



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

ÉRIK RAFAEL AMARO

IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS SUJEITAS A PROCESSOS EROSIVOS NA
ÁREA URBANA DO MUNICÍPIO DE APARECIDA, SP.

Guaratinguetá, SP – Brasil

2012

ÉRIK RAFAEL AMARO

**IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS SUJEITAS A PROCESSOS EROSIVOS NA
ÁREA URBANA DO MUNICÍPIO DE APARECIDA, SP.**

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

2012

A48
5i Amaro, Érik Rafael
Identificação de áreas sujeitas a processos erosivos na área urbana do município de Aparecida, SP / Érik Rafael Amaro – Guaratinguetá : [s.n], 2012.

94 f. : il.

Bibliografia : f. 73-82

Trabalho de Graduação em Engenharia Civil – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2012.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Eduardo de Oliveira

1. Erosão I. Título

CDU 624.131.6

**IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS SUJEITAS A PROCESSOS EROSIVOS NA ÁREA
URBANA DO MUNICÍPIO DE APARECIDA-SP**

ÉRIK RAFAEL AMARO

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. Yzumi Taguti
COORDENADOR

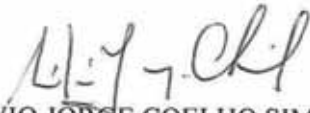
BANCA EXAMINADORA:



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



Prof. Dr. JUÉRCIO TAVARES DE MATTOS
UNESP-FEG



Prof. Dr. SILVÍO JÓRGE COELHO SIMÕES
UNESP-FEG

Dezembro de 2012

DADOS CURRICULARES

ÉRIK RAFAEL AMARO

NASCIMENTO	28.07.1990 – SÃO JOSÉ DOS CAMPOS / SP
FILIAÇÃO	José Aparecido Amaro Dionéia Matilde Amaro
2008 – 2012	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, absolutamente presente em todos os momentos de minha vida. Seu apoio foi fundamental para o sucesso obtido todos esses anos.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus, autor da vida,
ao meu orientador, *Prof. Dr. Luiz Eduardo de Oliveira*, que com sua dedicação, sabedoria e incentivo muito me auxiliou na elaboração deste trabalho,
à *Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP)*, que financiou o projeto de pesquisa que originou este trabalho,
aos meus pais *José Aparecido Amaro* e *Dionéia Matilde Amaro*, que com amor e dedicação e carinho me apoiaram nos meus estudos, estando sempre ao meu lado,
à *Wilson Roberval Pinto* e *Vera Lúcia Vidal Pinto*, que me acompanharam durante toda a minha faculdade, dedicando seu tempo e amor à minha formação,
à *Pérsio Mozart Pinto* e *Bruno Robson Pinto*, que sempre estiveram ao meu lado durante todo o tempo de faculdade,
a todos os meus amigos de faculdade e colegas de turma, por todas as experiências compartilhadas, pelos sentimentos de amizade e de união que fortaleceram a caminhada e pelos bons momentos vividos, transformados em recordações para toda a vida,
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,
ao quadro de funcionários da Biblioteca, que sempre estavam disponíveis para contribuir para minha formação acadêmica,
à todos os funcionários responsáveis pela manutenção, conservação patrimonial, limpeza e segurança do campus da faculdade, que tornam o ambiente propício ao estudo.

*“A altura das suas realizações será igual à
profundidade das suas convicções.”*

William F. Scolavino

AMARO, E. R. **Identificação de áreas sujeitas a processos erosivos na área urbana do município de Aparecida, SP.** 2012. 94f. Trabalho de Graduação em Engenharia Civil – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2012.

RESUMO

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. Essa movimentação, associada à ausência de planejamentos, permitiu a ocupação de áreas com potencial para ocorrências de erosões. O Município de Aparecida pode ser citado como um exemplo deste processo.

Essas ocupações irregulares geram grandes danos materiais e prejuízos humanos condicionados ao movimento de massas de solo, resultante do desenvolvimento de processos erosivos. 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 e consultas a mapas representativos do meio físico, como meios conclusivos para a delimitação e áreas de riscos com potencial para ocorrência de processos erosivos notadamente nas regiões em processo de expansão urbana do município de Aparecida, SP. Nessas áreas foram determinadas algumas propriedades geotécnicas dos solos presentes, avaliando-se o potencial de erodibilidade dos mesmos. Também são apresentadas as descrições das principais características dessas áreas identificadas como sendo de risco, juntamente com propostas para evitar ou diminuir os impactos dos problemas relacionados à processos erosivos sobre a população local.

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

AMARO, E. R. **Identifying areas subject to erosion process in the urban area of Aparecida, SP.** 2012. 94f. Report of Graduation in Civil Engineering – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2012.

ABSTRACT

Historically, in Brazil, the process of urbanization and city growth was due to the intense migration of rural population to urban areas, especially in the last thirty years. This move, combined with a lack of planning, allowed the occupation of areas with potential for occurrences of erosion. The city of Aparecida, SP can be cited as an example of this process.

These irregular occupations generate large material damage and human losses conditioned on mass movement of soil, resulting from the development of erosive processes. So, it is of great importance to physical characterization and identification of these areas within the same city map as a way to minimize the effects and mitigate the consequences of events.

Thus, this work presents a series of graduate field campaigns, geotechnical laboratory testing and consultation with representative maps of the physical environment, as a means conclusive for delimitation of areas with potential risk for the occurrence of erosion, especially in areas undergoing urban expansion of the city Aparecida, SP. These areas were determined some geotechnical properties of soils present, evaluating the potential erodibility of them. Also presented are the descriptions of the main characteristics of these areas identified as being at risk, along with proposals to avoid or minimize the impact of problems related to erosion processes on the local population.

KEYWORDS: Erosion. Urban Perimeter. Risk areas.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Faixas de erodibilidade (Ábaco MCT)	22
Figura 2	Ensaio (a) infiltrabilidade e (b) erodibilidade específica	23
Figura 3	Critério de erodibilidade MCT	25
Figura 4	Ábaco de erodibilidade para solos tropicais	27
Figura 5	Visão aérea (parcial) da área urbana do município de Aparecida, SP	31
Figura 6	Folhelho	34
Figura 7	Conglomerado	35
Figura 8	Mapa geológico que engloba o município de Aparecida	36
Figura 9	Mapa de solos simplificado do Vale do Paraíba do Sul	38
Figura 10	Série Temporal da precipitação no Vale do Paraíba	41
Figura 11	Vista parcial de via pavimentada no Bairro São Roque/Aroeira	54
Figura 12	Vista geral da escavação de encosta para construção de edificação	55
Figura 13	Escavação de encosta para construção de edificação	55
Figura 14	Escavação de encosta para construção de edificação	55
Figura 15	Vista geral da Rua José Crispim Filho	56
Figura 16	Vista parcial da Rua José Crispim Filho	56
Figura 17	Vista parcial da porção final da Rua José Marcelino Loyola	57
Figura 18	Vista parcial da porção final da Rua José Marcelino Loyola	58
Figura 19	Vista parcial de terreno preparado para a construção de novas edificações	58
Figura 20	Vista parcial da via de acesso ao Bairro São Francisco	59
Figura 21	Vista parcial do talude de corte na encosta	59
Figura 22	Vista parcial do talude de corte na encosta	60
Figura 23	Vista de edificação construída no morro	60

Figura 24	Vista parcial da encosta com erosões intensas	61
Figura 25	Vista parcial das edificações implantadas na encosta	61
Figura 26	Vista parcial da rua de acesso ao Bairro Santa Luzia	62
Figura 27	Vista parcial da rua de acesso ao Bairro Santa Luzia	62
Figura 28	Vista parcial da encosta localizada nas proximidades de Basílica Nacional de Nossa Senhora Aparecida	63
Figura 29	Vista parcial da encosta localizada no bairro Itaguaçu	64
Figura 30	Vista parcial da rua Itapetininga no bairro Itaguaçu	64
Figura 31	Mosaico com as fotos das amostras coletadas em visitas de campo	65
Figura 32	Plasticidade das amostras	67
Figura 33	Granulometria das amostras	67
Figura 34	Ábaco classificatório MCT-M	69
Figura 35	Ábaco classificatório MCT-M com identificação dos Graus de Erosão Associados (GEA) para solos tropicais juntamente com a classificação das amostras coletadas	70
Figura 1A	Arranjo de equipamento para a compactação do solo	86
Figura 2A	Curvas de deformabilidade	86
Figura 3A	Curva c' x Mini-MCV	86
Figura 4A	Tanque de imersão com corpo de prova e recipiente de coleta	87
Figura 5A	Coeficientes de correção da P_i em função da forma da porção desprendida	88
Figura 6A	Curva P_i x Mini-MCV	89
Figura 7A	Ábaco de atributos das curvas P_i x Mini-MCV	89
Figura 8A	Ábaco MCT-M para classificação de solos tropicais	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Características dos grupos MCT	21
Tabela 2	Agentes causadores da erosão	48
Tabela 3	Resultados da caracterização geotécnica	66
Tabela 4	Parâmetros classificatórios MCT e classificações MCT-M das amostras	68

LISTA DE ANEXOS

- ANEXO A: Proposta de alteração dos procedimentos para classificação MCT de solos tropicais
- ANEXO B: Indicações dos locais de coleta das amostras de solo e das áreas que apresentam ocorrências de processos erosivos no município de Aparecida, SP.
- ANEXO C: Levantamento topográfico plani-altimétrico da área com erosões no bairro São Francisco, no município de Aparecida-SP.

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Altura inicial do corpo de prova
A_{4n}	Altura do corpo de prova após 4n golpes
a_n	Diferença de altura
A_n	Altura do corpo de prova após o número de golpes n
A_t	Atributo
B	Número de golpes que resulta da intersecção da curva Mini-MCV com a reta de equação $a_n = 2,00\text{mm}$.
c'	Coefficiente angular da parte da curva ($\Delta A_n \times \text{Golpes}$) mais inclinada e retilínea
e'	Expressão matemática
H_e	Teor de umidade de compactação
IP	Índice de Plasticidade
K	Fator de correção.
M_d	Massa de solo seco da porção desprendida do corpo de prova
M_g	Massa úmida do corpo de prova
M_s	Massa seca em estufa do corpo de prova
P_i	Perda de massa por imersão

LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES

EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FEG	Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá
GEA	Grau de Erosão Associado
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MCT-M	Miniatura, Compactado, Tropical – Modificado
MINI-MCV	MCV miniatura
RCSB	Rift Continental do Sudeste do Brasil
UNESP	Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
USCS	Unified Soil Classification System

5.2. Relevo e Cobertura Vegetal	44
5.3. Definição de Erosão	45
5.4. Processos e Formas Erosivas	45
5.5. Erosão em Voçorocas	49
5.6. Erodibilidade do Solo	50
5.7. Erosividade do Solo	52
6. RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÕES	54
7. CONCLUSÕES	72
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73
9. ANEXOS	83

1. INTRODUÇÃO

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 (CANIL, 2001). 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.

Na cidade de Aparecida-SP, um importante pólo turístico religioso do Brasil, observou-se um aumento populacional bastante expressivo nos últimos anos. O turismo tem atraído, anualmente, cerca de 8 milhões de romeiros, fazendo da área central da cidade um pólo hoteleiro para atender a esta demanda. Aparecida, segundo dados do IBGE/CENSO 2010, possui uma população de aproximadamente 35 mil habitantes, com 98% destes residindo em área urbana. Boa parte da população, que se dedica à produção de souvenirs e sua comercialização, à hotelaria e ao setor de alimentação, foram impelidas a residir em áreas de risco de ocorrência de erosões e/ou deslizamentos, na periferia da cidade.

A erosão em áreas de expansão urbanas brasileiras é função, dentre outros fatores, da topografia e da inadequação da infraestrutura implantada. Bertoni e Neto (1999) destacam como principais contribuintes para os processos erosivos, os fatores climáticos, a vegetação e as propriedades dos solos. A erodibilidade do solo é um dos principais fatores condicionantes da erosão, estando intimamente relacionada com as suas propriedades geotécnicas.

A erosão tem provocado vários problemas para o ser humano. Constantemente, ocorrem deslizamentos de terra em regiões habitadas, principalmente em regiões carentes, provocando o soterramento de casas e mortes de pessoas. Os prejuízos econômicos também são significativos, pois, comumente, as erosões provocam interdições de rodovias, ferrovias e de outras vias de transporte.

2. OBJETIVO

A proposta do trabalho de graduação objetivou identificar, a partir de uma série de campanhas de campo, ensaios geotécnicos laboratoriais e consultas a mapas representativos do meio físico, as áreas de riscos com potencial para ocorrência de processos erosivos, notadamente nas regiões em processo de expansão urbana do município de Aparecida, SP. Nessas áreas foram determinadas algumas propriedades geotécnicas dos solos presentes, avaliando-se o potencial de erodibilidade dos mesmos.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para execução do plano de trabalho, utilizou-se a infraestrutura da Faculdade de Engenharia, Campus de Guaratinguetá (FEG-UNESP), composta pela biblioteca, o pólo computacional e os laboratórios de Transportes e Mecânica dos Solos. Contou-se, ainda, com o apoio do técnico de laboratório, Élson Faria de Vasconcelos, na execução das atividades de campo e laboratório.

Foram levantadas diversas informações sobre o meio físico, consultando-se mapas e imagens de satélites, e realizando-se campanhas de campo.

Na Prefeitura Municipal de Aparecida, mais especificamente nas Secretarias de Obras e Viação e de Planejamento, foram solicitadas informações sobre os empreendimentos imobiliários legalizados e sobre aqueles considerados clandestinos. Entretanto, infelizmente, grande parte das informações não foi disponibilizada pela Prefeitura.

Ao Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Aparecida (SAAEA), 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.

Campanhas de campo foram realizadas, objetivando o conhecimento da área periurbana do município e a identificação dos problemas ambientais decorrentes de processos erosivos. Durante essas campanhas, todos os pontos de interesse foram identificados pelas suas coordenadas geográficas, determinadas com o aparelho GPS – marca *GARMIN eTrex Legend*.

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. Foram identificadas áreas com ocupações de encostas, nas quais se desenvolvem feições erosivas no solo. Assim, foram selecionados os seguintes bairros: São Roque, Aroeira, São Francisco, Santa Luzia, São Geraldo e Itaguaçu.

Nas localidades acima referidas, foram coletadas amostras representativas dos solos superficiais, através da abertura de trincheiras, as quais foram submetidas a ensaios de caracterização geotécnica básica, 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);
- Ensaio de Mini-MCV, executado conforme a proposta apresentada por Marson (2004). (Anexo A).

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 esmeralizada 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). Adotando-se os procedimentos apresentados por Vertamatti e Araújo (1998), 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.

3.1. METODOLOGIA MCT

3.1.1. CRITÉRIOS DE ERODIBILIDADE BASEADOS NA METODOLOGIA MCT

Com base na Metodologia MCT (Miniatura, Compactado, Tropical) de classificação de solos tropicais (NOGAMI E VILLIBOR, 1981) são reunidos, neste item, os critérios de erodibilidade.

3.1.1.1. – ESTIMATIVA DA ERODIBILIDADE DOS SOLOS TROPICAIS COM BASE NA CLASSIFICAÇÃO MCT

Segundo Nogami e Villibor (1979), a classificação MCT discute as lacunas deixadas pelas classificações geotécnicas tradicionais e pela isolada associação de pedologia e geologia na previsão do comportamento dos solos tropicais frente à erosão. Um resumo das características de solos naturais dos grupos MCT quanto à erodibilidade é apresentado na Tabela 1 (BASTOS, 1999).

Outras especificações do comportamento dos solos frente à erosão, baseadas na classificação MCT, são apresentadas em Villibor et al. (1986) e Pastore (1986).

Tabela 1 - Características dos grupos MCT quanto à erosão em cortes.

Fonte: (BASTOS,1999) modificado de (NOGAMI & VILLIBOR, 1995)

GRUPO MCT	NA	NA'	NS'	NG'	LA	LA'	LG'
ERODIBILIDADE*	B, M, E	B, M, E	B, M, E	M, E	B	B	B
FORMAS DE EROSIÃO*	Desag E	Desag M	Sulcos E	Sulcos e Desag E	Firme	Desag B	Desag B

Abreviaturas B = Baixo, M = Médio, E = Elevado, Desag = Desagregações.

Referem-se à erosão de taludes de corte em solos isotrópicos e homogêneos, inclinados de 45° a 60°, em condições climáticas do estado de São Paulo

Villibor et al (1986) reconhece como solos erodíveis aqueles classificados como NS; como potencialmente erodíveis os solos LA e LA' e como resistentes à erosão os solos LG'. As demais classes têm erodibilidade condicionada a outras propriedades, o que dificulta a previsão do comportamento frente à erosão pela classificação MCT.

O emprego da classificação MCT modificada (MCT-M) na caracterização da erodibilidade foi apresentado em Vertamatti e Araújo (1990) e Vertamatti et al. (1990). Com base no comportamento frente à erosão de taludes rodoviários no interior de São Paulo e em aeroportos de Santarém/PA e Manaus/AM, foram definidos graus de erosão (Grau de Erosão Associado – GEA, segundo Vertamatti e Araújo, 1998):

- Erosão grau zero: talude intacto;
- Erosão grau um: talude pouco erodido com sulcos esparsos;
- Erosão grau dois: talude medianamente erodido com sulcos freqüentes;
- Erosão grau três: talude muito erodido, com desconfiguração total da face do talude e sulcos muito freqüentes e interligados.

