaes, já que se trata de uma continuação da mesma. Ao fundo da propriedade, foi possível

visualizar o ribeirão São Gonçalo e o terreno encontrava-se bastante alterado, evidenciando arrasto provocado pela enxurrada e o alto nível a que a água chegou. A área em questão encontra-se interdita pelo poder público municipal.



**Figura 23 – Casa destruída em virtude da forte enxurrada que atingiu esta região do bairro. Ao fundo percebe-se o curso do Ribeirão São Gonçalo e sua proximidade com o nível da rua. Coordenadas do local da imagem: 22° 49,831' S/ 45° 11,173' W. Fonte: Autor.**

Num outro local, mais ao norte da mesma rua, observaram-se construções instaladas em local irregular, proibido pela prefeitura e interdito com aviso exposto por placas de advertência (Figura 24). Nesse local, observaram-se, também, estruturas de contenção do talude, sugerindo que essa área apresenta grande instabilidade.



**Figura 24 – Área interdita em um trecho da Rua Anísio Novaes devido à problemas de instabilidade de encosta: Observa-se a estrutura de contenção implantada no talude. Coordenadas do local da imagem: 22° 49,589' S/ 45° 11,248' W. Fonte: Autor.**

Em outro ponto logo mais à frente, casas construídas na parte mais elevada do terreno expõem a precariedade das moradias neste local, onde os muros das residências terminam próximo da crista do talude (Figura 25). Outro agravante é o lançamento de esgotos e águas pluviais diretamente no talude sem a devida infra-estrutura, contaminando o solo ali presente e podendo causar o surgimento de erosões lineares. O solo observado, parcialmente recoberto por gramíneas, encontrava-se bastante úmido e apresentava processos erosivos em áreas localizadas.



**Figura 25 – Casas construídas na proximidade do talude, com alguns pontos de solo exposto e despejo de esgotos e águas pluviais diretamente na superfície da encosta. Coordenadas do local da imagem: 22° 49,554' S/ 45° 11,260' W. Data de registro da imagem: 06/07/09. Fonte: Autor.**

Especificamente neste local da rua não foram coletadas amostras de solo, pois se considerou que a amostra obtida no trecho anterior pode representar com fidelidade as propriedades geotécnicas do solo presente nesta parte da rua.

Na Rua Anísio Novaes, local onde os problemas de erosão e escorregamento de solo foram mais intensos, causando perdas materiais e de vida, a Prefeitura de Guaratinguetá mobilizou uma empresa especializada em contenções e canalizações de calhas de rios e ribeirões. Todo o trecho da rua foi desapropriado e as respectivas famílias, retiradas para outros locais. As casas em área irregular foram retiradas, gerando um espaço suficiente para a execução de estruturas de contenção com bermas, taludes e muros de gabião, conforme se vê na Figura 26.



**Figura 26 – Trecho da Rua Anísio Novaes nos dias atuais, com estruturas de contenção e canalização do ribeirão ao fundo. Fonte: Autor.**

Ressalta-se, contudo, que atrás deste trecho da Rua Anísio Novaes existe um outro talude natural com face de solo exposto e que já apresentou problemas de escorregamento nos episódios de intensas precipitações. Segundo a prefeitura, este talude também receberá estrutura de contenção, mas as obras encontram-se atrasadas. Diante desta situação, observa-se que, se as obras não tiverem um ritmo mais intenso a fim de que termine antes do período mais chuvoso, toda mobilização pode ser em vão, uma vez que na região ainda existem outras famílias residentes. Ao menos o sistema de drenagem e captação de água (evitando a percolação desta na face do talude) deve ser instalado, juntamente com equipamentos de monitoramento contínuos dos taludes instáveis e planos de socorro imediato por parte da defesa civil municipal.

Outro bairro identificado e selecionado para estudo foi o Alto de São João (também conhecido como Alto das Almas), que se localiza na porção sul do município, numa região de relevo mais elevado e inclinado, e é adjacente ao bairro da Pedreira. No Bairro Alto de São João, a Rua Rangel Pestana, localizada numa área de encosta, é o ponto mais alto do bairro, de onde se podiam enxergar as formações onduladas característica do relevo da Serra do Mar (Figura 27). Como é um dos bairros mais altos do município de Guaratinguetá, erosão dos solos, deslizamentos e problemas relacionados à alta pluviosidade e ao relevo muito acidentado são observados.



**Figura 27 – Vista parcial do porção final da Rua Rangel Pestana, localizada no Bairro Alto do São João: Observa-se a a declividade acentuada da encosta e avista-se ao fundo as formações onduladas de parte da Serra do Mar. Coordenadas do local da imagem: 22° 49,690' S/ 45° 11,330' W. Fonte: Autor.**

Toda a área de encosta apresentava cobertura vegetal com gramínea. O bairro possui infra-estrutura completa, como saneamento básico, iluminação pública, telefonia, pavimentação asfáltica e drenagem superficial. Entretanto, na porção final da Rua Rangel Pestana, as águas pluviais são conduzidas para a encosta causando processos erosivos. Nesta encosta, coletou-se uma amostra de solo (Amostra 02), visualmente identificado como solo areno-argiloso de coloração avermelhada.

Observou-se a existência de moradias de baixo padrão construtivo edificadas nesta encosta, com carências de infra-estrutura. Tais moradias contribuem para a ocorrência de processos erosivos, uma vez que lançam as águas servidas e os esgotos em fossas e removem a cobertura vegetal da encosta para o cultivo de hortaliças e criação de pequenos animais. Através da Figura 28 apresenta-se uma vista parcial das moradias edificadas na encosta.



**Figura 28 – Moradia construída no meio da encosta. Observa-se cobertura do talude com vegetação rasteira e árvores. Coordenadas do local da imagem: 22° 49,690' S/ 45° 11,330' W. Fonte: Autores.**

Outro local selecionado que mostra as feições erosivas de forma clara e suas conseqüências adversas no processo de urbanização, foi o loteamento Village Sant'Anna, que se localiza na porção norte do município. Este empreendimento imobiliário, recentemente implantado, ainda possui muitos lotes à venda. Na secretaria de Coordenação e Planejamento Urbano do município, foram solicitadas informações sobre a taxa de ocupação do loteamento, até o momento, não disponibilizadas.

O loteamento situa-se numa região de ondulações médias, com presença de morros e morrotes (inclinação que varia de suave a levemente acentuada) e vegetação de pequeno porte (gramíneas). Áreas de solo exposto não observadas em diversas áreas do loteamento, conforme ilustra a Figura 29. Ao redor desta região, ao horizonte, é possível identificar áreas de várzeas, adjacentes ao Ribeirão Guaratinguetá, utilizadas por fazendeiros para cultivo de arroz (rizicultura), criação de gado (pecuária) e também em partes por ocupação antrópica através de construções e moradias (Figura 30).

Em seu planejamento foram feitos cortes muito inclinados em poucos metros de encosta, sem qualquer estrutura de contenção. O talude, portanto, ficou muito inclinado e o solo ficou exposto às condições climáticas, favorecendo as erosões e a ruptura do talude, com ocorrência de movimento de massa segundo o sentido da gravidade, comprometendo o aproveitamento de outros terrenos pela cobertura de detritos do solo e percolação de água subterrânea e superficial.

O solo observado na parte superior do terreno era arenoso, pedregoso e seco. Já na parte de baixo, onde havia evidências de que um movimento de massa e ruptura de talude já havia ocorrido, podia-se ouvir a água movimentando-se através do interior da massa de solo e este se encontrava úmido.



**Figura 29 – Vista parcial do loteamento Village Sant’Anna: Observa-se o perfil de solo exposto à processos erosivos. Fonte: Autor.**

Num ponto mais a frente na mesma superfície do talude, algumas camadas de solo estavam expostas, evidenciando uma camada superficial de predominância arenosa e camadas inferiores mais argilosas (figura 29).

Na camada superior do solo exposto, foi encontrado um grande perfil de alteração, e em decorrência do nivelamento do terreno e presença de um sentido preferencial das águas pluviais se deslocarem, desenvolveu-se nessa área feições de erosões lineares que transportaram muitos sedimentos (sulcos e algumas ravinas - figura 30).