Os autores propõem a distinção de três faixas de erodibilidade no gráfico classificatório MCT-M (VERTAMATTI, 1998 apud VERTAMATTI et al. 1990) (Figura 1). Mesmo havendo a superposição de faixas com as classes de solos, de uma maneira geral, os solos lateríticos correspondem ao grau zero, os transicionais aos graus 1 e 2 e os solos saprolíticos ao grau 3 de erosão (BASTOS, 1999).

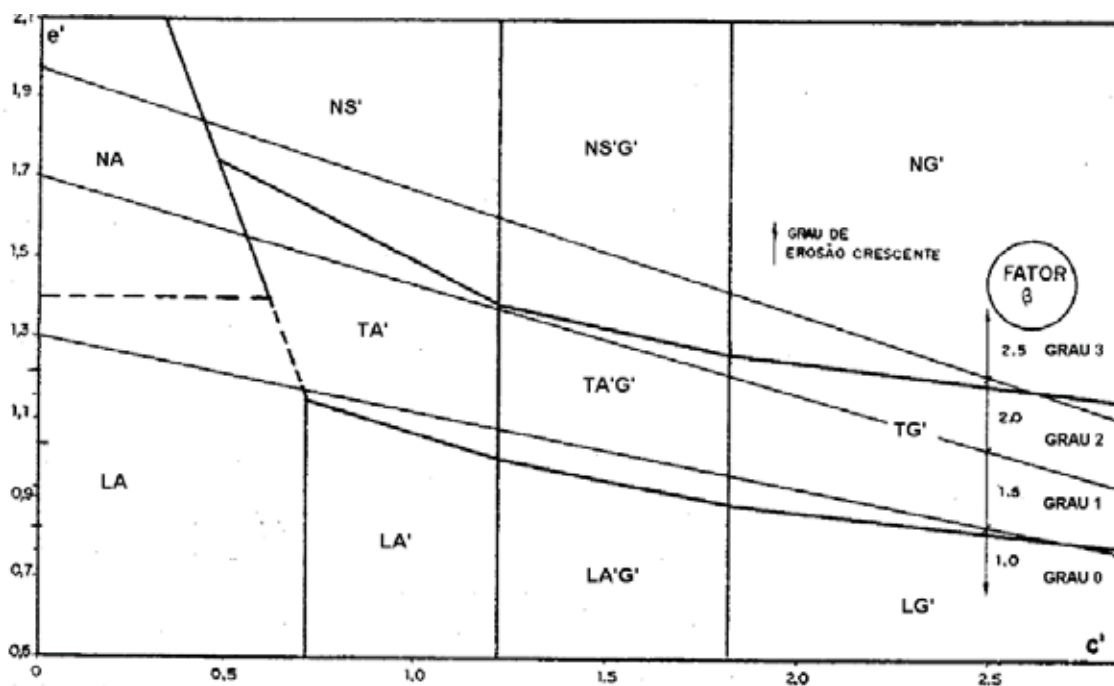


Figura 1 - Faixas de erodibilidade definidas sobre o ábaco classificatório MCT modificado.

Fonte: Vertamatti e Araújo (1990).

3.1.1.2 – CRITÉRIO DE ERODIBILIDADE MCT (NOGAMI E VILLIBOR, 1979)

Segundo Bastos (1999), o Professor Job Nogami desenvolveu uma nova metodologia para avaliação qualitativa da erodibilidade dos solos tropicais, em razão da grande preocupação gerada em virtude dos fenômenos erosivos em taludes de corte e o insucesso na aplicação dos critérios do LNEC e do ensaio de Philipponat para cortes em solos do estado de São Paulo. Segundo Nogami, um método adequado à previsão da erodibilidade deve levar em conta o efeito da secagem sobre o comportamento dos solos sob inundação, a taxa de infiltração d'água através da superfície do talude e a necessidade do uso de amostras indeformadas nos ensaios.

O critério de erodibilidade, apresentado em Nogami e Villibor (1979), é essencialmente empírico e baseado na correlação com o comportamento frente à erosão de um grande número de cortes no estado de São Paulo. As duas propriedades que permitem prever o comportamento dos solos tropicais frente à erosão hídrica são a infiltrabilidade e a erodibilidade específica. Ensaio específicos para quantificar estas propriedades foram incorporados à Metodologia MCT e são esquematizados na Figura 2.

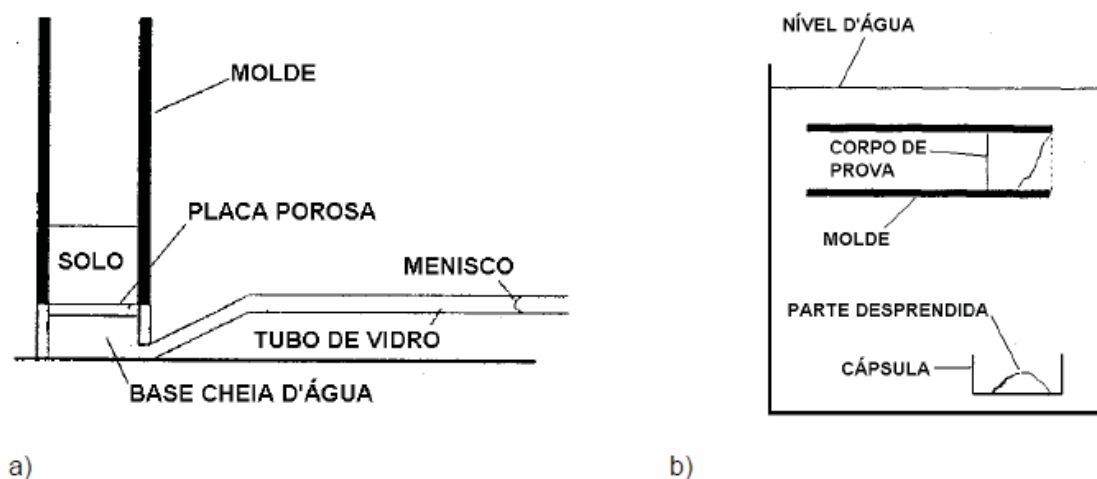


Figura 2 - Ensaio (a) infiltração e (b) erodibilidade específica (Perda por imersão - modificado) da Metodologia MCT. Fonte: Nogami e Villibor (1995)

A *infiltrabilidade*, propriedade hidráulica de solos não saturados, representa a facilidade com que a água infiltra no solo através de sua superfície. É controlada, sobretudo pelas tensões de sucção. Nos climas tropicais e subtropicais úmidos, apesar da elevada pluviosidade, devido à forte evapotranspiração e a boa drenagem da maioria dos solos residuais, a infiltrabilidade é mais representativa que a permeabilidade saturada como a propriedade que regula a quantidade de escoamento superficial. A velocidade com que ocorre a infiltração é medida em um ensaio específico pelo coeficiente de sorção (“sorptivity”).

O chamado ensaio de infiltrabilidade consiste em submeter uma amostra cilíndrica, confinada lateralmente pelo tubo de amostragem, a um fluxo ascendente por ascensão capilar. A velocidade de infiltração é quantificada através da cronometragem do fluxo por um tubo capilar horizontal no nível da base da amostra. Os resultados das leituras da distância percorrida no tubo capilar são plotados pelo tempo cronometrado (em $\text{min}^{1/2}$). Uma curva ajustada aos pontos mostra um nítido encurvamento, com um íngreme trecho retilíneo inicial seguido por outro de tendência horizontal, significando que a frente de umidade atinge o topo do corpo de prova. O gradiente do trecho retilíneo inicial da curva é o coeficiente de sorção s (em $\text{cm}/\text{min}^{1/2}$). O valor de s é geralmente determinado em amostras na umidade natural e em amostras previamente secas ao ar. No caso de amostras compactadas pode ser interessante a realização do ensaio para diferentes umidades de compactação.

A *erodibilidade específica* é avaliada por um ensaio de massa por imersão, similar aquele estabelecido pela Metodologia MCT como ensaio classificatório. Amostras indeformadas do solo, confinadas lateralmente pelo tubo de amostragem e com topo coincidente com a borda do tubo, são imersas em água por um período de 20 horas. O percentual de perda de solo seco em massa em relação ao peso seco total da amostra representa a erodibilidade específica (P_i).

A partir dos dados de coeficiente de sorção e perda de massa por imersão modificado, Nogami e Villibor (1979) estabelece a relação $P_i/s=52$ como limite ao critério de erodibilidade. Solos com $P_i/s > 52$ são considerados erodíveis, alertando para adequadas medidas de proteção à erosão em talude de corte. Em Nogami e Villibor (1995) o mesmo critério é proposto, mas expresso graficamente **Erro! Fonte de referência não encontrada.** Baseado em um maior número de ensaios (também com

solos paulistas), em Pejo (1992) (apud VILAR & PRANDI, 1993) é proposta uma modificação ao limite do critério para $\pi/s=40$.

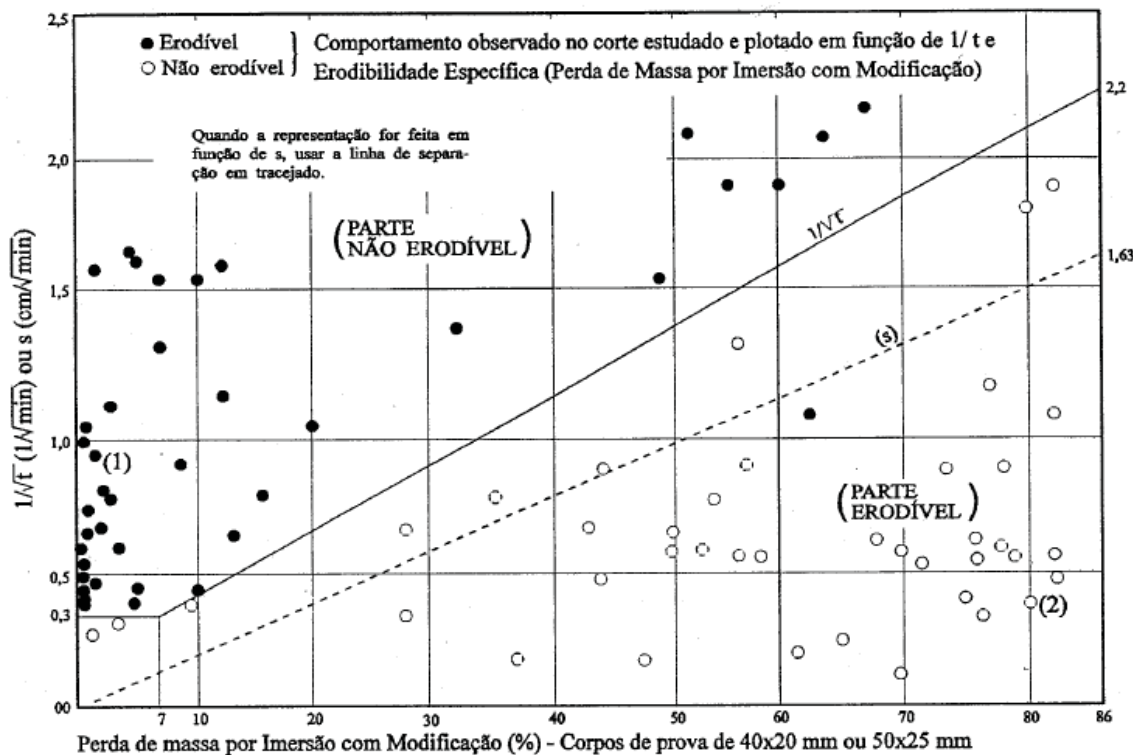


Figura 3 - Critério de erodibilidade MCT. Fonte: Nogami e Villibor (1995)

Este critério de erodibilidade MCT foi aplicado por Alcântara (1997) na avaliação da erodibilidade de solos da região de São Carlos/SP e de Salvador/BA, mostrando-se eficiente na identificação de solos erodíveis.

3.1.1.3 – CRITÉRIOS DE ERODIBILIDADE BASEADO NA METODOLOGIA MCT-M E CURVAS DE SUÇÃO – ÁBACO DE ERODIBILIDADE PARA SOLOS TROPICAIS (VERTAMATTI E ARAÚJO, 1990 E 1998)

Um critério para previsão do potencial erosivo de solos tropicais, baseado no chamado fator genético e na propriedade de retenção d'água dos solos (sucção), foi apresentado em Vertamatti e Araújo (1990). O fator genético é considerado através da

Metodologia MCT-M e a retenção d'água são caracterizadas pelo levantamento de curvas de sucção desde pastilhas cortadas de corpos de prova compactados. Segundo os autores, os critérios levam em conta a interpretação da fenomenologia dos processos erosivos com base em novas variáveis, em especial na sucção, antes não contemplada nos estudos geotécnicos sobre erosão (BASTOS,1999).

Em Vertamatti e Araújo (1990) é definido o fator E de erodibilidade dos solos. O parâmetro considera um índice que expressa o desenvolvimento das curvas de sucção e outro obtido a partir da classificação do solo pela Metodologia MCT-M. O fator E é dado por:

$$\text{Fator E} = \alpha \cdot \beta$$

Onde $\alpha = \theta_1 w_s$ θ_1 é a inclinação da curva de sucção no trecho de 0 a 30 kPa, representando a capacidade de retenção de umidade do solo para baixa sucção e w_s é a umidade de saturação da amostra, relacionada indiretamente porosidade do solo. O fator β varia de 1 a 2,5 e representa pesos estipulados para cada uma das faixas de erosão traçadas sobre o ábaco classificatório da Metodologia MCT-M (Figura 1).Convém destacar que todos parâmetros envolvidos no critério são obtidos de amostras compactadas. Segundo os autores, ensaios com amostras indeformadas mostraram a mesma tendência.

O critério estabelecido a partir do fator E é o seguinte:

Fator E < 3 – Solo muito pouco erodível

3 < Fator E < 5 – Solo pouco erodível

5 < Fator E < 8 – Solo medianamente erodível

Fator E > 8 – Solo muito erodível

Vertamatti e Araújo (1995 e 1998) aperfeiçoaram o critério, apresentam um ábaco de erodibilidade para solos tropicais, estabelecido com base no tratamento

estatístico de cerca de quarenta solos ensaiados pela Metodologia MCT-M e com suas respectivas curvas de sucção levantadas.

O ábaco de erodibilidade proposto tem como parâmetros de entrada valores de $100tg\theta$ e $100e'$, onde θ agora traduz a inclinação da curva de sucção no trecho de 0 a 10kPa e e' corresponde a um índice classificatório da Metodologia MCT-M relacionado à perda por imersão. No ábaco são individualizados três faixas de erodibilidade (Figura 4).

Faixa I – Solos Pouco Erodíveis

Faixa II – Solos Medianamente Erodíveis e

Faixa III – Solos Muito Erodíveis

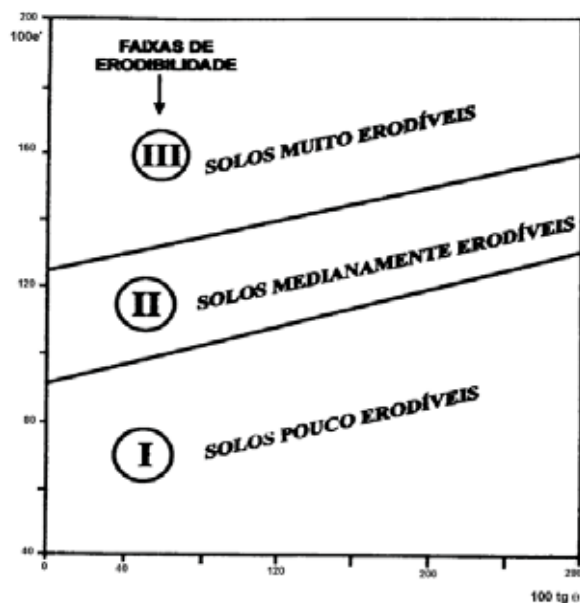


Figura 4 - Ábaco de erodibilidade para solos tropicais. Fonte: Vertamatti e Araújo (1998)

3.1.2 – ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO PELA METODOLOGIA MCT

A classificação geotécnica dos solos pela Metodologia MCT (Miniatura, Compactado, Tropical) foi proposta em Nogami e Villibor (1981) e também apresentada, com vistas ao meio geotécnico em geral, em Cozzolino e Nogami (1993).

O conjunto de ensaios preconizados pela metodologia é detalhado em Nogami e Villibor (1995).

Para a classificação geotécnica MCT são utilizados coeficientes empíricos obtidos em dois ensaios, atualmente regulamentados por normas rodoviárias do DNER (Departamento Nacional de Estradas de Rodagem).

- Ensaio de compactação dinâmica Mini-MCV (Norma DNER-ME 258/94 – Solos compactados em equipamento miniatura – Mini-MCV) e
- Ensaio de perda de massa por imersão (Norma DNER-ME 256/94 – Solos compactados por equipamento miniatura – Determinação da perda de massa por imersão).

Nestes ensaios foram utilizadas amostras deformadas dos solos secas ao ar e passantes na peneira de malha 2 mm (Peneira #10).