**Figura 30 – Vista do loteamento Village Sant'Anna e da bacia do Ribeirão Guaratinguetá: Observa-se as feições de erosões lineares desenvolvidas sobre solo exposto, segundo direção preferencial da garvidade. Coordenadas do local da imagem: 22° 46,225' S/ 45° 11,746' W. Fonte: Autor.**

Neste local, observou-se que o solo apresenta coloração variegada, com granulometria bastante variada com presença de materiais argilosos, siltosos e arenosos. A erodibilidade deste solo será determinada através de ensaios geotécnicos, mas observações feitas “*in-situ*” permitem prever a sua alta erodibilidade. Através da Figura 301 ilustra-se detalhe da amostra coletada no local (Amostra 03).



**Figura 31 – Local de coleta de amostra: Observa-se a coloração variegada da amostra. Coordenadas do local da imagem: 22° 46,225' S/ 45° 11,746' W. Fonte: Autor.**

Ao lado desta estrada vicinal Cesare Zandrani, que liga o loteamento Village Sant'Anna à zona central da cidade, ainda no loteamento Village Sant'Anna, selecionou-se outro trecho para coleta de amostra (Amostra 04).

As feições observadas neste local são semelhantes às observadas em toda a área do loteamento, com solo sedimentar e relevo com inclinação e ondulação suave. No local, transformado em área de empréstimo de solo para execução de aterros em obras diversas, contou-se a ocorrência de processos erosivos acentuados, notadamente ao longo dos taludes de corte, conforme ilustra a Figura 32.



**Figura 32 – Local de coleta de amostra: Observa-se os resultados da extração de solo e modificação da paisagem natural. Coordenadas do local da imagem: 22° 47,243' S/ 45° 11,723' W. Fonte: Autor.**

Ainda no loteamento Village Sant'Anna, observou-se em diversas áreas as feições de erosão linear, desenvolvidas ao longo de trechos de declínio do relevo (Figura 33). As erosões lineares ali presentes interferem nas construções e prejudicam os sistemas de drenagem superficial implantados no local.



**Figura 33 – Vista parcial do loteamento Village Sant´Anna: Observa-se as feições de erosão linear e a coloração variegada do solo local. Fonte: Autores.**

Na porção leste do município, no bairro Nova Guar´, observou-se v´rios problemas que decorrem da expanso urbana desordenada e as conseqncias da ocupao de encostas. O acesso a esse bairro ´ difıcil, uma vez que o sistema vi´rio ´ prec´rio. O bairro possui vias pavimentadas com blocos sextavados de concreto, mas devido ao fato de ser um bairro construıdo na encosta de um morro, as ruas so tortuosas e estreitas. A populao local, carente de recursos financeiros e de polıticas sociais, reside, na sua maioria, em habitaes de baixo padro construtivo.

O relevo observado ´ de encosta, com ondulao m´dia ou alta. Os pontos onde no apresentam construes ou sistema vi´rio (que so as ´reas de grande declividade do terreno) apresentam vegetao do tipo gramınea e presena de ´rvores de pequeno e m´dio porte, que apresentavam certa inclinao no sentido da encosta evidenciando um possıvel movimento de massas do solo no local (Figura 34).



**Figura 34 – Vista da encosta ocupada no bairro Nova Guará: Observa-se construes em locais de alta declividade, com presença de lixo e vegetação. Fonte: Autor.**

Neste bairro a infra-estrutura, precária e deficiente de manutenção, possui iluminação elétrica, telefonia, rede de abastecimento de água e saneamento básico. Entretanto, observou-se que diversas residências lançam as águas pluviais e servidas na encosta, poluindo o solo e prejudicando a estabilidade do talude.

Na Rua Coronel Villagram Cabrita (Figura 35), localizada no Bairro Nova Guará, observou-se um grande desnível na sua parte central, onde as águas pluviais se concentram e são captadas e conduzidas através de canaletas para a Rua José Thomé Minotti, localizada na parte baixa do bairro. Este sistema de drenagem superficial, ilustrado na Figura 36, é o único presente em toda a extensão da rua, e em virtude disso, suas dimensões não são suficientes para comportar o grande volume de água que desce naturalmente pela encosta. Assim, parte do volume de água transborda e flui através da encosta em direção  Rua José Thomé Minotti, causando processos erosivos no talude.



**Figura 35 – Vista parcial da Rua Coronel Villagram Cabrita. Observa-se na área central da rua que concentra as águas pluviais. Fonte: Autor.**



**Figura 36 – Vista parcial do sistema de drenagem que conduz as águas pluviais entre as ruas Coronel Villagram e José Thomé Minotti. Fonte: Autor.**

Observou-se que muitas edificações construídas no bairro são de baixo padrão construtivo e vem sofrendo adaptações que podem trazer sérios riscos aos próprios moradores. Em algumas casas, as condições estruturais e de manutenção são sofríveis, impondo a necessidade de contenções para manter a estabilidade dos taludes, conforme ilustra a Figura 37.



**Figura 37 – Estrutura de contenção em gabiões, construída para manter a estabilidade do talude, localizada em uma residência na Rua Coronel Villagram Cabrita. Fonte: Autor.**

Observou-se, também, serem precárias as condições do saneamento ambiental no bairro, notadamente no que se refere à coleta de resíduos sólidos. Constatou-se, em diversos locais, a deposição de entulhos em áreas destinadas à circulação de pedestres, contribuindo para piorar as condições de drenagem e para a proliferação de insetos e roedores, conforme ilustra a Figura 38.



**Figura 38 – Vista parcial da Rua José Thomé Minotti: Observa-se a concentração de entulhos nas calçadas e, ao fundo, as habitações incrustadas na encosta. Fonte: Autor.**

No Bairro Nova Guará, coletou-se uma amostra de solo na base da encosta (Amostra 05), conforme ilustra a Figura 39. Por análise visual no local da amostragem, o solo

apresentava-se úmido em virtude da precipitação ocorrida no dia anterior ao da visita de campo, com coloração amarronzada de tonalidade escura e aspecto argilo-arenoso.



Figura 39 – Local de coleta da amostra 05. Coordenadas do local da imagem: 22° 48,532' S/ 45° 10,992' W. Fonte: Autor.

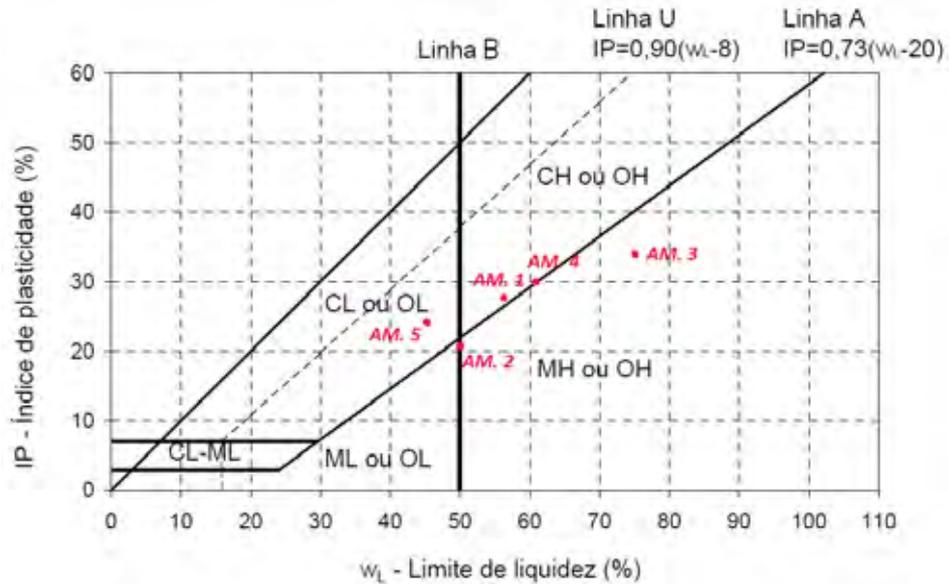
#### 5.4. Resultados dos ensaios geotécnicos.