O ensaio Mini-MCV consiste num ensaio de compactação com energia variável, onde o solo com umidades de compactação diferentes são compactados em moldes cilíndricos ($\Phi=5\text{cm}$ e $h=5\text{ cm}$) por um número de golpes crescente até atingida a massa específica aparente máxima. O ensaio de Mini-MCV permite a obtenção dos coeficientes classificatórios MCT c' e d' . O Coeficiente c' é dado pela inclinação das curvas de deformabilidade, enquanto d' representa a inclinação do ramo seco da curva de compactação correspondente a 12 golpes (COZZOLINO & NOGAMI, 1993)

O ensaio de perda de massa por imersão consiste na submersão dos corpos de prova compactados no ensaio Mini-MCV. A perda por imersão (P_i) medida permite, em conjunto com o coeficiente d' , o cálculo do índice classificatório e' (COZZOLINO & NOGAMI, 1993):

$$e' = ((P_i/100) + (20/d'))^{(1/3)}$$

3.1.3 – ENSAIOS PARA AVALIAÇÃO DA ERODIBILIDADE

Com o objetivo de avaliar qualitativa e quantitativamente a erodibilidade dos solos estudados, foram realizados ensaios específicos destinados a fornecer elementos empregados em critérios de análise direta ou indireta da erodibilidade.

Os ensaios:

- Ensaio pela Metodologia MCT
 - Ensaio de infiltrabilidade;
 - Ensaio de erodibilidade específica;

3.1.3.1 – ENSAIOS PELO CRITÉRIO DE ERODIBILIDADE MCT

Em Nogami e Villibor (1979), foi proposto o critério de erodibilidade baseado em ensaios da Metodologia MCT. Este critério é fundamentado em dois parâmetros o coeficiente de sorção, obtido no ensaio de infiltrabilidade, e a perda de massa por imersão modificada, obtido no ensaio de erodibilidade específica.

3.1.3.1.1 – ENSAIO DE INFILTRABILIDADE

O ensaio de infiltrabilidade proposto na Metodologia MCT destina-se a quantificar a velocidade de ascensão capilar em amostras de solo.

Neste ensaio, coletam-se amostras indeformadas em moldes biselados de PVC ($\Phi=5\text{cm}$ e $h=5\text{cm}$). As amostras são ensaiadas em três condições de umidades, secas ao ar, na umidade natural e pré-umedecidas. A secagem ao ar é realizada por um período mínimo de 72 horas, enquanto a condição de pré-umedecimento é satisfeita reensaando as amostras.

3.1.3.1.2 – ENSAIO DE ERODIBILIDADE ESPECÍFICA

O ensaio de erodibilidade específica (ou ensaio de perda de massa por imersão - modificado), também proposto pela Metodologia MCT, avalia o potencial de desagregação do solo frente à imersão em água.

As amostras para o ensaio são coletadas nos mesmo moldes amostradores usados para ensaio de infiltrabilidade. Elas apresentam sua face interior ao molde vedada por uma pedra porosa, enquanto a face exposta é mantida à 1cm da borda do molde.

O ensaio consiste em imergir as amostras por 20 horas, dispondo-as horizontalmente. O material desagregado da face livre exposta é recolhido.

O resultado é representado pela porcentagem de material seco desagregado em relação ao peso seco total da amostra.

4. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA ÁREA DE ESTUDO

4.1. LOCALIZAÇÃO E ACESSO

O Município de Aparecida está situado na região do Vale do Paraíba (Figura 5), no leste do Estado de São Paulo, a 168 km da capital São Paulo. O município abrange uma área de 121 km², correspondendo, 21,4 km² a área urbana e 99,6 km² a área rural. A principal via de acesso ao município é a Rodovia Presidente Dutra (BR-116).

O centro da cidade de Aparecida dista 66 km do Trópico de Capricórnio. O ponto mais meridional fica a 49 km do referido paralelo, assim, o município localiza-se todo na zona intertropical.

Situa-se na latitude sul: 22° 50', longitude oeste: 45° 13'. O ponto norte da cidade fica à margem direita do Rio Paraíba do Sul; o ponto mais extremo oeste localiza-se na margem do mesmo rio; os pontos extremos sul e leste ficam na Serra Quebra Cangalha, na Serra Fria, conhecida também como Serra dos Forros.

Limita-se ao oeste com o município de Potim, ao leste e ao norte com Guaratinguetá, ainda ao norte com a cidade de Lagoinha e a sul com Roseira.

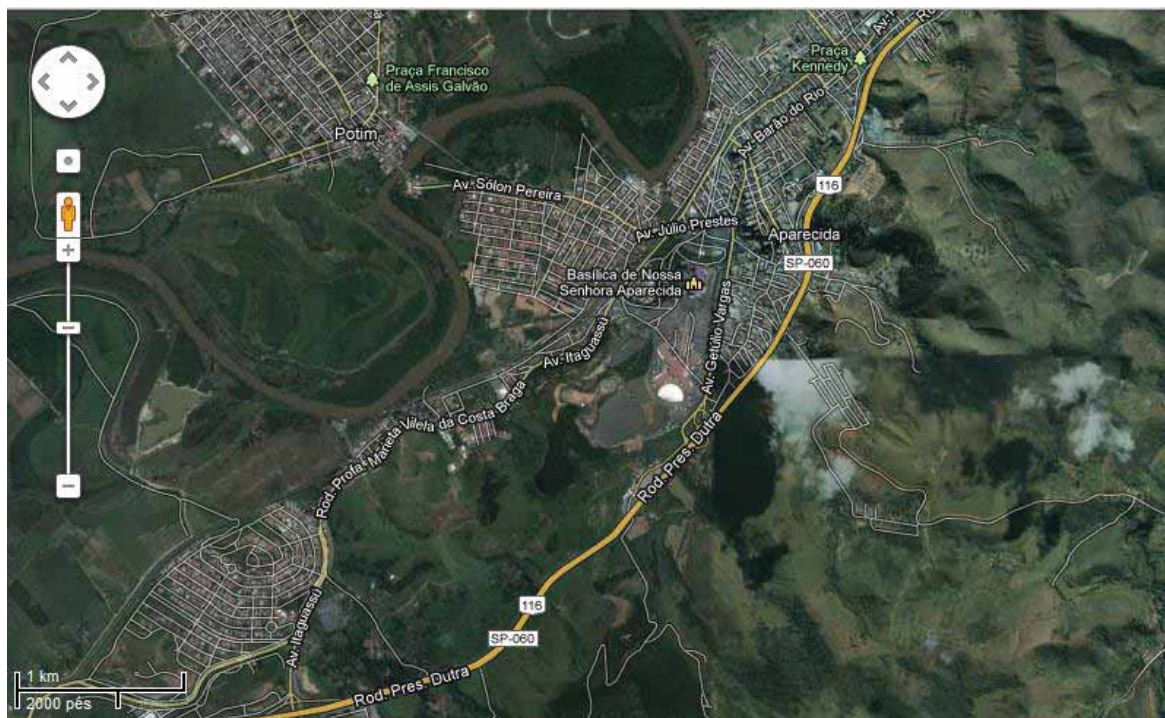


Figura 5 - Visão aérea (parcial) da área urbana do município de Aparecida, SP.

Fonte: Google Maps. Disponível em: <http://maps.google.com.br>. Acesso em: (17/08/2012).

4.2. GEOLOGIA REGIONAL

Segundo Hasui (1978), a Bacia de Taubaté é uma unidade geotectônica embutida no complexo cristalino pré cambriano do leste paulista, tem comprimento de 173Km e largura de 20 Km.

Segundo Melo et. al (1983), a bacia sedimentar de Taubaté esta localizada no Vale do Paraíba entre as bacias de São Paulo e Rezende. A bacia é assimétrica, possui forma de semigraben basculada para direção NW, ocasionalmente afetada por fenômenos de silicificação anteriores a sedimentação e atividade tectônica sin e pós sedimentar com sedimentos basculados e afetados por falhas.

O embasamento da bacia de Taubaté é representado por rochas cristalinas pré cambrianas polideformadas, com estruturas complexas de direção E-NE no cambro ordoviciano e também juntas subverticais de origem tardia no ciclo Brasileiro (MELO et al. 1985).

A Bacia de Taubaté possui uma fácies sedimentar de idade terciária predominantemente lacustre com argilas verdes (esmectitas), chamada formação Tremembé. Os depósitos paleogenos de sistema fluvial anastomosado existente recebem a denominação de formação Caçapava (MELO et al. 1985).

A bacia de Taubaté se constituiu sobre o bloco Paraíba do Sul, delimitado pelas falhas transcorrentes antigas do Buquira e do Alto da Fartura, as quais juntamente com a do Retiro sofreram reativação no terciário. Com caráter normal e simultaneamente, numerosas falhas ou zonas de falhas normais subparalelas se constituíram, segmentando o bloco e possibilitando a formação do graben que alojou a sedimentação terciária representada por uma seqüência sedimentar fluviolacustrina que é o grupo Taubaté. (HASUI, 1978)

A Serra do Mar teve sua origem relacionada a um soerguimento entre o Cretáceo Superior e o Terciário em evento tectônico paralelo a costa, com flexuras monoclinais e falhamentos, que desde então, vêm recuando sob a ação da erosão (ALMEIDA, 1964). Possui depósitos quaternários elúvio-colúvionares de natureza areno-argilosa associadas às encostas, ou seja, as Suítes Graníticas das fácies Cantareira e ao Complexo Costeiro formado por rochas graníticas-gnáissicas. Nessa região, as discontinuidades como juntas e falhas antigas, servem para a infiltração da água e desenvolvimento de profundos mantos de alteração.

Segundo Morales (2006), devido a sua localização em ambiente intraplaca, esta região também está sujeita a um tectonismo ativo (neotectônica), ou seja, a constantes movimentos distencionais e de subsidência. Esses movimentos submetem os solos a novas condições ambientais retirando-os de seu estágio de equilíbrio dinâmico. Essa neotectônica pode atuar como agravante de eventos de movimentos de massa.

Apresenta um conjunto de rochas pré-cambrianas com diferentes resistências (granitos, gnaisses e xistos), fortemente estruturadas ou não. Segundo De Martonne (1943), a diferenciação do relevo e solo pode ser atribuída no Brasil Tropical Atlântico a uma desigual resistência das rochas cristalinas. A própria série Arqueana que forma as Serras do Mar e Mantiqueira, não são um todo homogêneo e possuem frequentemente granitos menos resistentes do que os gnaisses.

A diferença na constituição mineral dessas rochas determina diferentes suscetibilidades ao intemperismo físico. As rochas melanocráticas aquecem mais lentamente e retêm o calor, liberando-o mais lentamente, portanto, mantendo uma temperatura mais constante, e essa atividade química mais constante origina mantos de alteração mais profundos. Já as rochas leucocráticas esquentam e esfriam alternadamente, conduzindo a maior regolitização e meteorização física.

O embasamento da bacia é representado por rochas cristalinas pré cambrianas polideformadas com estruturas complexas. No oligoceno com a ocorrência mais intensa de falhas E-NE ocorre um barramento da drenagem de caráter subsequente levando a formação de um paleolago nos compartimentos internos da bacia com a sedimentação da formação Tremembé. Após o preenchimento do lago ocorre a transição para o sistema deposicional fluvial anastomosado representado pela formação Caçapava (MELO et. al, 1983).

Formação Caçapava: Segundo Sousa (1999), a Formação Caçapava (TQc) encontra-se sobreposta à Formação Tremembé exibindo uma descontinuidade erosiva e compondo-se de conglomerados, arcóseos, arenitos, siltitos, argilitos e folhelhos formados em condições essencialmente fluviais de canais, planícies de inundação e lagos esparsos, apresentando no topo depósitos recentes de turfa (BRANDALISE et al, 1976). Entretanto, atualmente, a turfa não é explorada como recurso energético, ao mesmo tempo, em que a água subterrânea possui grande potencialidade (IPT, 1978).

Formação Tremembé: É constituída por depósitos lacustres que se interligam lateralmente com os sedimentos da Formação Resende, e constitui a unidade mais representativa da porção central da bacia. Esta formação apresenta as fácies argilitos verdes maciços, dolomitos tabulares, ritmitos formados por alternância de folhelhos e margas, arenitos com estratificação cruzada sigmoidal e granodecrescência de areia média até siltes e arenitos grossos arcoseanos (RICCOMINI, 1989).

Segundo Suguio (2003), a Formação Tremembé é rica em fósseis e contém restos de peixes, ossos de aves, mamíferos e répteis, além de ostracóides, gastrópodes, insetos, macrorrestos (folhas e caules) e microrrestos (polens e esporos) vegetais e são de idades entre o Oligoceno e o Mioceno. Ainda, segundo esse autor, nesta formação, ocorrem os folhelhos piro betuminosos (Figura 6) e prováveis depósitos turbidífticos lacustres.



Figura 6 - Folhelho.

Fonte: <http://www.pedrohauck.net/2008/05/viagem-geografica-pelo-sul-do-pas.html>. Data de acesso: (15/07/2012)

Formação Caçapava: Segundo Sousa (1999), a Formação Caçapava (TQc) encontra-se sobreposta à Formação Tremembé exibindo uma descontinuidade erosiva e comendo-se de conglomerados (Figura 7), arcóseos, arenitos, siltitos, argilitos e folhelhos formados em condições essencialmente fluviais de canais, planícies de inundação e lagos esparsos, apresentando no topo depósitos recentes de turfa (BRANDALISE et al, 1976). Entretanto, atualmente, a turfa não é explorada como recurso energético, ao mesmo tempo, em que a água subterrânea possui grande potencialidade (IPT, 1978).



Figura 7 - Conglomerado.

Fonte: http://domingos.home.sapo.pt/rochas_6.html

Data de acesso: (11/12/2012)

Sedimentos Quaternários: Os depósitos quaternários são constituídos por aluviões pré-atuais, atuais, depósitos coluviais e depósitos de tálus, configurando os únicos ambientes de agradação hodierna.

Pelo motivo de o Período Quaternário ser breve, com curto espaço de tempo geológico envolvido, seus depósitos é pouco espesso e apresentam distribuições descontínuas. Não há dúvida de que a quantidade de eventos climáticos registrados, especialmente nos sedimentos oceânicos, mais que o dobro dos glaciais e interglaciais distinguidos nos depósitos continentais, ressaltam o contraste entre o Quaternário e os demais períodos de tempo geológico: não simplesmente a ocorrência de fases quentes e frias, mas a frequência e a amplitude das oscilações climáticas registradas dentro de um intervalo de tempo geológico bastante curto (EMILIANI, 1955; SHACKLETON & OPDYKE, 1973; BERGGREN et al, 1980). No entanto, este contraste está ligado, pelo menos em parte, à preservação (e reconhecimento) dos registros de flutuações climáticas no passado geológico, pois, como discutido por Fisher (1982), existem indícios de mudanças cíclicas de caráter regional na natureza sedimentológica e biológica do registro fanerozóico, só atribuíveis a mudanças globais no clima.

A partir disso, temos, conforme sua origem, o grande número de falhas na região e a sua localização intraplacas, um tectonismo ativo, representado por movimentos de distensão, sendo a região mais sísmica do Estado de São Paulo e sendo agravante de ocorrências relacionadas ao movimento de massas como escorregamentos e deslizamentos.

Essa região apresenta predomínio de rochas pré-cambrianas, podendo ser bem estruturadas e podendo ter uma alta variação na composição mineralógica dessas rochas, determinando variações de susceptibilidades quanto ao intemperismo físico dessas rochas.

Então, temos que a região do Vale do Paraíba, tem um relevo diverso, sendo constituindo por cerca de doze unidades geomorfológicas, tendo, portanto, áreas de planícies aluvionares de baixa declividade e áreas de relevos de serras (mares de morros) de alta declividade.

Através da Figura 8, apresenta-se o Mapa Geológico da Região do Vale do Paraíba.

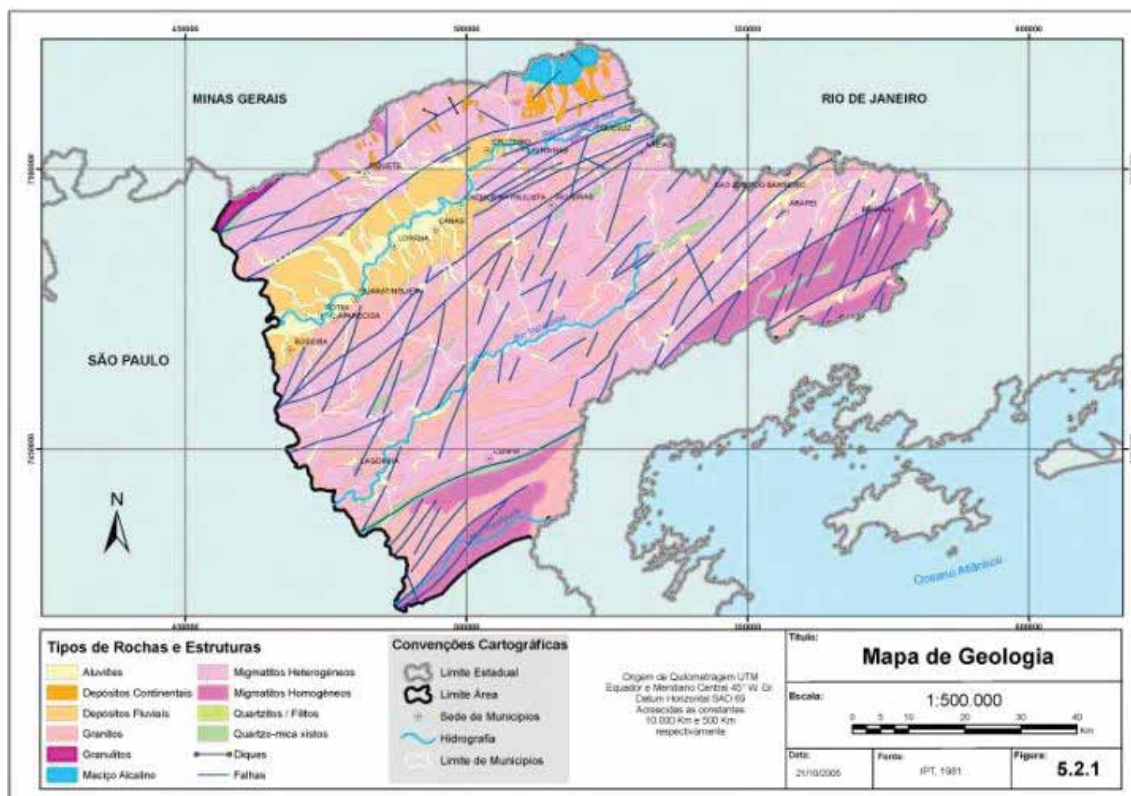


Figura 8 - Mapa geológico que engloba o município de Aparecida (IPT, 1981) mostrando as diferentes unidades litológicas e as principais direções de lineamentos regionais. Fonte: Soares et al (2008).