Os ensaios geotécnicos de caracterização básica, realizados no laboratório de Transportes da FEG-UNESP, apresentaram os resultados constantes da tabela 7.

PARÂMETRO	AMOSTRA 01	AMOSTRA 02	AMOSTRA 03	AMOSTRA 04	AMOSTRA 05
wLL (%)	56	50	75	61	45
wLP (%)	29	29	41	31	21
IP (%)	27	21	34	30	24
%p#10	100	99,66	100	100	100
%p#40	87,56	79,75	99,18	90,89	79,90
%p#100	68,58	62,34	97,14	75,58	58,82
%p#200	61,02	57,20	95,30	65,89	54,72
Classificação USCS	<i>CH – argila muito plástica arenosa</i>	<i>CH – argila muito plástica arenosa</i>	<i>MH – silte elástico</i>	<i>CH – argila muito plástica arenosa</i>	<i>CL – argila pouco plástica arenosa</i>

Tabela 7 – Resultados dos ensaios de caracterização geotécnica básica para as amostras de solo coletadas. Fonte: autor.

Na Figura 40 apresenta-se a localização das amostras na Carta de Plasticidade de Casagrande.



**Figura 40 – Carta de plasticidade de Casagrande com os pontos obtidos para as amostras de solo analisadas. Fonte: autor.**

Analisando-se os resultados constantes na tabela 7, observa-se que a maioria das amostras apresentou características de solos areno-argilosos, de média/alta plasticidade.

A amostra 3, única a apresentar características siltosas, possui elevados valores de percentual de partículas passando através da peneira #200 e de limite de liquidez. Embora esta amostra tenha sido coletada em área próxima à de origem da amostra 4, observa-se uma nítida diferença nos resultados da caracterização geotécnica das mesmas, evidenciando a heterogeneidade dos perfis de solos presentes nessa área.

À exceção da amostra 3, de característica siltosa, todas as demais apresentaram características areno-argilosas com fração granular constituída essencialmente por areia fina.

As amostras submetidas a ensaios de Mini-MCV apresentaram os resultados constantes da Tabela 8.

Amostra	1	2	3	4	5	
Parâmetros Classificatórios	c'	2,10	1,67	1,95	1,75	1,66
	d'	55,81	31,03	7,04	61,07	222,22
	e'	0,72	1,25	1,71	1,24	0,98
	Pi (%)	2	130	220	160	86
Classificação MCT-M	LG'	TA' G'	NG'	TA'G'	TA'G'	

Tabela 8 – Parâmetros classificatórios MCT e classificação MCT-M das amostras consideradas.

Fonte: autor.

Analisando-se os resultados acima, observa-se que a amostra 1, classificada como solo de comportamento laterítico argiloso (LG'), apresentou uma excelente estabilidade no ensaio de Perda de Massa por Imersão (Pi), enquanto a amostra 3, classificada como solo de comportamento não laterítico argiloso (NG'), apresentou, dentre todas as amostras tratadas, o pior comportamento. As demais amostras, classificadas como solos de comportamento transicional areno-argiloso, apresentaram comportamento regular nesse ensaio.

Comparando-se os resultados apresentados nas Tabelas 7 e 8, embora autores como Nogami e Villibor (1979) e Sória (1985) destaquem as limitações dos resultados de Limites de Consistência na caracterização geotécnica de solos típicos brasileiros, observa-se que os obtidos no presente estudo são consistentes com os apresentados pela sistemática MCT.

### 5.5. Potencial de erodibilidade dos solos considerados.

Tão importantes quanto a definição dos parâmetros geotécnicos, mecânicos, químicos e físicos do solo por meio de ensaios laboratoriais é a determinação da suscetibilidade natural de erosão, ou seja, a erodibilidade de um solo. Para tanto, existe uma série de metodologias para determinação desse fator adequadas à aplicação numa sub-bacia, como é o caso da abordada neste estudo.

As metodologias podem ser divididas em análises diretas e indiretas. Para análise indireta, Nogami e Villibor (1979) propõem o critério de erodibilidade MCT, que é um critério essencialmente empírico e baseia-se na correlação com o comportamento geotécnico frente à erosão para solos tropicais. Na análise direta, Inderbitzen (1961), com modificações de Freire (2001) e Higashi (2006), propõe uma determinação do grau de erosão por meio do escoamento superficial e impacto das gotas da água na superfície do solo.

Bastos *et al.* (2000) mencionam que as duas propriedades que permitem prever o comportamento dos solos tropicais frente à erosão hídrica são a infiltrabilidade e a erodibilidade específica. A infiltrabilidade, propriedade hidráulica de solos não saturados representa a facilidade com que a água infiltra no solo através de sua superfície e é quantificada pelo coeficiente de sorção. A erodibilidade específica é representada pela perda de massa por imersão.

Para os ensaios de infiltrabilidade, tomam-se cinco amostras coletadas em campo com cinco umidades diferentes, sendo que cada uma delas corresponde a um tempo de secagem diferente. Cada amostra então é colocada em um anel para molde, e este conjunto sobre uma pedra porosa saturada, com um papel filtro entre eles. O conjunto é então conectado no molde ligado ao tubo capilar transparente contendo água. O objetivo do ensaio é, através do fenômeno da capilaridade, determinar a absorção. Para tanto é feita uma medição periódica do nível de água no tubo capilar, determinando a quantidade de água infiltrada até ocorrer estabilização do movimento. Após isso, é realizada uma nova pesagem do corpo de prova juntamente com o anel. Assim, através de um gráfico com os dados das medições de tempo pela distância percorrida pela água no tubo capilar, determina-se o coeficiente de sorção (s) da amostra de solo.

Já nos ensaios de perda de massa por imersão, determina-se o potencial do solo em desagregar partículas quando imerso em água. Para tanto, coleta-se cinco amostras com cinco umidades distintas. Faz-se então o confinamento das amostras de solo e após isso, extruda-se cerca de 1 cm a superfície do solo para fora do anel, que é então imerso em água horizontalmente em um suporte metálico durante cerca de 24 horas. Após esse tempo, o material erodido é levado à estufa para determinação da massa seca. A erodibilidade específica (Perda de massa por imersão, representado pela sigla “Pi”) é calculada através do percentual de perda de solo seco relacionado ao peso seco total da amostra. Neste relatório, a perda de massa por imersão foi realizado posteriormente aos ensaios MINI-MCV, onde os coeficientes “Pi” podem ser observados na tabela 8 e na figura 41, as imagens de alguns corpos de prova em imersão:



**Figura 41 – Corpo de prova em imersão no ensaio de perda de massa realizado dentro da metodologia Mini-MCV. Fonte: Autor.**

A partir dos resultados destes dois ensaios, Nogami e Villibor (1979) estabelecem que, se a relação entre o coeficiente “Pi” e o coeficiente de sorção for igual a 52, tem-se o limite do critério de erodibilidade, onde solos que possuem valores da relação maiores que 52 são considerados erodíveis e os solos com valores menores são considerados de média a baixa erodibilidade.

A metodologia de Inderbitzen (1961), modificada por Freire (2001) e Higashi (2006) sugere a utilização do equipamento de Inderbitzen, porém, com algumas modificações. O procedimento que emprega o equipamento original avalia a erodibilidade dos solos através da análise dos sedimentos carreados de uma amostra de solo inserida no fundo de uma rampa, sujeita à erosão superficial causada por um fluxo d’água que cria uma lâmina de água de vazão constante. A grande diferença entre os dois equipamentos é que no aparelho modificado, a erosão causada pelo impacto das gotas de chuva sobre a superfície do solo é considerada na avaliação da susceptibilidade à erosão de cada tipo de solo.

Para tanto, são retiradas cinco amostras para cada ponto da bacia referentes à cinco umidades diferentes. As amostras são dispostas em anéis de moldagem e colocadas em uma rampa para dar início a chuva simulada através de um chuveiro, ficando submetido a uma vazão média de água de 4 litros por hora durante o período de duas horas. Após esse período, retira-se a amostra do equipamento, pesa e então se coloca em estufa até constância de massa. O solo desagregado no processo anterior, juntamente com a água, é passado pela peneira #200, onde o material retido é colocado em uma cápsula e levado à estufa juntamente com o corpo de prova. Posteriormente, retira-se o corpo de prova e o material erodido para pesagem.

Estes dois separadamente são destorroados e passados nas peneiras. Higashi (2006) descreve o ensaio de Inderbitzen modificado onde a erodibilidade do solo é expressa em porcentagem e calculada por meio da razão entre o peso do material retido em cada peneira depois de seco e o peso total seco da amostra.

Existem ainda outros métodos que não são abordados neste relatório. Para classificação do grau de erodibilidade associado para solos tropicais (GEA), utilizou-se, neste estudo, o procedimento proposto por Vertamatti e Araújo (1998), no qual são identificadas zonas de erosão segundo sua intensidade, no ábaco de classificação MCT-M. O ábaco contendo as classificações e os respectivos graus de erosão associados encontrados (GEA) é apresentado através da figura 42:

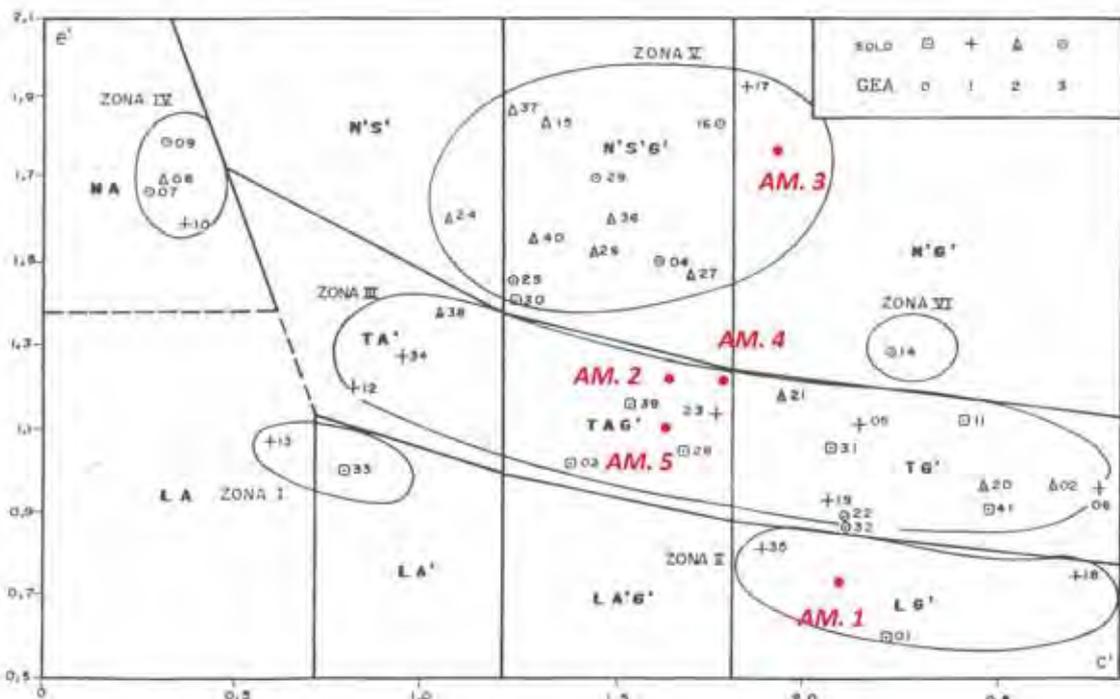


Figura 42 – Ábaco classificatório MCT-M com identificação dos Graus de Erosão Associados (GEA) para solos tropicais. Fonte: Vertamatti e Araújo (1998).

É importante ressaltar que as zonas encontradas por Vertamatti e Araújo (1998) se referem às determinações empíricas, portanto são regiões aproximadas dentro do ábaco MCT-M. Assim, alocou-se no ábaco classificatório MCT-M, os parâmetros classificatórios ( $c'$ ;  $e'$ ) das amostras consideradas neste estudo, para avaliar o grau de erosão associados, conforme ilustrado na figura 42. Observa-se na figura 42 que, a amostra 01 identificada como sendo um solo argiloso de comportamento laterítico (LG'), localiza-se na região identificada como Zona

II, apresentando um grau de erosão associado baixo, com valores entre 0 e 1. As amostras 02, 04 e 05, identificadas como sendo solos areno-argilosos de comportamento transicional (TA'G'), localizam-se na Zona III, com valores de GEA intermediários (entre 1 e 2), apresentando susceptibilidade média a erosão. A amostra 03, identificada como sendo solo argiloso de comportamento não laterítico (NG'), localiza-se na Zona V, com valores altos do grau de erosão associado (entre 2 e 3), apresentando portanto alta susceptibilidade à erosão. Estas determinações já eram esperadas, como se pode perceber pelo coeficiente de perda de massa em imersão ("Pi") na tabela 8, pois quanto maior seu valor maior o valor do grau de erosão associado.

### **5.6. Localização das áreas de risco identificadas.**

As áreas de risco identificadas no perímetro do município se referem àquelas que estão sujeitas tanto à episódios de inundação quanto de movimentos de massa de solo e erosão.

Grande parte das áreas de inundações identificadas no município são as áreas de várzea principalmente do Rio Paraíba do Sul, pois os ribeirões que compõem a rede hidrográfica do município são afluentes dele. Com a grande descarga destas bacias no rio, a vazão média é aumentada significativamente, além da altura do nível de água, notadamente nos períodos de alta pluviosidade (verão). Segundo dados da Agência Nacional de Águas – ANA (2001), nesses períodos a vazão do Rio Paraíba do Sul pode chegar a perto de 3000 m<sup>3</sup>/s em alguns trechos. Esse fenômeno pode ser observado através da figura 43, onde uma rua do município de Guaratinguetá esta inundando devido ao nível do Rio Paraíba do Sul ter chegado ao seu nível. Contribui também, de forma decisiva, para os processos de inundações ao longo da várzea do Rio Paraíba do Sul, as descargas concentradas que ocorrem na represa de Santa Branca, localizada no município de mesmo nome.



**Figura 43 – Trecho do Rio Paraíba do Sul em época de cheia inundando a Avenida Nossa Senhora de Fátima. Fonte: Autor.**

Nas várzeas dos ribeirões isso também é observado, porém de forma mais catastrófica e destruidora, uma vez que a vazão aumenta muito além da capacidade de suporte da seção do curso de água, gerando enxurradas e arrastando as ocupações ilegais, como pode ser observado na figura 44 e 45, representativas das condições mais severas já observadas nos locais de estudo:



**Figura 44 – Início da Rua Anísio Novaes no Bairro da Pedreira, onde se observa ao fundo o deslizamento de massas de solo assoreando o curso do ribeirão São Gonçalo e parte de uma das casas destruídas pela enxurrada. Fonte: Autor.**

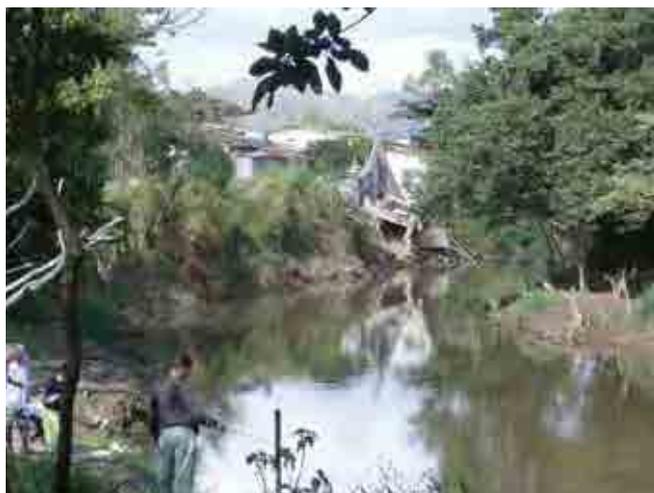


**Figura 45 – Trecho da Rua Coronel Tamarindo, adjacente à Rua Anísio Novaes, no Bairro da Pedreira, onde um deslizamento de solo provocou a destruição de casas na base da encosta e interdição, pela defesa civil, de várias outras. Fonte: Autor.**

Quanto aos movimentos de massa de solo e deslizamentos, a ocorrência observada é em locais de talude com solo exposto em sua maioria, alta inclinação, pouca cobertura vegetal, percolação de água através da vertente e as moradias ilegais. As figuras 46 e 47 mostram imagens de duas áreas de estudo onde se observou a ocorrência destes fenômenos.