4.3. PEDOLOGIA

Usando a classificação de solos da EMBRAPA (1999), temos cinco unidades de solo na região do Vale do Paraíba, que são:

- Latossolos Vermelhos – Amarelos (LVA): São bem desenvolvidos, não tem minerais primários, tendo alta capacidade de drenagem, sendo encontrados na maioria do Vale do Paraíba, estando em regiões de relevo de baixa declividade (pouco ondulados), de altitudes de 500 m a 1000 m, possibilitam a infiltração e a percolação da água. São provenientes de rochas metamórficas como granitos e gnaisses e por terem horizontes bem definidos são menos erodíveis pela chuva.
- Argissolos Vermelho–Amarelo (PVA): Têm horizonte B textural, ricos em argila em profundidade, sendo encontrado em regiões de alta declividade (ondulados e fortemente ondulados) de altitudes de 750 m a 1300 m. São provenientes de granitos, gnaisses e xistos, apresentando o solo descoberto. Além disso, os processos erosivos podem se agravar conforme o índice de precipitação da área.
- Cambissolos Háplicos (CH) e Cambissolos Húmicos (CX): Tem horizonte B pouco espesso, tendo minerais primários intemperizáveis. São localizados nas áreas de Serra e Zona Montanhosa como a Serra do Mar, Serra da Mantiqueira, sendo, portanto, característico de áreas acidentadas de alta variação de declividade (fortemente ondulado até escarpado) e de altitudes maiores do que 1000 m. São formadas por associações graníticas, sendo solos muito erodíveis.
- Gleissolos Melânicos (GM): São ricos em matéria orgânica, tem nível freático próximo à superfície, estando localizados na Bacia de Taubaté acompanhando o Vale até Cachoeira Paulista, tendo, portanto, áreas de baixa declividade (plano a suavemente ondulada) de altitudes baixas de 400 m a 500m, tendo pouca capacidade de drenagem.

- Espodosolos (E): São localizados no litoral Paulista, tendo sua formação relacionada à situação do Mar e de bacias muito antigas.

O Vale do Paraíba é composto por três compartimentos, os quais apresentam abundância de sedimentos, caracterizando sua tectônica ventilada.

Através da Figura 9, apresenta-se o Mapa de solos simplificado do Vale do Paraíba do Sul, no qual percebe-se que o Município de Aparecida apresenta em sua extensão latossolos, argissolos e gleissolos melânicos.

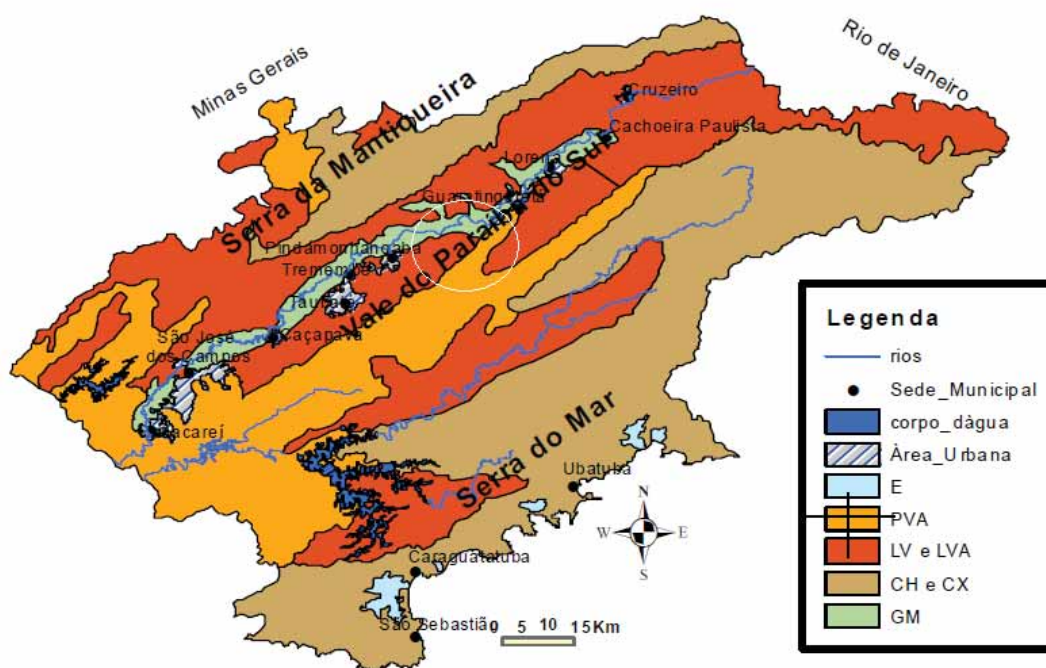


Figura 9 - Mapa de solos simplificado do Vale do Paraíba do Sul.

Fonte: Mapa pedológico (OLIVEIRA, 1999)

4.4. GEOMORFOLOGIA

O sudeste do Brasil constitui uma unidade à parte no bloco continental ou então, da América do Sul, onde antigas superfícies de aplainamento sugerem a existência de uma estrutura irregular, fraturada e falhada, constituída predominantemente de terrenos pré-cambrianos (AB'SABER & BERNARDES, 1956).

Segundo Ab'Saber (1966), o médio vale do Paraíba pode ser dividido em médio Vale Superior e Inferior. O médio Vale Superior é caracterizado pela presença de uma faixa sedimentar alongada que acompanha o Rio com morros recortados moldurando essa bacia onde sobressaem alguns alinhamentos como a Serra de Quebra Cangalha. Já o trecho inferior corresponde a mais desenvolvida zona de morros com a influência estrutural mais aparente nessa parte do vale.

O Vale do Paraíba do Sul esta inserido nas províncias do Planalto Atlântico e Província Costeira incluindo o planalto de Paraitinga, planalto da Bocaina, Médio Vale do Paraíba, Serra da Mantiqueira, Serra do Mar e Baixadas Litorâneas. (MOURA, 2006).

Segundo IPT (1990), o Vale do Paraíba apresenta um relevo bastante variado, com altitudes que vão desde cerca de 1950 m no Pico do Itapeva, a valores em torno de 540m na planície do Rio Paraíba do Sul.

Ainda segundo o IPT (1990), a zona da Serra da Mantiqueira compreende toda a escarpa que ladeia o norte do Vale do Paraíba e que sobe em direção aos cumes da serra homônima. Passa para a zona do Médio Vale do Paraíba por uma natural diminuição da amplitude das elevações, com a ocorrência de domínios de morros ou espigões mais isolados.

A zona do Médio Vale do Paraíba caracteriza o setor que separa a Serra da Mantiqueira do Planalto de Paraitinga. Contém um domínio central de substrato sedimentar que inclui a planície do Rio Paraíba do Sul. Predominam amplas colinas de contornos regulares. (IPT, 1990).

Este setor é orlado por um conjunto de elevações de amplitudes médias e de substrato cristalino, que pode ou não estar capeado por um horizonte rudáceo. Ocorrem dispostas paralelamente ao contorno da bacia e constituem espigões localizados.

Na faixa norte da Bacia de Taubaté todo este conjunto pode ainda ser margeado por um outro, que contém morrotes alongados de perfis assimétricos.

Na porção sul do rio Paraíba do Sul esta zona desenvolveu-se sobre rochas gnáissico-migmatíticas principalmente, e xistosas subordinadamente, com conspícua foliação milonítica. O padrão paisagístico é dominado por morros paralelos de amplitudes inferiores a 300 metros, e que refletem uma estruturação devida ao sistema de zonas de cisalhamento aí presente. (IPT, 1990)

O Planalto do Paraitinga constitui um domínio que limita a sul a zona do Médio Vale do Paraíba e que contém as terras mais elevadas que vão dar, na direção sul/sudeste, na escarpa da Serra do Mar.

Neste domínio geomorfológico estão presentes áreas serranas como as formadas pelas serras do Jambreiro, da Redenção, dos Monos dos Sete Patis e do Quebra-Cangalha, entremeados por terrenos cuja principal feição paisagística são os mares de morros. Foi identificado que tais serras são constituídas por corpos de granitóides que podem estar gnaissificados, como o da Serra do Jambreiro, ou não.

As áreas de mar de morros formam um domínio de natureza principal xisto-gnáissica, e apresentam amplitudes variáveis. Os morros são aos poucos desfeitos em anfiteatros de erosão aos quais associam-se depósitos colúvio-aluvionares, esta região também sofre a influência das zonas de cisalhamento que a atravessam e que, por vezes, contém os principais coletores de uma rede de drenagem jovem e bem adaptada às estruturas das rochas cristalinas. (IPT, 1990)

4.5. ASPECTOS CLIMÁTICOS

A cidade de Aparecida, situa numa altitude média de 544 m, com cotas variando de 620 m a 525 m, apresenta principalmente na zona urbana, clima predominantemente quente, com inverno seco.

Segundo a classificação de Köppen, o clima é CWA. As temperaturas observadas na cidade são: máxima de 35°, mínima de 9° e média compensada de 22°.

Tem um índice pluviométrico anual de 1.300 a 1.450 mm, sendo de 220 a 280 mm a média do mês mais chuvoso e de 20 a 40 mm a do mês mais seco.

Na Figura 10, encontra-se uma série temporal da precipitação no Vale do Paraíba.

O clima do Município sofre duas importantes influências: o deslocamento das massas de ar e a localização da cidade a 525 metros do nível do mar. As massas de ar que influenciam diretamente no clima de Aparecida são: Equatorial Continental, Tropical Atlântico e frente Inter-Tropical.

A cidade localiza-se na região onde se notam formações rochosas da Serra do Mar e Mantiqueira. Essa situação torna-se um determinante do clima.

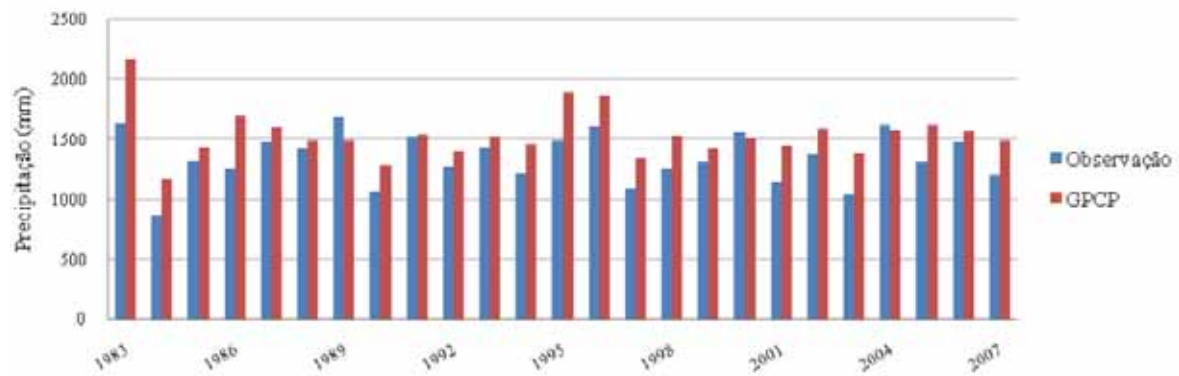


Figura 10 - Série Temporal da precipitação no Vale do Paraíba.

FONTE: TERAMOTO et al. (2009)

5. EROSÃO E AGENTES CAUSADORES

5.1. HISTÓRICO

O processo erosivo acompanha o desenvolvimento da sociedade desde as primeiras civilizações, nas quais suas terras foram perdendo fertilidade e se tornando estéreis. O esgotamento do solo está associado ao progresso dessas civilizações nas quais exigências crescentes excediam o poder recuperativo, a exemplo dos desertos no Norte da África, Pérsia (Irã), Mesopotâmia e Norte da China. Pode-se afirmar também que a decadência do Império Romano é um caso da ação deste processo.

Dessa forma, o homem, ao longo dos tempos, vem acelerando a degradação do meio ambiente, em razão da exploração não sustentável dos recursos naturais, através da poluição dos recursos hídricos, desmatamento, degradação do solo, emissão de gases de efeito estufa, entre outros. Essa degradação do solo apresenta como principais causas o desmatamento e a agricultura, ocasionando degradação química e erosão.

A Bacia do rio Paraíba do Sul está entre os locais com maiores problemas de erosão na região sudeste, especialmente a porção denominada Médio Vale do rio Paraíba do Sul. No século XIX, com o Ciclo do Café, iniciou-se a ocupação desenfreada desta região, seguida de pastagem para pecuária extensiva, sem o manejo adequado e com a utilização do fogo, relacionado ao relevo fortemente ondulado da região, conhecida como “mar de morros”, gerou elevada degradação do solo, o qual atualmente encontra-se em estágio avançado com grande ocorrência de sulcos e voçorocas.

As principais causas do assoreamento acelerado do Rio Paraíba do Sul, fornecedor de água para mais de 9 milhões de pessoas na região metropolitana e cidade do Rio de Janeiro, estão associados a estas formas erosivas (CEIVAP, 2002). Na literatura, as tecnologias de controle preconizadas para este tipo de erosão, baseiam-se no controle da erosão na área de captação, controle dos sedimentos na voçorocas, e revegetação das áreas com espécies que conseguem-se desenvolver adequadamente nesses locais (MACHADO, 2007).

Em virtude do uso dos recursos naturais de forma não sustentada em razão da expansão das atividades econômicas aliadas ao crescimento populacional, a degradação do meio ambiente tem aumento a cada ano.

Segundo Lal (2001a), a população mundial tem crescido nos últimos anos a uma taxa média de 1,3% ao ano (73 milhões de pessoas) de maneira que em 2050, seremos

9,4 bilhões de pessoas no planeta. Destes, 244 milhões estarão no Brasil (LAL,2001a) o que representa um aumento de mais de 27% em relação ao nível atual que é de 191 milhões (IBGE, 2010)

Caso a tendência atual de degradação dos ecossistemas continue na mesma taxa, a disponibilidade de recursos naturais essenciais à sobrevivência do homem e os efeitos negativos dessa degradação trarão incertezas para o futuro das próximas gerações. Isso não é mais uma preocupação nova e exige da sociedade mudanças de hábitos e iniciativas que venham a reduzir os impactos ambientais e reverter o máximo possível às causas e efeitos negativos do progresso da era moderna sobre a natureza.

No Brasil, o histórico de degradação das áreas se originou com a extração de madeira no século XVI, e prosseguiu-se com os ciclos econômicos da cana, café, leite, aliados a ocupação do país de forma desordenada (MACEDO et al. 1997).

Dados estatísticos da FAO-TERRASTAT (2003), indicam que 28% do território brasileiro encontram-se nos níveis de severa ou muito severa degradação, correspondendo a 2,37 milhões de km². O desmatamento e a agricultura são apontados como as principais causas de degradação, traduzidas na degradação química e na erosão hídrica do solo. Somente as atividades agrícolas respondem por uma área de 902.000 km² (equivalente a 11% da área total do Brasil), no nível severo a muito severo (FAO-TERRASTAT, 2003).

Apesar da erosão, dentro de um conceito de tempo geológico, ser um fenômeno natural de aplainamento da paisagem, ela tem sido bastante intensificado pela ação antrópica e constitui um sério problema de ordem econômica, ambiental e social (MACHADO, 2007).

A superfície da terra não é estática, encontra-se em estado de contínuas modificações. A água das chuvas e a força dos ventos causam um contínuo desgaste e transporte de partículas responsáveis pelos quais foram esculpidos os morros, escavados os vales, formadas as várzeas e os deltas, mantendo um equilíbrio entre o desgaste do solo e sua renovação através dos processos de formação do solo. A partir do momento que o homem altera a cobertura do solo e modifica a infiltração da água das chuvas, elas passam a escorrer mais do que infiltrar, e daí, ocorre o início do processo chamado de erosão acelerada (LEPSCH, 1994).

De acordo com Bertoni & Neto (1993), a erosão hídrica constitui-se como a principal causa de empobrecimento acelerado das terras e afeta a população de várias maneiras, especialmente na redução dos reservatórios de água, mas destaca-se o

impacto desta para os agricultores com a perda da fertilidade do solo. Segundo Guerra & Cunha (2003), envolve também vários problemas ambientais como a poluição de rios, baías e lagoas e, inundações e desmoronamentos em áreas urbanas e rurais.

O assoreamento de reservatórios é um problema ambiental grave no Brasil, tendo em vista que grande parte da energia elétrica consumida no país é proveniente de usinas hidrelétricas. Segundo Shen & Lai (1996), o controle da erosão da bacia e retenção de sedimentos, representa uma redução importante de sedimentos que entra nos reservatórios. Derpsch et al (1986) afirmaram que, em 1982, cerca de 12,5 milhões de toneladas de sedimentos, assim como de fósforo e nitrogênio na água no reservatório de Itaipu, caracterizou que as concentrações mais altas são encontradas durante o período de preparo do solo e plantio, que normalmente, é o período de maior precipitação.

A erosão hídrica pode chegar num estágio extremo e espetacular que são as voçorocas, caracterizadas por incisão de canais largos e profundos e com comprimento que pode atingir quilômetros de distância.

As voçorocas apesar de ter sua ocorrência mais comum em áreas rurais, têm sido relatadas também em zonas urbanas, como consequência da expansão de vilas e cidades, aliadas ao rápido processo de urbanização, muitas vezes, de forma mal planejada, que acaba favorecendo a formação de voçorocas em poucos anos como nas cidades de Bauru-SP (CAVAGUTI, 1995), Manaus-AM (MUNIZ et al., 2003), Sorriso - MT (GUERRA, 2003), Açailândia-MA (GUERRA et al., 1998) e Pinheiral-RJ (MACHADO et al., 2005), somente para citar alguns exemplos.

5.2. RELEVO E COBERTURA VEGETAL

Os processos erosivos em uma encosta são influenciados pelas características de declividade, comprimento de rampa e forma da encosta, influenciando no tamanho e quantidade de material carregado (SOUZA & BAHIA, 1998). Segundo Almeida (1981), as declividades mais acentuadas favorecem a concentração e maior velocidade de escoamento de água e conseqüentemente, maior perda de solo.

Em relação à forma das encostas, ou pedoformas, Resende (1985) afirma que a erodibilidade aumenta das formas côncavas para as convexas, passando pela linear. Esse autor relaciona que nas formas côncavas, a remoção de sedimentos é menor, principalmente na base das encostas, onde há convergência de água e pode até acumular

nutrientes e sementes, sendo mais comum em regiões tipicamente mais secas. Na forma convexa a enxurrada apresenta maior divergência retirando o material do sistema. Nas pedoformas côncavas é onde se tem tendência à formação de sulcos e voçorocas devido à erosão ser mais concentrada.

A cobertura vegetal, viva ou morta, é um dos fatores mais importantes na erosão por proteger o solo contra a desagregação e o transporte de partículas (ELTZ et al., 1984). De acordo com Seganfredo et al. (1997), a cobertura viva evita o impacto das gotas diretas sobre a superfície do solo, dissipando a energia cinética e reduzindo a desagregação e a formação de crosta superficial de baixa permeabilidade, conseqüentemente, favorece a infiltração de água no solo e diminui o escoamento superficial. A respeito da cobertura morta, esse autor cita como exemplo, o plantio direto que apresenta no controle da erosão, além das vantagens da cobertura viva, o aumento da resistência à desagregação devido a maior estabilidade de agregados.

5.3. DEFINIÇÃO DE EROSÃO

Erosão pode ser definida como um processo, ou conjunto de processos, do qual resulta a destruição dos relevos e remoção progressiva dos detritos ou resíduos produzidos. Os agentes responsáveis pela erosão são diversos: meteóricos (vento, chuva, calor e frio, etc.), mecânicos (correntes hídricas, corrosão devido ao transporte dos materiais, etc.), biológico (ação dos seres vivos), etc. (WINGE, 2001).

Para Leinz e Leonardos (1977), no sentido lato, erosão é o efeito combinado de todos os processos degradacionais terrestres, incluindo intemperismo, transporte, ação mecânica e química da água corrente, vento, gelo, etc.; no sentido estrito, é o desgaste gradativo das rochas sólidas pela ação dos rios, ventos, geleiras e mar.

A erosão é constituída por um conjunto de processos pelos quais os materiais da crosta terrestre são desagregados, dissolvidos ou desgastados e transportados. A gota de água que precipita e o escoamento superficial conseqüente são considerados como agentes da erosão pluvial (VILAR, 1987).

5.4. PROCESSOS E FORMAS EROSIVAS

O processo erosivo consiste de três eventos seqüenciais, caracterizados por: desprendimento, arraste e deposição das partículas (LAL, 2001b; CARVALHO et. al.,

2002). O desprendimento consiste da libertação das partículas dos agregados que poderão permanecer no local ou ser transportadas (AMORIM, 1999).

Quanto à classificação da erosão, a classificação mais comum é dividir em três grandes grupos como sendo, erosão hídrica, erosão eólica, e erosão através de gravidade (movimento de massa). A erosão hídrica é a mais importante no Brasil, em termos de área de ocorrência, sendo classificada em três tipos principais: erosão através das precipitações, das águas de escoamento e dos oceanos.

Quanto à forma, Bertoni & Lombardi (1993) classificam a erosão hídrica em formas clássicas, tais como erosão pelo impacto da gota, erosão laminar e sulcos e voçorocas.

A erosão laminar se caracteriza pela remoção de camadas relativamente finas do solo em toda uma área. Na erosão em sulcos, a enxurrada concentra e atinge volume e velocidade suficientes para formar canais de diferentes dimensões. A associação de grande volume de enxurrada e situações específicas de terreno, relativas tanto à pedologia quanto a litologia, promove formação de cavidade de grandes dimensões denominadas de voçorocas (HERNANI et. al., 2002). Essa evolução das formas erosivas caracteriza a formação de voçorocas pelo processo erosivo superficial.

Segundo Miranda (2005), para designar diferentes tipos de feições erosivas é utilizado os seguintes termos e definições:

- EROSÃO LAMINAR: feições erosivas oriundas de escoamento difuso das águas, resultando na remoção progressiva e relativamente uniforme dos horizontes superficiais do solo;
- EROSÃO LINEAR: conjunto de feições erosivas causadas pela concentração de linhas de fluxo das águas de escoamento superficial, podendo ser de três tipos conforme: (FOURNIER, 1960 apud SOUZA, 2001):

Sulcos: pequenos canais resultantes da concentração de escoamentos superficiais concentrados;

Ravinas: feições erosivas resultantes do aprofundamento dos sulcos oriundos da concentração do escoamento superficial;

Voçorocas: constituem feições de erosão mais complexa e destrutiva no quadro evolutivo da erosão linear e são originadas por dois tipos de escoamento que podem atuar em conjunto ou separadamente: o superficial e o subsuperficial. É erosão de grande porte, de formas variadas e de difícil controle.

- **INTERSULCO:** Tipo de feição erosiva que é causada pelo escoamento superficial que pode se dar em uma lâmina de água de pequena espessura e extensão e que se concentra em determinadas áreas como, por exemplo, entre sulcos já formados pelos processos erosivos. (MEYER et. al., 1975 apud SOUZA, 2001).
- **PIPING:** Termo utilizado para designar erosão interna ou tubular, que provoca remoção de partículas no interior do solo, formando canais que evoluem em sentido contrário ao do fluxo de água (CARSON; KIRKBY, 1975) e;
- **EROSÃO MARGINAL:** Formas erosivas causadas pelo escoamento concentrado nos cursos d'água, transversais ao eixo do fluxo.

Muitas ações devidas ao homem aceleram o processo de erosão, como por exemplo: o desflorestamento; a construção de favelas em encostas; o uso de técnicas agrícolas inadequadas; a ocupação desordenada do solo, reduzindo a absorção de água e aumentando, com isso, a potencialidade do transporte de materiais, devido ao escoamento superficial, entre outros. Na Tabela 2, apresentam-se os principais agentes causadores de erosões.

Tabela 2. Agentes causadores da erosão.

Fonte: (LAL, 1990), modificado por (ALCÂNTARA, 1997).

VENTO	EROSÃO EÓLICA			
FLUIDOS	ÁGUA	CHUVA	EROSÃO POR IMPACTO DAS GOTAS	
		ÁGUA DE ESCOAMENTO	ESCOAMENTO SUPERFICIAL	EROSÃO EM SULCOS
				EROSÃO EM RAVINAS E VOÇOROCAS
				EROSÃO EM CONDUTOS FLUVIAIS
		ESCOAMENTO SUBSUPERFICIAL	EROSÃO EM CONDUTOS SUBTERRÂNEOS	
	OCEANO	EROSÃO COSTEIRA		
GELO	EROSÃO GLACIAL			
GRAVIDADE	MOVIMENTO DE MASSA	AVALANCHE		
		ESCORREGAMENTO		
		SOLIFLUXÃO		
		RASTEJO		

Salomão & Iwasa (1995) distinguem dois tipos de formas e processos erosivos:

- **EROSÃO NATURAL**: processo natural de denudação e evolução da superfície terrestre, caracterizado pela desagregação e transporte de solo, pelos agentes erosivos, de forma lenta e contínua;
- **EROSÃO ACELERADA (OU ANTRÓPICA)**: processo rápido e destrutivo, induzido pela ação humana, que gera desequilíbrio nas fases de erosão natural e sedimentação.

A erosão acelerada é caracterizada como um processo que não permite o desenvolvimento da vegetação, face à alta velocidade de remoção do material (OKAFIORI; SOARES, 1976).

Salomão & Iwasa (1995) relacionam como fatores deflagradores de processos erosivos o desmatamento, o cultivo de terras, o corte de estradas e a expansão de cidades, como algumas das ações antrópicas, que é então influenciado pela água e pelas seguintes condições naturais do terreno: cobertura vegetal, topografia e tipo de solo.

Em relação aos locais mais afetados pela erosão no Brasil as áreas localizadas no Noroeste do Paraná, Planalto Central, Oeste Paulista, Campanha Gaúcha, Triângulo Mineiro e Médio Vale do Paraíba do Sul (BOTELHO & GUERRA, 2003), são as mais críticas quanto à incidência de processos erosivos, e correspondem, também, as áreas que têm sido mais estudadas devido a grande relevância em termos de perda de solo e redução da produtividade agrícola. A região da Campanha Gaúcha está sendo afetada também pela erosão eólica, que é um tipo de erosão menos relevante no Brasil, quando comparada à hídrica, em termos de área. Contudo, esse tipo de erosão é a principal causa do processo denominado teor de areia de seus solos, sobretudo areia fina, a qual é facilmente transportada pelo vento (KLAMT, 1994).

Em todas essas regiões os fatores responsáveis pela erosão do solo são comuns, como a susceptibilidade do solo, chuvas torrenciais (alta intensidade) e a forma de uso do solo mantendo uma baixa cobertura vegetal.

5.5. EROSÃO EM VOÇOROCAS

O termo voçoroca é originário do vocabulário tupi guarani e significa “terra rasgada” (GOULART, 2005). A ocorrência de voçorocas, assim como outra forma erosiva, está associada ao desmatamento, uso agrícola da terra, superpastejo e queimadas, aliados a fatores naturais (GUERRA, 2003). DAEE (1989) acrescenta que a formação de voçorocas pode ser também devido à falta de planejamento e gerenciamento das águas das chuvas, como construção de estradas, cercas, caminhos, ruas, drenagens, galerias e até esgotos somados às águas pluviais, com ordenamento da enxurrada em um único ponto, sem estratégia de dissipação de energia.

Fendrich et. al. (1988) classificam as voçorocas em simples e complexas, onde as voçorocas complexas recebem esse nome quando atingem o lençol freático.

As voçorocas podem ser formadas por processos erosivos superficiais e subsuperficiais (DAEE, 1989). Segundo Santos et. al. (2002), no processo superficial, o início da formação se dá com a erosão laminar seguido do escoamento concentrado que

passa a formar sulcos, evoluindo para voçorocas à medida que a erosão vai se aprofundando no terreno.

A diferença entre sulcos e voçorocas está relacionada com as dimensões dos mesmos, ou seja, com o grau de evolução da incisão do solo causado pela erosão. Guerra (2003) cita trabalhos que explicam de maneira simples que sulcos (denominado de ravinas) possuem dimensão tal que, permitem ser corrigidas por práticas comuns de cultivo, enquanto que as voçorocas não. Utilizando valores, esses trabalhos estipulam que uma voçoroca deve apresentar dimensões maiores que 0,5m de largura e profundidade, podendo chegar a mais de 30 m de comprimento.

Em relação ao escoamento subsuperficial, Guerra (2003) destaca a formação de fluxos concentrados na forma de túneis ou dutos, chamado de *piping*, com grande remoção de sedimentos internamente o que pode provocar o desmoronamento do material situado acima, abrindo enormes crateras que são agravadas pela erosão superficial. Outros autores como DAEE (1989), Fendrich et al. (1988) e Coelho Neto (2003), dão mais ênfase no escoamento subsuperficial após a ocorrência da interceptação do lençol freático pela voçoroca, ou seja, tendo o escoamento superficial para o início da formação da voçoroca e a subsuperficial para o seu crescimento.

Coelho Neto (2003), relata que o escoamento subsuperficial atuante em voçoroca se classifica em dois processos: erosão por vazamento e erosão em túnel (chamada de "*piping*"). No primeiro caso, ocorre carreamento de partículas menores em decorrência do fluxo subsuperficial, causando desmantelamento da estrutura do solo e formando vazios. No segundo processo, o fluxo hídrico nos macroporo gera forças cisalhantes nas suas margens, gerando destacamento e transporte de partículas, acarretando alargamento do macroporo até um ponto em que ocorre o colapso do material situado acima.

Quanto à posição da voçoroca no relevo, Oliveira (1998) classifica as voçorocas em três tipos: conectadas, quando estão ligadas ao canal de drenagem fluvial, crescendo da base para a parte média da encosta; desconectada, quando estão na parte superior da encosta; e as integradas, que ocupam a parte superior e inferior da encosta.

5.6. ERODIBILIDADE DO SOLO

A erodibilidade do solo ou susceptibilidade ou resistência do solo à erosão (SILVA et al., 1999b), é função de suas propriedades. Segundo Wischmeier & Smith

(1958), as propriedades do solo que influenciam na sua erodibilidade são a velocidade de infiltração, permeabilidade, capacidade total de armazenamento, resistência às forças de dispersão, salpico e transporte pela enxurrada. Segundo Guerra (2003), a erodibilidade está relacionada com a textura, densidade do solo, porosidade, teor de matéria orgânica, teor e estabilidade de agregados.

Em relação à textura, Resende (1985) destaca que a erosão tende a ser maior nos solos com maior teor de areia e silte, que nos solos argilosos. Solos com textura mais grosseira podem ser susceptíveis devido ao baixo grau de agregação das partículas (VENTURIM & BAHIA, 1998), enquanto que os solos com maior teor de silte, apesar de apresentarem determinada agregação quando secos, ao umedecerem apresentam agregados com baixa estabilidade, e conseqüentemente, uma fácil dispersão e transporte de partículas (FERREIRA, 1992).

A porosidade do solo, que está relacionada com a densidade, controla a permeabilidade do solo, que logo afeta a taxa de infiltração da água no solo. Em um solo com boa taxa de infiltração, as águas das chuvas irão infiltrar o máximo possível promovendo menor escoamento superficial, e conseqüentemente, menor erosão e perda de solo. A matéria orgânica também é um fator muito importante na erodibilidade dos solos. Wischmeier & Mannering (1969), encontraram uma correlação elevada e inversa entre matéria orgânica e a erosão, para solos com alto teor de silte e argila.

Segundo Verhaegem (1984), o teor de matéria orgânica e a estabilidade de agregados também estão diretamente relacionados com a perda de solo, pois o aumento do teor de matéria orgânica proporciona maior cimentação entre as partículas, conferindo ao solo maior resistência à dispersão.

Apesar de a erodibilidade estar mais relacionado aos horizontes superficiais, provavelmente por ser a erosão laminar a mais estudada por meio da USLE, existe também o estudo da erodibilidade de camadas mais profundas, como é o caso do horizonte C ou saprolito.

De acordo com o trabalho de Morais et al. (2004), o estudo da erodibilidade do horizonte C é uma ferramenta muito importante para avaliação da susceptibilidade de saprolitos à erosão subsuperficial (*piping*). Em seu trabalho, esse autor utilizou diferentes métodos para avaliação da erodibilidade de saprolitos de gnaiss, tais como: ensaio de furo de agulha (*pin-hole*), ensaio de resistência de penetração ao cone, ensaio de expansão livre, ensaio de desagregação, que permitiu agrupar os solos quanto a sua erodibilidade.

Para Goulart (2005), o horizonte C dos solos é altamente susceptível à perda de material, e o *solum* (horizonte A + B), constitui-se em uma capa protetora, tornando imprescindível a manutenção de seus componentes.

Em relação aos tipos de solos mais propícios à erosão, destacam-se os classificados como Neossolos Quartzarênicos e Argissolos, como também, os Cambissolos e Latossolos de textura média (GUERRA, 2003). De acordo com DAEE (1989), os solos do tipo Argissolos são em geral mais susceptíveis à erosão do que os latossolos. Isso porque os Argissolos apresentam camada com acúmulo de argila abaixo do horizonte superficial, o que representa certa barreira à infiltração das águas, e também, o fato desses solos ocorrerem geralmente em posições de relevo mais declivosas. No entanto, em determinadas regiões os Argissolos escapam dessa generalização, como por exemplo a região de Lavras, MG, que de acordo com estudo de Silva (1990), essa classe de solo foi classificada como a mais resistente ao voçorocamento, e os cambissolos, como os mais susceptíveis.