**Figura 46 – Início da Rua Coronel Villagram Cabrita, no bairro Nova Guará, onde se observa o trecho central da rua interditado pela defesa civil em decorrência de trincas no muro da casa verde causado pelo deslocamento do solo do talude. Fonte: Autor.**



**Figura 47 – Trecho do ribeirão Guaratinguetá onde se observa ao fundo uma das casas construídas na margem do ribeirão destruída pela ação da chuva do início de 2010. Fonte: Autor.**

As figuras 44, 45, 46 e 47 mostram que as áreas de estudo escolhidas a priori para caracterização das áreas de risco se mostraram potencialmente ativas quanto ao perigo iminente gerado para quem reside naquela situação. Na ocasião, diversas casas foram interditadas e outras desabaram.

O que tem agravado de forma significativa a gravidade dos acontecimentos nas áreas de estudo mencionadas é a ocupação ilegal das margens dos ribeirões e das encostas, gerando, entre outros problemas, impermeabilização e obstrução da calha e da seção dos cursos de água e destruição da cobertura vegetal. Em especial, a expansão urbana observada no município está se dando de forma muito acelerada, propiciando essa condição de ocupação ilegal. Segundo fontes do Ipeadata (1998), a população do município passou de 84.864 habitantes em 1980 para 112.596 habitantes em 2008, um crescimento de quase 33% em 28 anos. Com isso, Souza (2008) propôs uma representação do avanço do uso e ocupação do solo entre os anos de 1976 e 2007, representados através das figuras 48 e 49:

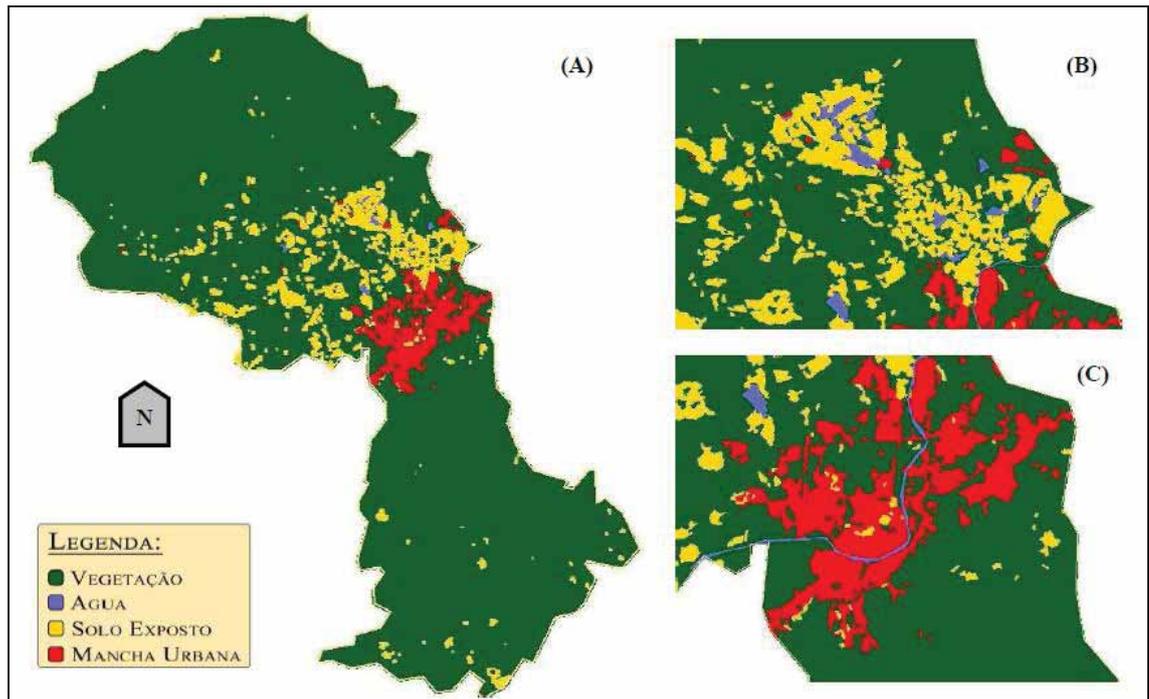


Figura 48 – Mapa de uso e ocupação do solo no município de Guaratinguetá referente ao ano de 1976. *Apud.: Souza (2008).*

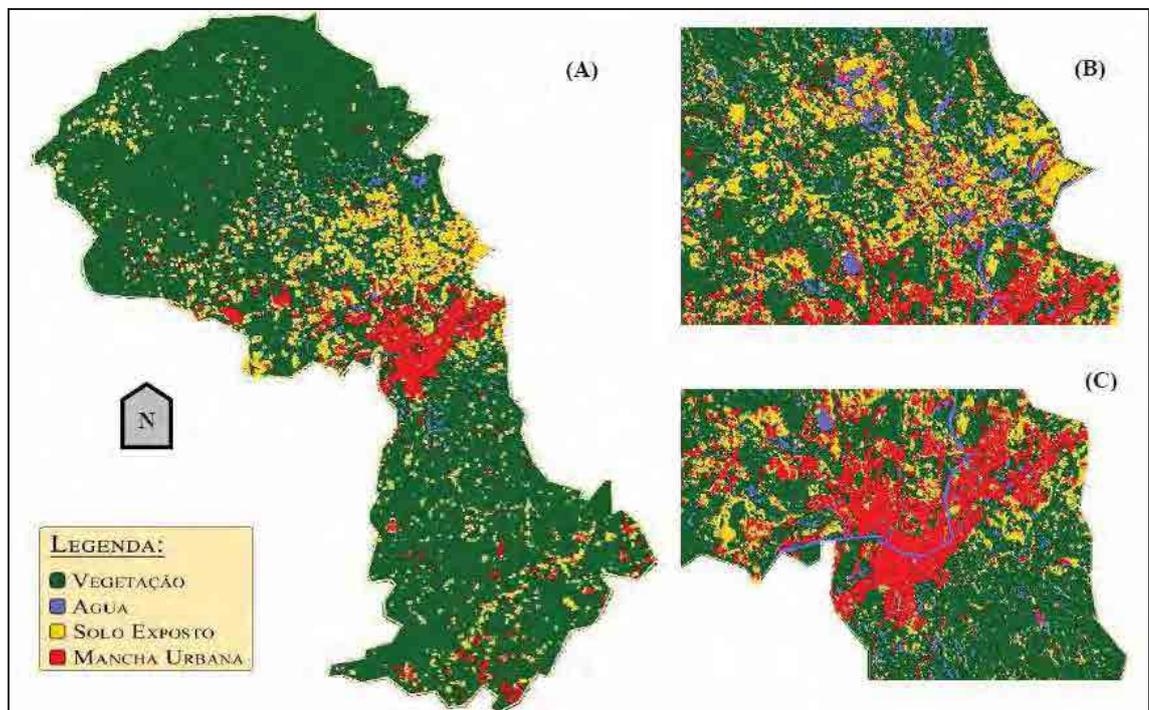


Figura 49 – Mapa de uso e ocupação do solo no município de Guaratinguetá referente ao ano de 2007. *Apud.: Souza (2008).*

Pela análise das figuras 48 e 49, percebe-se que houve um crescimento grande da mancha urbana, invadindo áreas onde antes havia vegetação nativa, substituindo áreas

naturais por outras impermeabilizadas e desmatadas. Outro aspecto foi o aumento das áreas de solo exposto em praticamente todas as áreas do município, resultantes tanto da prática de agricultura quanto da expansão urbana, o que é preocupante, pois o solo descoberto é um dos agentes causadores ou facilitadores de formação de feições erosivas. Auxiliado pelo relevo ondulado, essas características podem ser determinantes para o desenvolvimento das áreas de risco.

Durante o estudo, foi disponibilizado pela Prefeitura de Guaratinguetá um mapa indicando as áreas de riscos, identificadas na zona urbana do município. Verificou-se então que este mapa estava “desatualizado”, com ausência de locais de risco. Com isso, foi elaborado um mapa mais completo contendo as áreas avaliadas neste estudo, tanto relativo às áreas de ocorrência de inundação quanto de escorregamentos. O resultado está presente no ANEXO C (Figura do mapa de áreas de risco no município de Guaratinguetá).

Percebe-se que as áreas identificadas se encontram na várzea de ribeirões ou do Rio Paraíba do Sul e em locais de relevos mais acidentados, especialmente os de ocupação ilegal.

## **6. CONCLUSÃO.**

Com base nos resultados dos estudos, para a melhor identificação das áreas com ocorrências e/ou predisposição para inundações e erosões no município e, conseqüentemente avaliar o potencial de risco condicionado à população residente no local, elaborou-se um mapa com a sobreposição do mapa apresentado no ANEXO C (Figura do mapa de áreas de risco no município de Guaratinguetá) com o mapa de Uso e Ocupação do Solo de Guaratinguetá. Este mapa se apresenta no ANEXO D (Figura do mapa de Uso e Ocupação do Solo com as áreas de risco identificadas para o município de Guaratinguetá).

Da análise deste mapa, percebe-se que a maioria das áreas de risco identificadas encontram-se em regiões de média densidade habitacional, explicando a causa de tantos desastres envolvendo tais áreas. Contudo, as áreas identificadas como residenciais de média densidade no município de Guaratinguetá, encontram-se em desacordo com a Lei nº 7.803, de 08/08/1993, que em seu artigo 2º estabelece que as margens de um rio ou curso d'água que não ultrapasse 10 metros de largura devem ser cultivadas e isentas de ocupação por uma faixa de 30 metros, assim como áreas adjacentes às encostas com alta declividade. Estas áreas são

designadas como áreas de proteção permanente (APP's), e são identificadas como Especiais. No mapa do ANEXO D, observa-se que as áreas Especiais não coincidem com as de risco.

Dado os resultados encontrados nos ensaios geotécnicos e a avaliação do potencial de erodibilidade, conclui-se que as áreas de risco identificadas no município estão concordantes com a realidade presenciada pelos cidadãos durante as ocorrências de eventos extremos, como pode ser observado na descrição das áreas de estudo deste relatório.

Como medidas mitigadoras para os problemas observados, destacam-se a remoção das ocupações ilegais às margens dos ribeirões que compõe a rede hidrográfica do município e das áreas adjacentes às encostas, principalmente aquelas em que foram observados condicionantes para o processo erosivo acelerado, transferindo os atuais residentes para outros locais. Deve-se mencionar que, durante a vigência e execução deste estudo, a Prefeitura Municipal de Guaratinguetá já iniciou a remoção de algumas famílias das áreas de risco identificadas no Bairro da Pedreira e perto da Avenida José Juvenal M. dos Santos, adjacentes ao Ribeirão dos Mottas. Os barracos desapropriados foram demolidos, impedindo nova ocupação, e as famílias retiradas foram encaminhadas para programas sociais de distribuição de moradias populares. A eficácia desta medida é boa, uma vez que o “problema” é eliminado, porém deve-se salientar a demora e alto custo de se realizar por completo todas as desapropriações e remoções devidas.

Como outra medida cabível propõe-se a construção de diques em locais estratégicos da bacia dos ribeirões componentes da rede hidrográfica do município, de forma a conter o excesso de vazão decorrente de eventos extremos principalmente na área urbana. Essa medida, porém, demandará longo prazo para estudos e projetos detalhados e maiores custos envolvidos. Em curto prazo, propõe-se a limpeza efetiva das calhas dos ribeirões e, no caso das áreas instáveis de encostas, obras destinadas à estabilização dos taludes, como estruturas de contenção, implantação de sistemas de drenagem e cobertura vegetal. Sugere-se também adoção de equipamentos de monitoramento das áreas instáveis, principalmente quando estas possam representar riscos geológicos que envolvem vidas humanas.

Com relação às áreas adjacentes ao Rio Paraíba do Sul, observa-se que também sofrem com problemas relacionados às inundações, mas aqui destaca-se principalmente a influência da descarga de represas como a de Santa Branca no sistema hidrográfico do Rio Paraíba do Sul em épocas de elevados índices pluviométricos. Estudos para amenizar este problema em tais áreas não foi o objetivo deste relatório, uma vez que os fatores extrapolam as áreas de estudo.

Por fim, através dos estudos geotécnicos e geomorfológicos e sugestões contidas neste trabalho, espera-se contribuir para a diminuição do risco ambiental presente nas áreas de estudos.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

ALMEIDA, F.F.M. **Fundamentos geológicos do relevo paulista**. São Paulo: Bol. Inst. Geogr. Geol., 1964. n. 41, p. 169-263.

ANA – Agência Nacional de Águas – Fundação COPPETEC. **Projeto Gestão dos Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, RJ**. Relatório de Visita de Campo Trecho Paulista da Bacia do Rio Paraíba do Sul, Cidades de Guaratinguetá e Taubaté, 2001.

BAPTISTA, P.R.D.; CUNHA, L.O.B.P.; DIAS, R.D. Estudos da erosão em zonas de expansão urbana. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES, 10., 1994, Foz do Iguaçu: Associação Brasileira de Mecânica dos Solos, 1994. **Anais**. p. 849-855.

BASTOS, C.A.B.; GEHLING, W.Y.Y.; MILITITSKI, J. **Avaliação Geotécnica da Erodibilidade dos Solos**. In: GEOSUL – II Simpósio de Prática de Engenharia Geotécnica da Região Sul, Porto Alegre/RS, 2000, p.203-211.

CANIL, K. Metodologia para elaboração da carta de risco de erosão do município de Franca, SP. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 7., 2001, Goiânia. **Proceedings** CD-ROM.

CODIVAP (Consórcio de Desenvolvimento Integrado do Vale do Paraíba) – **Caracterização e avaliação dos conhecimentos existentes sobre a região do Vale do Paraíba**. CODIVAP. Pindamonhangaba. 328p. 1971.

CODIVAP (Consórcio de Desenvolvimento Integrado do Vale do Paraíba) – **Projeto Mavale: Macrozoneamento da região do Vale do Paraíba e Litoral Norte do Estado de São Paulo**. INPE/CODIVAP. São José dos Campos. 33p. 1992.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-ME 080-94: Solos – Análise granulométrica por peneiramento**, Brasília, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-ME 082-94: Solos – Determinação do limite de plasticidade**, Brasília, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-ME 122-94**: Solos – Determinação do limite de liquidez – método de referência e método expedito, Brasília, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-ME 258-94**: Solos compactados em equipamento miniatura – Mini-MCV, Brasília, 1994.

FREIRE, E.P. **Ensaio Inderbitzen modificado: um novo modelo para avaliação do grau de erodibilidade do solo**. In: VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão. Goiânia-GO. Meio Digital, 2001.

HASUI, Y.; PONÇANO, W.L. Organização estrutural e evolução da bacia de Taubaté. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30., 1978, Recife. **Anais...** Recife: SBG, 1978, p. 26-381.

HIGASHI, R.A.R. **Metodologia de Uso e Ocupação dos Solos de Cidades Costeiras Brasileiras Através de SIG com Base no Comportamento Geotécnico e Ambiental**. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis-SC, 2006, 486p.

INDERBITZEN, A.P.L. **An erosion test for soils**. Materials Research; Standards, Philadelphia, 1 v., p.553-554, 1961.

IPEADATA. Disponível em: <http://www.ipeadata.gov.br>. Acesso em Novembro de 2008.

LANDIM, P.M. (Coord.). **Mapa geológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: Governo do Estado de São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente, Instituto de Geociências e Ciências Exatas da UNESP, Escala 1:250.000, 1984.

NETTO, A.; MARTINIANO, J.; FERNANDEZ, M. F.; ARAÚJO, R.; ITO, A. E. **Manual de Hidráulica**. São Paulo: Edgard Blucher. 1998, 8º ed., 669p.