5.7. EROSIVIDADE DO SOLO

Erosividade é definido como fator ou capacidade medida da intensidade dos diferentes agentes geológicos (chuva, em especial, gelo, vento, rios, mares), em promover a erosão de um determinado tipo de solo ou terreno geológico (WINGE, 2001).

Existem diversos ensaios que permitem analisar a erosividade em um solo motivada por fatores como: teor de umidade do solo no momento do evento erosivo, da energia erosiva do impacto da chuva, ou do escoamento da água. Bastos *et al.* (2000) menciona que as duas propriedades que permitem prever o comportamento dos solos tropicais frente à ação 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.

Freire (2001) descreve que a fase de remoção de partículas, conhecida por “erosão por *splash*”, ocorre quando as gotas batem no solo molhado e removem as partículas que estão envolvidas por uma película de água. Além das partículas serem transportadas pelo impacto das gotas de chuva, algumas é deslocado pelo choque proporcionado por sedimentos que batem uns contra os outros. Através da metodologia proposta por Inderbitzen (1961) e modificada por Freire (2001), pode-se quantificar no laboratório a erodibilidade dos solos, levando-se em consideração as características do escoamento superficial e o fenômeno da desagregação de partículas ocasionado pelo impacto das gotas de chuva.

6. RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÕES

Neste item são apresentados os locais identificados, conforme indicado no mapa do Anexo B, como sujeitos à ocorrência de processos erosivos.

Inicialmente, descrevem-se as principais características observadas no Bairro São Roque/Aroeira, localizado na porção norte da área urbana do município, numa região de relevo mais elevado e inclinado. Este bairro, ocupado majoritariamente por residências, possui redes de esgotamento sanitário, água potável, energia elétrica, iluminação pública e telefonia fixa. Existem vias não pavimentadas e pavimentadas com blocos de concreto articulados, entretanto, destaca-se que algumas ruas não possuem calçadas e galerias de águas pluviais, conforme ilustra a Figura 11.



Figura 11 - Vista parcial de via pavimentada no Bairro São Roque/Aroeira. Observam-se as ausências de bocas de lobo e calçadas. Nota-se, também, a características siltosa do solo local. Coordenadas do local da imagem: 22° 49,872' S / 45° 12,743' W. Data da registro: 01/09/2010.

No processo de ocupação da área, foram executadas escavações para construção de novas edificações, resultando em cortes verticais que contribuem para a instabilidade dos maciços e conseqüente ocorrência de processos erosivos, conforme ilustram a Figura 12, Figura 13 e Figura 14.



Figura 12 - Vista geral da escavação de encosta para construção de edificação. Observa-se a inclinação acentuada do talude de corte (vertical). Coordenadas do local da imagem: 22° 49,871' S / 45°12,742' W. Data da registro da imagem: 01/09/2010.



Figura 13 - Escavação de encosta para construção de edificação. Observa-se a característica siltosa do solo escavado. Coordenadas do local da imagem: 22° 49,871' S / 45°12,742' W. Data da registro da imagem: 01/09/2010.



Figura 14 - Escavação de encosta para construção de edificação. Observa-se a espessura acentuada do horizonte pedológico C, constituído de solo com característica siltosa. Coordenadas do local da imagem: 22° 49,871' S / 45°12,742' W. Data da registro da imagem: 01/09/2010.

No talude de corte ilustrado na Figura 14, foram coletadas duas amostras de solo, provenientes dos horizontes pedológicos C e B, doravante identificadas, respectivamente, como amostras 1 e 2 (coordenadas do local de coleta: $22^{\circ} 49,872' S / 45^{\circ} 12,743' W$).

Ainda no bairro São Roque/Aroeira, porém, em localidades diversas das anteriormente descritas, algumas ruas apresentam altas declividades longitudinais que dificultam a captação das águas pluviais pelos sistemas de drenagem superficiais. Entretanto, conforme mencionado existem vias não pavimentadas nas quais se observam a ausência de calçadas e presença de solo siltoso nos leitos carroçáveis, conforme ilustram a Figura 15 e Figura 16.



Figura 15 - Vista geral da Rua José Crispim Filho, localizada no Bairro São Roque/Aroeira. Observam-se as ausências de pavimentação, sistema de drenagem superficial e a característica siltosa do solo local. Coordenadas do local da imagem: $22^{\circ} 49,990' S / 45^{\circ} 12,794' W$. Data de registro da imagem: 01/09/2010.



Figura 16 - Vista parcial da Rua José Crispim Filho, localizada no Bairro São Roque/Aroeira. Observam-se as ausências de pavimentação e calçada. Coordenadas do local da imagem: $22^{\circ} 49,990' S / 45^{\circ} 12,794' W$. Data da registro da imagem: 01/09/ 2010.

No leito carroçável da Rua José Crispim Filho, coletou-se uma amostra de solo doravante identificada como amostra 3 (coordenadas do local de coleta: 22° 49,990' S / 45° 12,794' W)

No final da Rua José Marcelino Loyola, também localizada no Bairro São Roque/Aroeira, observou-se um intenso processo erosivo e a existência de um talude com corte vertical situado nos fundos da edificação ilustrada na Figura 17, comprometendo a segurança dos moradores locais.



Figura 17 - Vista parcial da porção final da Rua José Marcelino Loyola, localizada no Bairro São Roque/Aroeira. Observa-se a ocorrência de intenso processo erosivo na encosta adjacente à edificação. Coordenadas do local da imagem: 22° 50,098' S / 45° 13,065' W. Data de registro da imagem: 01/09/2010.

A Rua José Marcelino Loyola, pavimentada com blocos de concreto articulados, possui sistema de drenagem superficial. Entretanto, conforme ilustra a Figura 18, o sistema de drenagem realiza, na sua porção final, a captação das águas que advêm da encosta adjacente carreando materiais erodidos, os quais comprometem o bom funcionamento do sistema.



Figura 18 - Vista parcial da porção final da Rua José Marcelino Loyola, localizada no Bairro São Roque/Aroeira. Observa-se a existência de ponto de captação de águas pluviais, localizado no pé da encosta. Coordenadas do local da imagem: 22° 50,098' S / 45° 13,065' W. Data de registro da imagem: 01/09/2010.

No final da Rua José Marcelino Loyola, precisamente, na base da encosta, coletou-se uma amostra de solo que doravante será identificada como amostra 4 (Coordenadas do local da coleta: 22° 50,098' S / 45° 13,065' W).

Configurando uma prática rotineira, ainda no Bairro São Roque/Aroeira, observou-se a existência de diversos terrenos preparados para a construção de novas edificações, nos quais foram executados cortes verticais nas encostas, conforme ilustra a Figura 19.



Figura 19 - Vista parcial de terreno preparado para a construção de novas edificações, localizado na Rua Zequinha Lemes, do Bairro São Roque/Aroeira. Observa-se a presença de talude vertical executado na encosta. Coordenadas do local da imagem: 22° 50,117' S / 45° 13,127' W. Data de registro da imagem: 01/09/2010.

No bairro São Francisco, localizado na região leste da área urbana no município, observou-se que as vias são pavimentadas com revestimento asfáltico e existem redes de água potável. Entretanto, não existe sistema para coleta e esgotamento sanitário, o que constitui um grave problema ambiental.

No São Francisco, identificaram-se diversas áreas com sérios problemas relacionados com processos erosivos, decorrentes da ocupação antrópica. Nestas áreas, o solo tipicamente siltoso foi submetido a intenso processo de escavação, originando feições erosivas acentuadas, conforme ilustram a Figura 20, Figura 21 e Figura 22.



Figura 20 - Vista parcial da via de acesso ao Bairro São Francisco. Observa-se a ocorrência de intenso processo erosivo no talude de corte. Coordenadas do local da imagem: 22°51,516' S / 45°13,450' W. Data de registro da imagem: 01/09/2010.



Figura 21 - Vista parcial do talude de corte na encosta. Observa-se a ocorrência de intenso processo erosivo. Coordenadas do local da imagem: 22°51,466' S / 45°13,575' W. Data de registro da imagem: 01/09/2010.



Figura 22 - Vista parcial do talude de corte na encosta. Observa-se a ocorrência de intenso processo erosivo. Coordenadas do local da imagem: 22°51,466' S / 45°13,575' W. Data de registro da imagem: 01/09/2010.

Observou-se, também, no Bairro São Francisco, diversas edificações construídas em locais com topografia muito íngreme, acentuando e agravando a ocorrência de processos erosivos e o conseqüente risco de escorregamentos, conforme ilustra a Figura 23.



Figura 23 - Vista de edificação construída no morro. Observa-se a ocorrência de intenso processo erosivo nas suas imediações. Coordenadas do local da imagem: 22° 51,516' S /45° 13,450' W. Data de registro da imagem: 01/09/2010.

Ainda no bairro São Francisco, adjacente à Rua Benedito Garcia dos Reis, que lhe permite o acesso, ocorre um intenso processo erosivo decorrente da execução de taludes de corte para implantação desta rua, conforme ilustra a Figura 24. Devido ao adiantado estágio do processo erosivo, que coloca em risco os munícipes que residem na área, a Prefeitura Municipal de Aparecida elaborou o levantamento topográfico plani-altimétrico da área (Anexo C) para a elaboração das proposições técnicas para solução dos problemas alí presentes.



Figura 24 - Vista parcial da encosta com erosões intensas. Observa-se a proximidade das edificações sujeitas a soterramento por escorregamento de solo. Coordenadas do local da imagem: 22°51,606' S / 45°13,555' W. Data de registro da imagem: 01/09/2010.

No bairro, observou-se, também, a existência de diversas edificações construídas em terreno com alta declividade, dificultando sobremaneira a implantação de sistema eficiente de drenagem superficial, contribuindo para o agravamento dos processos erosivos. Através da Figura 25, ilustra-se a ocupação desordenada das encostas na área em questão.



Figura 25 - Vista parcial das edificações implantadas na encosta. Observa-se a alta declividade do terreno e a existência de solo exposto, propiciando a ocorrência de erosões em épocas de elevada precipitação pluviométrica. Coordenadas do local da imagem: 22° 51,829' S / 45° 13,395' W. Data de registro da imagem: 01/09/2010.

No bairro São Francisco foram coletadas duas amostras de solo, sendo uma no talude de corte localizado na estrada de acesso ao bairro, doravante identificada como amostra 5 (Coordenadas do local da coleta: 22° 51,516' S / 45° 13,450' W) e, a outra, na base do talude ilustrado na Figura 24, a qual doravante será identificada como amostra 6 (Coordenadas do local da coleta: 22° 51,606' S / 45° 13,555' W).

Na rua de acesso ao bairro Santa Luzia, localizado na região leste da área urbana, observou-se, nos taludes de corte que a margeiam, diversas feições erosivas decorrentes da elevada inclinação dos taludes e da falta de sistemas de drenagem superficial. Esta rua não possui pavimentação, calçadas e sistema de drenagem superficial, apresentando características típicas de estradas rurais da região. Na posição indicada pelas coordenadas: $22^{\circ} 51,153' S / 45^{\circ} 13,341' W$, coletou-se no talude de corte uma amostra de solo, doravante identificada como amostra 7. Através da Figura 26 e Figura 27, apresentam-se vistas parciais da rua em questão.



Figura 26 - Vista parcial da rua de acesso ao Bairro Santa Luzia. Observa-se a ausência de infraestrutura e as péssimas condições de conservação da rua. Coordenadas do local da imagem: $22^{\circ} 51,153' S / 45^{\circ} 13,341' W$. Data de registro da imagem: 01/09/2010.



Figura 27 - Vista parcial da rua de acesso ao Bairro Santa Luzia. Observa-se a ausência de infraestrutura e as péssimas condições de conservação da rua. Coordenadas do local da imagem: $22^{\circ} 51,153' S / 45^{\circ} 13,341' W$. Data de registro da imagem: 01/09/2010.

No Bairro São Geraldo, localizado na região sudoeste da área urbana, nas proximidades da Basílica Nacional de Nossa Senhora Aparecida, observou-se a ocorrência de intensos processos erosivos nas encostas, motivadas por escavações

diversas e ausência de sistemas de drenagem superficial. Visualmente, através da Figura 28, observa-se a característica siltosa do solo presente no local.



Figura 28 - Vista parcial da encosta localizada nas proximidades da Basílica Nacional de Nossa Senhora Aparecida. Observa-se a existência de intenso processo erosivo e a característica siltosa do solo presente no local. Coordenadas do local da imagem: 22° 51,541' S / 45° 14,772' W. Data de registro da imagem: 01/09/2010.

Na base da encosta, ilustrada na Figura 28, coletou-se uma amostra de solo, doravante identificada como amostra 8 (Coordenadas do local da coleta: 22° 51,541' S / 45° 14,772' W)

Por fim, observou-se no bairro Itaguaçu, localizado na região oeste da área urbana, a ocorrência de processos erosivos motivados pela carência de infraestrutura presente na área. As ruas deste bairro não são pavimentadas, não existem calçadas e sistemas de drenagem superficial. A topografia acidentada característica da área, a execução de escavações com taludes verticais para a construção de residências e a remoção da cobertura vegetal, contribuem para o agravamento dos problemas ambientais observados neste bairro. Através da Figura 29, ilustra-se um dos problemas ambientais presente na área em questão.



Figura 29 - Vista parcial da encosta localizada no bairro Itaguaçu. Observa-se a existência de intenso processo erosivo e a presença de horizonte saprolítico. Coordenadas do local da imagem: 22° 51,897' S / 45° 15,523' W. Data de registro da imagem: 14/02/2011.

No bairro Itaguaçu, mais precisamente na rua Itapetininga (vide Figura 30) coletou-se uma amostra de solo que doravante será identificada como amostra 9 (Coordenadas do local da coleta: 22° 51,897' S / 45° 15,523'' W).



Figura 30 - Vista parcial da Rua Itapetininga no bairro Itaguaçu. Observa-se a existência de alta declividade. Coordenadas do local da imagem: 22° 51,897' S / 45° 15,523' W. Data de registro da imagem: 14/02/2011.

No Laboratório de Transportes da FEG/UNESP, as amostras coletadas nos locais indicados no mapa do Anexo B, foram submetidas a ensaios de caracterização geotécnica básica e Mini-MCV. Através da Figura 31, ilustra-se as porções das amostras preparadas para ensaios de caracterização geotécnica básica. Constatou-se através de inspeção tátil-visual que as amostras constituem-se, predominantemente, de materiais finos (areia fina, silte e argila). Não constatou a presença de fragmentos de

rochas reliquias, embora as amostras, à exceção da amostra 2, tenham como origem o horizonte pedológico C.



Figura 31 - Mosaico com as fotos das amostras de solos coletadas. Data de registro da imagem: 21/03/2011.

Os resultados dos ensaios de caracterização geotécnica básica e as classificações através do Sistema Unificado encontram-se apresentados na Tabela 3. Na Figura 32 e Figura 33 apresentam-se, respectivamente, a localização das amostras na Carta de Plasticidade de Casagrande e as curvas de distribuição granulométrica.

Analisando-se os resultados observa-se que as amostras apresentaram baixos valores de Índice de Plasticidade. As frações granulares do conjunto de amostras consideradas constituem-se, predominantemente, por areia fina, sendo que as amostras 5 e 8 apresentaram características mais arenosas que as demais.

Constatou-se uma certa discordância entre os resultados da Classificação Unificada e a coloração das amostras, observadas visualmente. As amostras 5 e 8, de

colorações típicas de solos siltsos, foram classificadas, respectivamente, como argila pouco plástica com areia (CL) e argila pouco plástica (CL).

Tabela 3. Resultados da caracterização geotécnica.