NOGAMI, J.S.; VILLIBOR, D.F. Caracterização e classificação gerais de solos para pavimentação: Limitações do método tradicional, apresentação de uma nova sistemática. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 15., 1980, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: Associação Brasileira de Pavimentação, 1980.

NOGAMI, J.S.; VILLIBOR, D.F. **Soil Characterization of Mapping Units for Highway Purposes in Tropical Areas**. - Bulletin of the International Association of Engineering Geology, Krefeld, n.19, p.196-199, 1979.

OLIVEIRA, A.M.S.; BRITO, S.N.A. **Geologia de Engenharia**. São Paulo: ABGE/CNPq/FAPESP, 1998. 513p.

OLIVEIRA, J.B.; CAMARGO, M.N.; ROSSI, M.; CALDERANO FILHO, O. – **Mapa Pedológico do Estado de São Paulo**. Escala 1:500.000. Instituto Agrônômico de Campinas (IAC). Campinas. 1999.

PONTE, C. P. **Análise e propostas mitigadoras de problemas relacionados a enchentes na bacia do ribeirão Guaratinguetá, município de Guaratinguetá, SP.** Projeto Integrado (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2002, 65p.

REGGIANI, A. G. **Aspectos relativos à inundação da sub-bacia do ribeirão dos Mottas.** Projeto Integrado (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 1999, 96p.

SALOMÃO, F.X.T.; IWASA, O.Y. Erosão e a ocupação rural e urbana. In: BITAR, O.Y. (Org.) **Curso de Geologia Aplicada ao Meio Ambiente.** São Paulo: ABGE/IPT, 1995, p. 31.

SECRETARIA DE PLANEJAMENTO E COORDENAÇÃO DA PREFEITURA MUNICIPAL DE GUARATINGUETÁ, SP. **Isoietas do município de Guaratinguetá.** Base: 2009 – Escala gráfica: 300 metros. Escala nominal: 1:10000. Base digital: AutoCAD (.dwg).

SECRETARIA DE PLANEJAMENTO E COORDENAÇÃO DA PREFEITURA MUNICIPAL DE GUARATINGUETÁ, SP. **Mapeamento do perímetro urbano.** Base: 2008 – Escala gráfica: 300 metros. Escala nominal: 1:10000. Base digital: AutoCAD (.dwg).

SECRETARIA DE PLANEJAMENTO E COORDENAÇÃO DA PREFEITURA MUNICIPAL DE GUARATINGUETÁ, SP. **Mapeamento pluviométrico do município de Guaratinguetá.** Base: 2009 – Escala gráfica: 300 metros. Escala nominal: 1:10000. Base digital: AutoCAD (.dwg).

SILVA, J.U.L. -2000- **Balanco Hídrico na região de Guaratinguetá, São Paulo - Brasil.** In: XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental.

SILVA, J.U.L. & SILVA, E.A.N. -2000- **Climatologia da região de Guaratinguetá, São Paulo - Brasil.** In: IX Simpósio Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Porto Alegre.

SIMÕES, S. J. C. et al. **Variabilidade espacial da precipitação do potencial de erosão e seus efeitos na sedimentação de um pequeno reservatório.** In: Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 12, n. 3, p. 177-187, 2007.

SOARES, P.V. **As interrelações de elementos do meio físico natural e modificado na definição de áreas potenciais de infiltração na porção paulista da bacia do rio Paraíba do Sul.** 2005. 192 f. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

SÓRIA, M.H.A. – **Reflexões lógicas sobre classificação de solos.** Tese de Doutorado. EESC-USP, 1985.

SOUZA, R. L. **Quantificação da expansão urbana no Município de Guaratinguetá (SP) entre os anos de 1986 e 2007 por dados de sensoriamento remoto e técnicas de geoprocessamento.** Projeto Integrado (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2008, 85p.

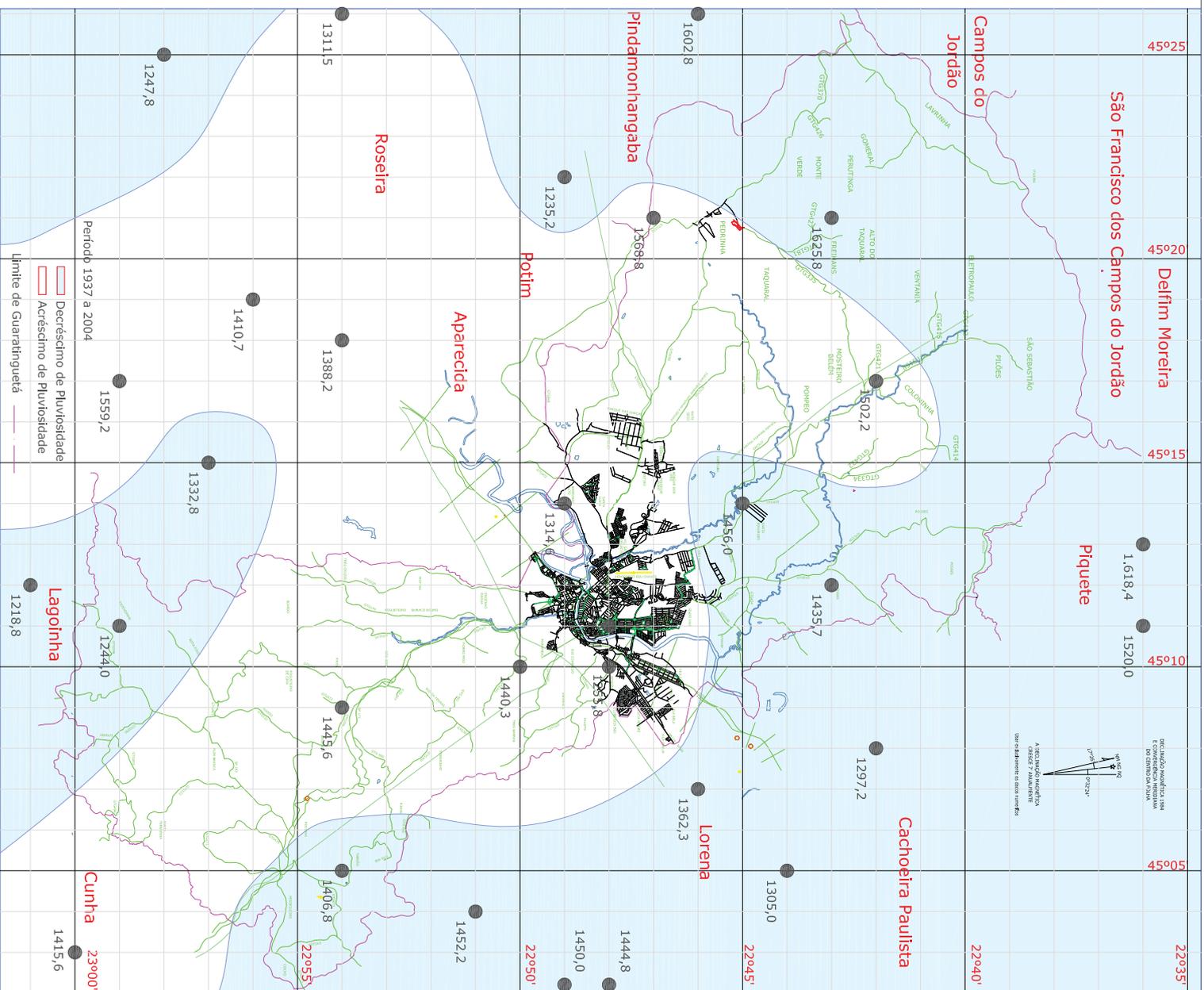
**Tabela de rugosidades de superfícies de Manning.** Disponível em: [http://www.deg.ufla.br/professores/jacinto\\_carvalho/eng191/tabelas.pdf](http://www.deg.ufla.br/professores/jacinto_carvalho/eng191/tabelas.pdf). Acesso em 31 de Março de 2010.

VERTAMATTI, E. **Contribuição ao conhecimento geotécnico de solos da Amazônia com base na investigação de aeroportos e metodologias MCT e Resiliente.** 1988. 156 f. Tese (Doutorado em Ciência) – Divisão de Infra-estrutura Aeronáutica, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 1988.

VERTAMATTI, E.; ARAÚJO, F. A. R. **Elaboração de ábaco de erodibilidade de solos tropicais.** In: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 11., 1988, Brasília/DF. Anais Brasília/DF...:ABMS, 1998.

WISCHMEIER, W.H., SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses – a guide to conservation planning.** Washington: USDA/ARS, 1978. 58p. (Agricultural Handbook n<sup>o</sup>. 573).





**unesp** INSTITUTO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO DA UNESP

TRABALHO DE GRADUAÇÃO

RENAN BARBOSA ROSSETTI

**ANEXO B**

FIGURA DO MAPA DE AUMENTO DAS PRECIPITAÇÕES MÉDIAS NO MUNICÍPIO DE GUARATINGUETÁ AO PERÍODO DE 1937 A 2004.

FONTE: SECRETARIA DE COORDENAÇÃO E PLANEJAMENTO DA PREFEITURA MUNICIPAL DE GUARATINGUETÁ, SP.

FOLHA: 02/04 FIGURA 5/ ESCALA



Região Serra da Mantiqueira

- ÁREAS DE ALAGAMENTO ELABORADAS PELA PREFEITURA COM BASE NAS ENCHENTES DO ANO 2000
- ÁREAS DE ALAGAMENTO ACRESCENTADAS PELO AUTOR
- ÁREAS DE DESAMORTIZAMENTOS E EROÇÃO ELABORADAS PELA PREFEITURA
- ÁREAS DE DESAMORTIZAMENTOS E EROÇÃO ACRESCENTADAS PELO AUTOR

**unesp** UNIVERSIDADE ESTADUAL DE SÃO PAULO

TRABALHO DE GRADUAÇÃO

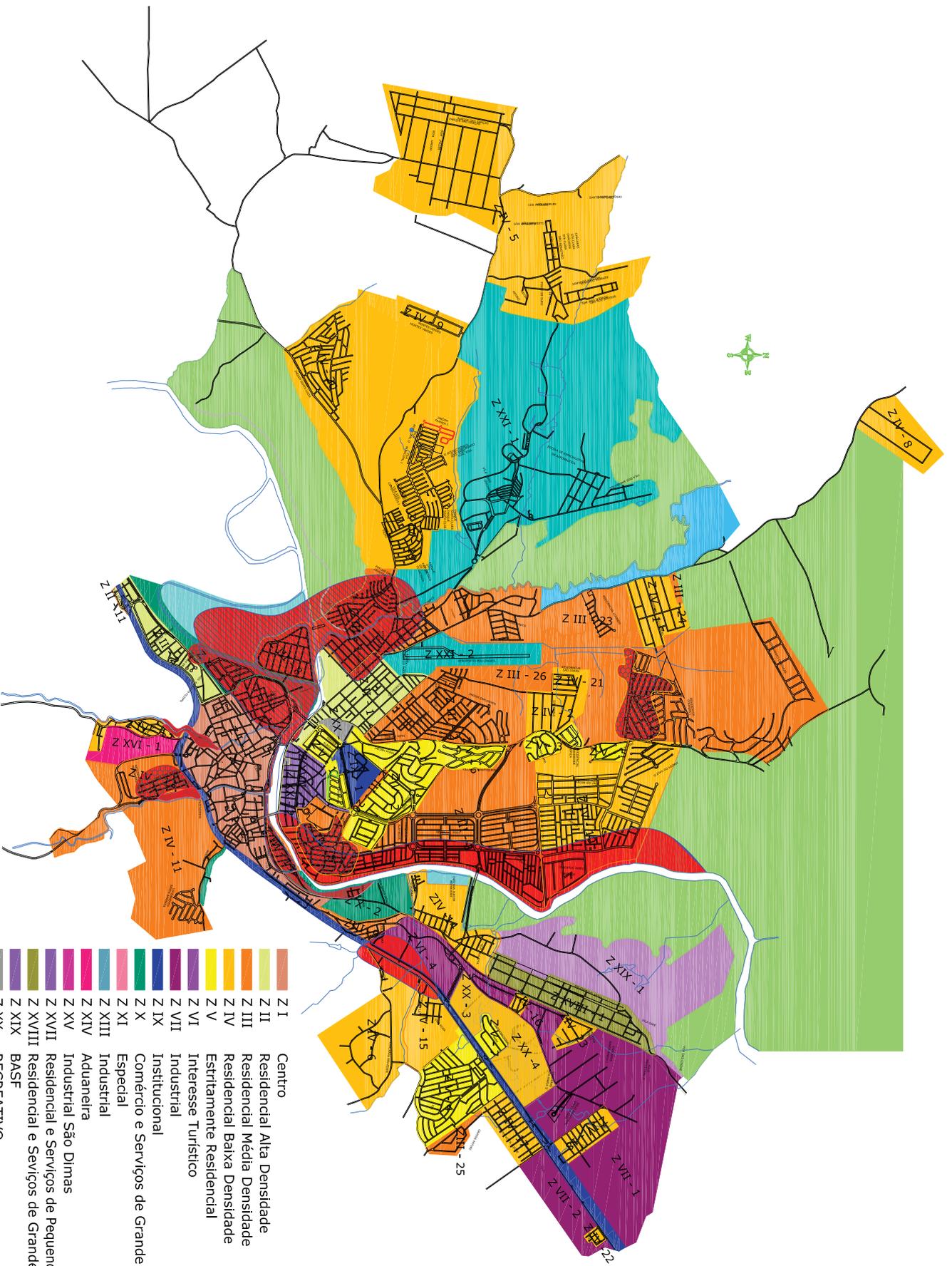
RENAN BARBOSA ROSSETTI

**ANEXO C**

FIGURA DO MAPA DE ÁREAS DE RISCO ESTUDADAS DO MUNICÍPIO DE GUARATINGETÁ

FONTE: SECRETARIA DE COORDENAÇÃO E PLANEJAMENTO DA PREFEITURA MUNICIPAL DE GUARATINGETÁ, SP E AGENCIA NACIONAL DE ÁGUA (ANA, 2007).

FOHJA-03/04 | FIGURA 5 | ESCALA



- |   |         |   |
|---|---------|---|
|    | Z I     | Centro                                  |
|   | Z II    | Residencial Alta Densidade              |
|  | Z III   | Residencial Média Densidade             |
|  | Z IV    | Residencial Baixa Densidade             |
|  | Z V     | Estritamente Residencial                |
|  | Z VI    | Interesse Turístico                     |
|  | Z VII   | Industrial                              |
|  | Z IX    | Industrial                              |
|  | Z X     | Comércio e Serviços de Grande Porte     |
|  | Z XI    | Especial                                |
|  | Z XIII  | Industrial                              |
|  | Z XIV   | Aduaneira                               |
|  | Z XV    | Industrial São Dimas                    |
|  | Z XVII  | Residencial e Serviços de Pequeno Porte |
|  | Z XVIII | Residencial e Serviços de Grande Porte  |
|  | Z XIX   | BASF                                    |
|  | Z XX    | RECREATIVO                              |
|  | Z XXI   | MILITAR                                 |
|  |         | Proteção aos Mananciais                 |
|  |         | Preservação Agrícola                    |
|  |         | Preservação Permanente                  |

**ÁREAS DE RISCO DE GUARATINGUETÁ, SP**  
 ELABORADAS PELO AUTOR

**Unesp**

TRABALHO DE GRADUAÇÃO  
 RENAN BARBOSA ROSETTI

**ANEXO D**

FIGURA DO MAPA DE USO E OCUPAÇÃO  
 DO SOLO COM AS ÁREAS DE RISCO ESTIPULADAS  
 PARA O MUNICÍPIO DE GUARATINGUETÁ.

FONTE: SECRETARIA DE COORDENAÇÃO  
 E PLANEJAMENTO DA PREFEITURA MUNI-  
 CIPAL DE GUARATINGUETÁ, SP.  
 FOLHA: 04/04 FIGURA 8 ESCALA