AMOSTRA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Limite de Liquidez (%)	41	38	38	37	34	42	39	30	31	
Limite de Plasticidade (%)	38	24	35	26	20	39	33	19	25	
Índice de Plasticidade (%)	3	14	3	11	14	3	6	11	6	
Granulometria (% que passa)	# 10	99,8	98,8	99,8	98,5	100,0	100,0	99,7	100,0	100,0
	# 16	-	98,5	-	95,7	90,8	-	-	91,6	-
	# 30	81,3	88,6	83,2	81,5	67,3	98,9	90,8	67,2	89,3
	# 40	69,8	75,3	71,5	70,1	53,9	96,1	86,1	51,2	84,2
	# 50	61,2	67,5	62,9	63,1	45,0	90,4	81,2	39,6	78,4
	# 100	50,3	57,7	51,9	53,2	30,8	73,2	70,2	20,4	66,5
	# 200	43,1	51,7	46,7	48,2	21,8	48,0	60,6	13,8	56,6
Classificação "USCS"	ML	CL	ML	CL	CL	ML	CL-ML	CL	CL-ML	

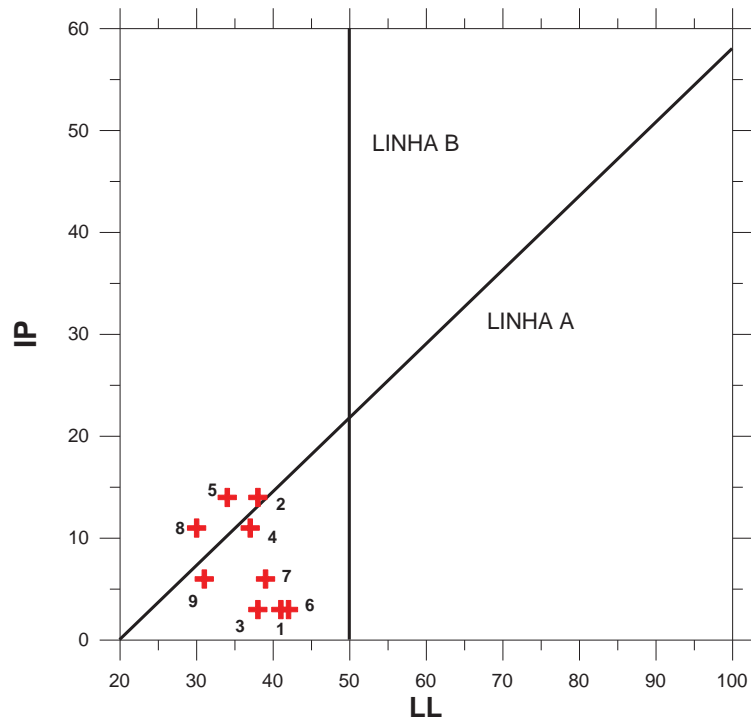


Figura 32 - Plasticidade das amostras

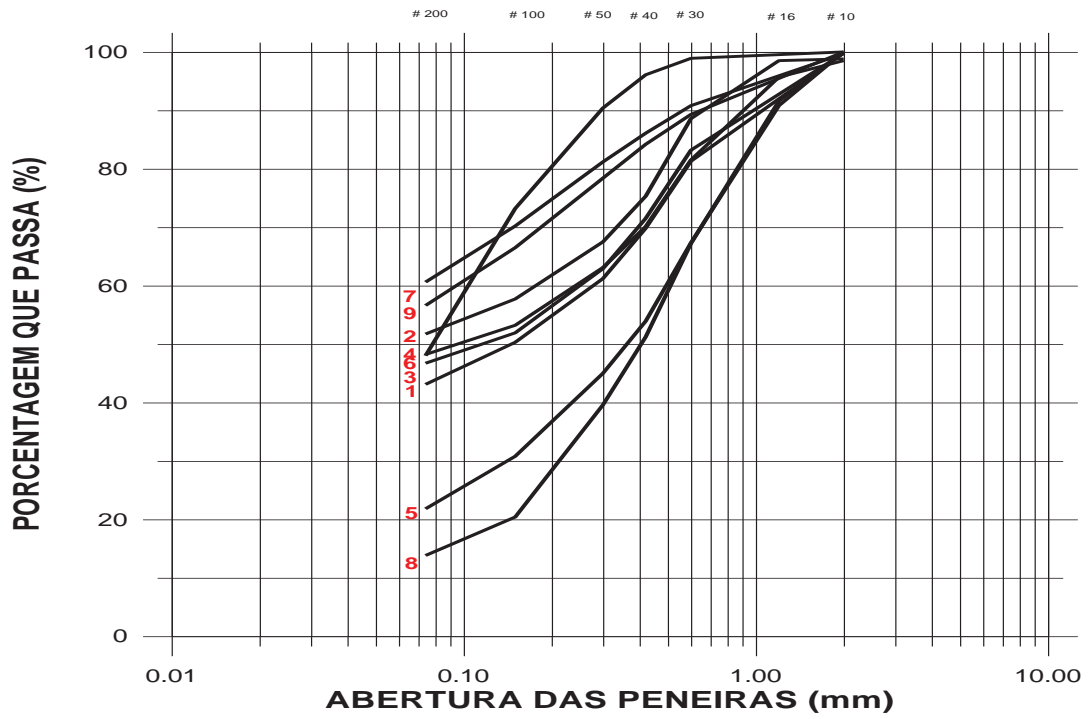


Figura 33 - Granulometria das amostras.

Na Tabela 4 apresentam-se os valores dos parâmetros classificatórios MCT e as respectivas classificações MCT-M das amostras, e na Figura 34 indicam-se as localizações das amostras no ábaco classificatório MCT-M.

Dos resultados apresentados observa-se, que as amostras foram classificadas, predominantemente, como solos de comportamento não laterítico siltoso (NS') e de comportamento não laterítico silto-argiloso (NS'G'), estando de acordo com as características tátil-visual observadas.

A amostra 2, coletada no horizonte pedológico B, foi classificada como solo de comportamento laterítico areno-argiloso (LA'G'), e a amostra 7, coletada no horizonte pedológico C, como solo de comportamento transicional areno-argiloso (TA'G').

Durante o ensaio de Mini-MCV, os corpos-de-prova da amostra 6 apresentaram exsudação durante a compactação em condições de umidade superiores a Mini-MCV igual a 10, impedindo a conclusão do ensaio. Entretanto, observou-se através da análise tátil-visual a característica siltosa desta amostra, a qual, provavelmente, seria classificada como solo de comportamento não laterítico siltoso.

Tabela 4. Parâmetros classificatórios MCT e classificações MCT-M das amostras.

Amostra	Parâmetros Classificatórios			Classificação MCT-M
	MCT			
	Pi (%)	c'	e'	
1	305,45	1	3,03	NS'
2	19,3	1,4	0,44	LA'G'
3	187,4	1,2	2,37	NS' - NS'G'
4	288,53	1,5	2,94	NS'G'
5	270,27	0,7	2,85	NS'
6	-	-	-	-
7	141,24	1,4	1,68	TA'G'
8	165,99	0,9	2,23	TA' - NS'
9	263,6	1,2	2,81	NS'-NS'G'

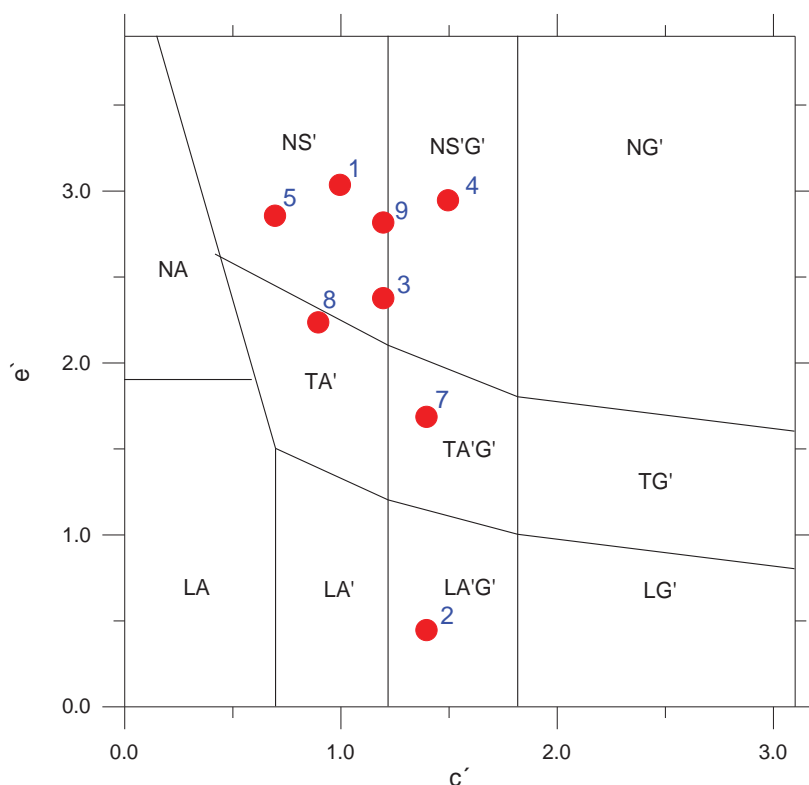


Figura 34 - Ábaco classificatório MCT-M.

Para avaliação do grau de erodibilidade associado aos solos considerados, utilizou-se o procedimento proposto por Vertamatti e Araújo (1998) que adota o ábaco classificatório MCT-M com identificações de diversas zonas de erosão, delimitadas segundo sua intensidade.

É importante ressaltar que as zonas encontradas por Vertamatti e Araújo (1998) resultam de determinações empíricas, portanto são regiões aproximadas dentro do ábaco MCT-M. Assim, alocaram-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 35.

Na Figura 35, observa-se que as amostras 3, 4 e 9 situaram-se na Zona V onde predominam GEAs 2 e 3, ou seja, grau de erosão associado alto. A amostra 7, classificada como solo de comportamento transicional areno-argiloso, localizou-se na Zona III onde predominam GEAs 0 e 1, indicando baixo a médio grau de erosão associado. A amostra 8, classificada como solo de comportamento transicional arenoso, localizou-se nas proximidades da Zona III, podendo-se conferir-lhe um grau de erosão associado de baixo a médio.

No ábaco da Figura 35, observa-se que para valores crescentes de e' ocorrem, de forma geral, solos com GEAs mais elevados. Assim, pode-se conferir à amostra 2 um baixo grau de erosão associado, e às amostras 1 e 5 um grau de erosão associado elevado. Estas previsões de erodibilidade já eram esperadas, como se pode perceber pelos valores do coeficiente de perda de massa em imersão (“Pi”) apresentados na Tabela 4, pois quanto maior o seu valor, maior o grau de erosão associado.

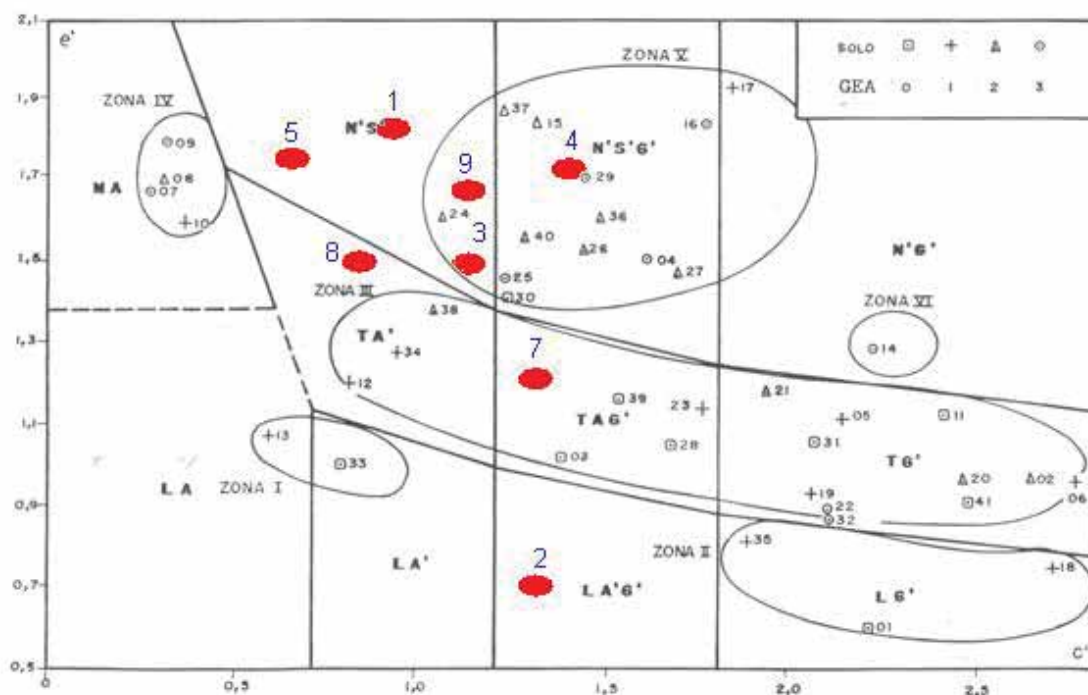


Figura 35 - Ábaco classificatório MCT-M com identificação dos Graus de Erosão Associados (GEA) para solos tropicais juntamente com a classificação das amostras coletadas. Fonte: Vertamatti e Araújo (1998).

A partir destes resultados, identificou-se as áreas de risco no perímetro urbano do município, conforme indicado no mapa do Anexo B, na qual se referem àquelas que estão sujeitas a episódios de movimentos de massa de solo e erosão.

Nestas áreas, observou-se que, a carência de infraestruturas urbanas e a construção indiscriminada de residências, sem a devida fiscalização dos órgãos competentes, contribuem para intensificar os processos erosivos existentes, como se pôde verificar em algumas das imagens dos locais visitados, apresentadas neste trabalho.

Para mitigar os problemas observados, sugere-se, preliminarmente, a realização de levantamentos topográficos, estudos geológicos e geotécnicos detalhados,

levantamentos de dados sobre as condições dos sistemas de drenagem existentes e a realização de rigorosa fiscalização para coibir a implantação de novos empreendimentos imobiliários sem a devida autorização oficial. Com base nos resultados dos estudos propostos, várias alternativas de soluções poderão ser propostas, destacando-se, dentre outras: a reconstrução de taludes, adequando-os às características geotécnicas dos solos presentes; a execução de muros de contenção, visando a proteção do solo; a utilização de solo envelopado; a contenção com solo cimento ensacado; biomantas antierosivas ou mesmo bioretentores de sedimentos. Vale ressaltar que estas medidas devem estar associadas a um eficiente sistema de drenagem superficial para direcionar o escoamento das águas pluviais e evitar o transporte de materiais. Além disso, outras medidas como a pavimentação das vias públicas, a adequada manutenção do sistema de drenagem superficial e a recomposição da vegetação em áreas de topos de morros, se fazem necessários para evitar o surgimento de novos focos de erosões.

No município de Aparecida, observam-se várias restrições geoambientais para a expansão da área urbana, a saber: à nordeste, a área urbana limita com a área urbana do município de Guaratinguetá; à noroeste, faz divisa com a área urbana do município de Potim e com o Rio Paraíba do Sul, o qual, anualmente, causa inúmeros transtornos decorrentes de inundações em áreas adjacentes às suas margens; à sudoeste, ocorrem áreas de várzeas contíguas ao Rio Paraíba do Sul, as quais apresentam inúmeros inconvenientes para a expansão urbana, podendo-se destacar a baixa capacidade de suporte do solo, elevado nível do lençol freático, além de restrições ambientais para a sua ocupação; à sudeste, área na qual estão inseridas diversas áreas identificadas como propensas à ocorrência de processos erosivos, a topografia acidentada dificulta a implantação de sistemas viários, drenagem superficial e impõe a necessidade de realização de cortes e aterros para a construção de edificações. Nesta região os solos superficiais, na sua maioria, de natureza silto-argilosos apresentam restrições para a implantação de obras civis, destacando-se, dificuldades de compactação, de drenagem e baixa coesão, dando origem a taludes de corte e/ou aterro instáveis.

7. CONCLUSÕES

Com base nos resultados da pesquisa, foram identificadas, na periferia da área urbana do município, algumas áreas com ocorrências e/ou predisposição para erosões. Nestas áreas, observou-se, predominantemente, a existência de edificações residenciais de baixo padrão construtivo, as quais, na sua maioria, não tiveram um acompanhamento técnico na fase construtiva, evidenciando a falta de fiscalização dos órgãos competentes.

De forma geral, a precária infraestrutura urbana associada à ocupação desordenada destas áreas vem contribuindo para a aceleração dos processos erosivos, gerando instabilidade de taludes e colocando em risco as vidas dos munícipes.

Os resultados dos ensaios geotécnicos permitiram constatar, nas áreas pesquisadas, a predominância de solos com características siltosas, a exemplo das amostras 1, 3 e 6 que segundo a classificação “USCS” podem ser considerados siltes (ML), enquanto as amostras 7 e 9, apresentam características siltosas e também argilosas a medida que foram classificadas como CL-ML, ao mesmo tempo que as amostras 2, 4, 5 e 8 podem ser classificadas como argila de baixo compressibilidade segundo a mesma classificação. De forma geral, estes solos apresentam grande suscetibilidade à ocorrência de processos erosivos, conforme indicaram os resultados da Classificação MCT-M/GEA.

Os problemas observados requerem uma intervenção urgente do poder público municipal para a sua solução. Para tanto, sugere-se, preliminarmente, a realização de levantamentos topográficos, estudos geológicos e geotécnicos detalhados, levantamentos de dados sobre as condições dos sistemas de drenagem existentes e a realização de rigorosa fiscalização para coibir a implantação de novos empreendimentos imobiliários sem a devida autorização oficial. Com base nos resultados destes estudos, dever-se-á adotar as soluções técnicas pertinentes para cada caso.

Destaca-se, considerando-se as restrições geoambientais para a expansão da área urbana do município, a importância da elaboração de um plano de urbanização, embasado em estudos aprimorados, que estabeleça as diretrizes para os novos empreendimentos imobiliários, respeitando-se as características físicas, geológicas e geotécnicas das áreas destinadas à expansão urbana.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SABER, A.N.; BERNARDES, N. 1956. Vale do Paraíba, Serra da Mantiqueira e arredores de São Paulo. **Engenharia, Mineração e Metalurgia**, 24 (143). p. 284-292.
- AB'SABER, A.N. **O domínio dos mares de morro no Brasil**. São Paulo, USP/Instituto de Geografia, (Série Geomorfologia, 2), 9p. 1966.
- ALCÂNTARA, M. A. T. **Aspectos geotécnicos da erodibilidade de solos**. São Carlos/SP, 1997, 128p. Dissertação de Mestrado em Geotecnia, Escola de engenharia de São Carlos, Universidade de São Carlos.
- ALMEIDA, F. F. M. Fundamentos Geológicos do eixo Paulista in: Geologia do Estado de São Paulo, **Boletim Instituto de Geografia e Geologia**, São Paulo, n° 41, p. 169-263, 1964.
- ALMEIDA, F.F.M. The system of continental rifts bordering the Santos Basin, Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, n. 48 (Supl.), p.15-26, 1976.
- ALMEIDA, J.R de. **Erosão dos solos e suas conseqüências**. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.7, n.80, 17-26, 1981.
- AMORIM, R.S.S. **Desprendimento e araste de partículas de solo decorrentes de chuvas simuladas**. 1999. 75f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1999.
- 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.
- BASTOS, C. A. B.; MILITITSKY, J.; GEHLING, W. Y. Y. Emprego do ensaio de Inderbitzen e da Metodologia MCT no estudo da erodibilidade de solos residuais da Grande Porto Alegre. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 9.; 1999, São Pedro/SP. **Anais...** São Pedro/SP: ABGE, 1999.
- BERGGREN, W.A.; BURCKLE, L.H.; CITA, M.B.; COOKE, H.B.S.; FUNNELL, B.M.; GARTNER, S.; HAYES, J.D.; KENNETT, J.P.; OPDYKE, N.D.; PASTOURET, L. SHAKLETON, N.J.; TAKAYANAGI, Y. Towards a new Quaternary time scale. **Quat. Res.** New York, 13(3): 377-202, May.1980.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 2. ed. São Paulo: Editora Ícone, 1993, 352p.

- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 1999.
- BOTELHO, R.G.M.; GUERRA, A.J.T. Erosão dos solos. In: CUNHA, S. B. da; GUERRA, A.J.T. **Geomorfologia do Brasil**. 3 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003, p.181-220.
- BRANDALISE, L. A.; RIBEIRO, J. H.; FERRARI, P. G. **Projeto Vale do Paraíba do Sul: relatório final**. DNPM/CPRM. Belo Horizonte, 1976.
- 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**.
- CARSON, M.A.; KIRKBY, M.J. **Hillslope form and process**. Cambridge University Press, 1975. 475p.
- CARVALHO, D. F. de; MONTEBELLER, C. A.; CRUZ, E. S. da; CEDDIA, M. B.; LANA, A. M. Q. Perda de solo e água em Argissolo Vermelho Amarelo, submetido a diferentes intensidades de chuva simulada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 3, p. 385-389, 2002.
- CAVAGUTI, N. Análise global a erosão linear na área urbana de Bauru-SP. SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 5., Bauru. **Anais...** Bauru: Boletim de Campo, 1995. P. 301-304.
- CEIVAP-Comitê para Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul- **Diagnóstico da situação atual dos recursos hídricos**. Rio de Janeiro. Fundação Coppetec/UFRJ/Agência Nacional das Águas (ANA), 2002. 8v.
- COELHO NETO, A. L. Hidrologia de encosta com a interface com a geomorfologia. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA S. B. da (Ed.). **Geomorfologia: uma atualização de base e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. P. 93-148.
- COZZOLINO, V. M. M.; NOGAMI, J.S. Classificação geotécnica MCT para solos tropicais. **Solos e Rochas**. São Paulo, v. 16, n. 2, p. 77-91, 1993.
- DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica. **Controle de erosão: bases conceituadas e técnicas; diretrizes para o planejamento urbano e regional; orientações para o controle de voçorocas urbanas**. São Paulo: DAEE/IPT. 1989. 92p.
- DE MARTONNE, E. Problemas Morfológicos do Brasil Tropical Atlântico. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, n° 4, p.3-27, 1943.

- 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 E RODAGEM. DNER-ME 256/94:
Solos Compactados com equipamento miniatura – Determinação da perda de massa por imersão. Rio de Janeiro, 1994.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM. DNER-ME 258/94:
Solos Compactados com equipamento miniatura – Mini-MCV. Rio de Janeiro, 1994.
- DERPSH, R.; SIDIRAS, N.; HEINZMANN, F. X. Manejo do solo com coberturas verdes de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília-DF. v. 20, p. 761-773. 1986
- ELTZ, F. L.; CASSOL, E. A.; SCOPEL, I.; GUEERA, M. Perdas de solo e água por erosão em diferentes sistemas de manejo e coberturas vegetais em solo Laterítico Buno-Avermelhado distrófico (são Jerônimo) sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 8, p.117-125, 1984.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. - Brasília: Embrapa Produção de Informações; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412p. :il.
- EMILIANI, C. Pleistocene Temperatures. **J. Geol.** Chicago 63(6): 538-78, Nov. 1955
- FAO-TERRASTAT. Land and Water Development Division. Terrastat-Land Resource Potential and Constraints Statistics. Terrastat database: **Land degradation severity and human-induced land degradation due to agricultural activities**. FAO. AGL. 2003, Disponível em: www.fao.org. Acessível em: 15 de junho de 2012.
- FENDRICH, R.; OBLADEN, N. L.; AISSE, M. M.; GARCIAS, C. M. **Drenagem e controle da erosão urbana**. Curitiba: Ibrasa Champagnat, 1988. P. 1-442.

- FERREIRA, L. **Avaliação indireta da erodibilidade em solos com altos teores de ferro e aspectos relacionados com a mineralogia e micromorfologia.** 1992. 82f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 1992.
- FISHER, A.G. Long-term climatic oscillations recorded in stratigraphy. In: **Studies in geophysics: climate in Earth history.** Nat. Acad. Press, 1982. p.87-104.
- 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.
- GOULART, R. M. **Atributos de solos e comportamento de espécies florestais em processo de estabilização de voçorocas.** 2005. 91f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal – Manejo Ambiental) – Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 2005.
- GUERRA, J. A. T.; COELHO, M. C. N.; MARÇAL, M. dos S. Açailândia: cidade ameaçada pela erosão. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v. 23, n.138, p. 36-45, 1998.
- GUERRA, A. J. T. Processos erosivos nas encostas. In: GUERRA, A. J. T. & CUNHA, S. B. da (Org.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. p.149-199.
- HASUI, Y. & PONÇANO, W.L. Organização estrutural e evolução da Bacia de Taubaté. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30, 1978, Recife. **Anais...** Recife: Sociedade Brasileira de Geologia, 1978, v. 1, p. 368-381.
- HERNANI, L. C.; FREITAS, P. L.; PRUSKI, F. F.; De MARIA, I. C.; CASTRO FILHO, C.; LANDERS, J. C. A erosão e seu impacto. In: MANZATTO, C. V.; FREITAS JÚNIOR, E.; PERES, J.R. R. (Ed.). **Uso agrícola dos solos brasileiros.** Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2002. p.47-60.
- INDERBITZEN, A.P.L. **An erosion test for soils. Materials Research; Standards, Philadelphia,** 1 v., p.553-554, 1961.
- IBGE. 2010. **Censo Demográfico 2010 - Resultados.** Disponível em: <http://www.censo2010.ibge.gov.br/>. Acessível em: 20 de julho de 2012.
- IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas). **Geologia da folha de São José dos Campos.** São Paulo, IPT, 1978, v.1.

- IPT (1981) **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo (escala 1:1.000.000)**. São Paulo, Inst. De Pesq. Tecnol. Estado de São Paulo, Div. Minas e Geol. Aplicada, Monogr. 5, 126p. 1 mapa.
- IPT. **Geologia das Folhas Jacareí, Tremembé, Taubaté e Pindamonhangaba**. São Paulo, IPT, 1990, v. 1.
- KLAMT, E. Solos arenosos da região de Campinas no Rio Grande do Sul. In: PEREIRA, V. P.; CRUZ, M.E. (Ed.). **Solos altamente suscetíveis à erosão**. Jaboticabal: SBCS, 1994. p. 19-37.
- LAL, R. **Soil Erosion in the Tropics: Principles and management**. McGraw-Hill, Inc, 1990, 580p.
- LAL, R. Managing world soils for food security and environmental quality. **Advances in Agronomy**. Academic Press. v.74p. 155-192, 2001a.
- LAL, R. Soil degradation by erosion. **Land Degradation & Development**. V. 12, 519-539, 2001b.
- LEINZ, V.; LEONARDOS, O.H. 1977. **Glossário geológico**. Companhia Editora Nacional, São Paulo.
- LEPSCH, I. F. **Solos – Formação e Conservação**. 5 ed. São Paulo: Melhoramentos, 1994. V. 1., 157p.
- MACÊDO, A. B. Panoramas da degradação de terras no Brasil. In: REBOUÇAS, A. da C. (Org.). **Panoramas da degradação do ar, da água doce e da terra no Brasil, Rio 92: cinco anos depois**. São Paulo: IEA/USP; Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 1997. p. 115-119.
- MACHADO, R. L.; RESENDE, A.S. de; FRANCO, A. A. Recuperação de voçorocas no município de Pinheiral-RJ empregando técnicas alternativas: atividades desenvolvidas, resultados preliminares de adubação de leguminosas arbóreas e custos envolvidos. In: SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE REGENERAÇÃO AMBIENTAL DE CIDADES: Águas Urbanas, 1.; 2004, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABAP/IPP/PROARQ/FAU-UFRJ/EBA/IAB-RJ, 2005. CD ROM.
- MACHADO, R.L. **Perda de solo e nutrientes em voçorocas com diferentes níveis de controle e recuperação no Médio Vale do Rio Paraíba do Sul, RJ**. 2007. 86f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2007.

- MARSON, M. – **Análise crítica da Classificação MCT para solos tropicais.**
Dissertação de Mestrado. Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA. São José dos Campos, 2004.
- MELO, M. S.; RICCOMINI, C.; CAMPANHA, G. A. C.; MIOTO, J. A.; ALMEIDA, F. F. M.; HASUI, Y.; PONÇANO, W. L. & GIMENEZ, A. F. 1983. **Estudos geológico-tectônicos na Bacia de Resende (RJ) e sedimentos terciários de Volta Redonda (RJ) e Bacia de Taubaté (área de Cruzeiro-SP).** Relatório 17.737, IPT, São Paulo, 124p.
- MELO, M. S.; RICCOMINI, C.; HASUI, Y.; ALMEIDA, F. F. M. & COIMBRA, A. M. 1985. Geologia e evolução do sistema de bacias tafrogênicas continentais do sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, 15 (3): 193-201.
- MIRANDA, J.G. **Mapeamento Geotécnico e estudo da susceptibilidade à erosão da bacia do Ribeirão Ponte de Pedra (MT), escala 1:100.000.** Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2005.
- MORAIS, F.; BACELLAR, L. A. P.; SOBREIRA, F. G. Análise da erodibilidade de saprolitos de gnaiss. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 1055-1062, 2004.
- MORALES, N. **Neotectônica em ambiente intraplaca: exemplo da região sudeste do Brasil** (sistematização crítica da produção científica). Tese livre docência, Rio Claro, 201p, 2006.
- MOURA, C. A. **Zonamento Geoambiental como Subsídio à análise dos indicadores ambientais nas áreas de dutos: Caracterização do clima como fator determinante da instabilidade das áreas de implantação de dutos.** 2006. 69f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Geografia). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro, SP, 2006.
- MUNIZ, L. da S.; VIEIRA, A. F. G.; OLIVEIRA, J. A. de. **Erosão por voçorocas no distrito industrial II-MANAUS (AM).** 2003. Disponível em: <http://www.igeo.uerj.br>. Acessível em: 15.08.2012.
- 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. Uma nova classificação de solos para finalidades rodoviárias. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SOLOS TROPICAIS, 1., 1981, Rio de Janeiro/RJ. **Anais...**, Rio de Janeiro/RJ: COPPE/ABMS, 1981. p. 30-40.
- NOGAMI, J. S.; VILLIBOR, D. F. Soil characterization of mapping units for highway purposes in a tropical area. **Bulletin of the International Association of Engineering Geology**. Krefeld, n. 19, p. 196-199, 1979.
- NOGAMI, J. S.; VILLIBOR, D. F. **Pavimentação de Baixo Custo com Solos Lateríticos**. São Paulo/SP: Editora Villibor, 1995. Cap. 7: Erosão na faixa marginal, p. 169-196.
- OLIVEIRA, J. A. **Caracterização física do Ribeirão Caximbal Pinheiral-RJ, e suas principais paisagens degradadas**. 1998. 143f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) – Instituto de Florestas. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 1998.
- OLIVEIRA, J. B. et al. **Mapa Pedológico do Estado de São Paulo**. Campinas – Instituto Agrônomo. 4 mapas, color., 68 cm x 98 cm. Escala 1:500.000 acompanha legenda expandida. 1999.
- OKA-FIORI, C; SOARES, P.C. **Aspectos evolutivos das voçorocas**. Notícias Geomorfológicas. Campinas. V. 16. N.32. 1976 p. 114-124.
- PASTORE, E. L. Contribuição ao tema geotecnia e meio ambiente: erosão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES, 8., 1986, Porto Alegre/RS. **Anais...** Porto Alegre/RS: ABMS, 1986, p. 43-54
- RESENDE, M. N. **Aplicações de conhecimentos pedológicos à conservação de solos**. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 11, n. 128, p. 3-18, 1985.
- RICCOMINI, C. **O Rift Continental do Sudeste do Brasil**. 1989. 256f. Tese (Doutorado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.
- 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.
- SANTOS, A. C.; SALCEDO, I. H. & CANDEIAS, A. L. B. Relação entre relevo e as classes texturais do solo na microbacia de Vaca Brava (PB). **Revista Brasileira de Cartografia**. Pernambuco, v. 54, p. 86-94, 2002.

- SEGANFREDO, M. L.; ELTZ, F. L. F.; BRUM, A. C. R. Perdas de solo, água e nutrientes por erosão hídrica em sistemas de culturas em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.21, p.287-291, 1997.
- SHAKLETON, N.J. & OPDYKE, N.D. **Oxygen isotope and paleomagnetic stratigraphy of equatorial Pacific cores V28-238: oxygen isotope temperatures and ice volumes on a 10 year and 10 year scale.** *Quat. Res.* New York 3(1): 39-55, jan.1973.
- SHEN, H. W.; LAI, J. S. Sustain reservoir useful lifew by flushing sediment. **International Journal of Sediment Research**, Beijing, v.11, n. 3, p. 11-17, 1996.
- SILVA, A. C. **Relação entre voçorocas e solos na região de Lavras (MG)**, 1990. 124f. Dissertação (mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 1990.
- SILVA, M. L. N.; CURI, N. FERREIRA, M.; LIMA, J. M. de; FERREIRA, D. F. Proposição de modelos para a estimativa da erodibilidade de latossolos brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n. 12, p. 2287-2298, 1999b.
- SOARES, P. V.; PEREIRA, S. Y.; SIMÕES, S. J. C.; BERNADES, G. P.; BARBOSA, S. A. **Mapa de infiltração do alto e médio Vale do Paraíba do Sul com base em elementos do meio físico e na precipitação.** *Ambi-Água*. Taubaté. V.3.N.1, p.26-42, 2008.
- SOUSA, C.J.S. **Carta de Vulnerabilidade à erosão como subsídio ao zoneamento ecológico-econômico em área intensamente antropizada.** 1998. 172f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – INPE, São José dos Campos, 1999.
- SOUZA, J. A.; BAHIA, V. G. Seleção de práticas conservacionistas baseada em critérios pedológicos. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 19, n. 191, p. 19-27, 1998.
- SOUZA, M.L. **Estudos Geológico-Geotécnicos de feições erosivas voltadas a tomada de procedimentos d decisões quanto a medidas correlativas, mitigadoras e preventivas – Aplicações no município de Umarama – PR.** 2001. Rio Claro Universidade Estadual Paulista. Tese (Doutorado em Geociências).
- SUGUIO, K. **Geologia Sedimentar.** São Paulo: Edgard Blücher, 2003.

- TERAMOTO, P. M.; FISCH, G.; SIMÕES, S. J. C. Comparação entre dados de precipitação obtidos por satélites e por pluviômetros no Vale do Paraíba. In: Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul: Recuperação de Áreas Degradadas Serviços Ambientais e Sustentabilidade, Taubaté/SP, **Anais II**, Brasil, 2009, IPABHi, p. 327-334.
- VENTURIM, R. P.; BAHIA, V. G. Considerações sobre os principais solos de Minas Gerais, sua susceptibilidade à erosão. In: LACERDA, V. L. A. Conservação de Solos. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 19, n. 191, p. 7-9, 1998.
- 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. Uma nova abordagem para a previsão do grau de erodibilidade de solos tropicais. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 5., 1995, Bauru/SP, **Anais...**, Bauru/SP: ABGE/P.M.Bauru/UNESP, 1995. p. 483-486.
- 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., 1998, Brasília/DF. **Anais....** Brasília/DF: ABMS, 1998, v. 1, p. 573-579.
- VERTAMATTI, E.; ARAÚJO, F. A. R. Critério para previsão do potencial erosivo de solos tropicais. REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 24., 1990, Belém/PA. **Anais...** Rio de Janeiro/RJ: ABPv, 1990, v. 1, p. 328-348.
- VERTAMATTI, E.; ARAÚJO, F. A. R. PAPPALARDO, F. R. Estudo da erodibilidade de solos tropicais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA. 6. / CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES, 9., 1990, Salvador/BA. **Anais...** Salvador/BA: ABGE/ABMS, 1990, v.1, p. 363-370.
- VILAR, O.M. (1987) **Formulação de um modelo matemático para a erosão dos solos pela chuva**. Tese(Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. p.196 apud NISHYAMA, L. (1995) Erosão do solo: uma visão integrada dos fatores e processos que condicionam o seu desenvolvimento. Seminários Gerais em Geotecnia(833). São Carlos. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, 95 p.

- VILAR, O. M.; PRANDI, E. C. Erosão do solos. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA. **Solos do interior de São Paulo**. São Carlos/SP; ABMS / EESC-USP, 1993, Cap. 7, p. 177-206
- VILLIBOR, D. F.; NOGAMI, J.; FABBRI, G. T. P. Proteção à erosão em pavimentos de baixo custo. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 21., 1986, Salvador/BA. **Anais...** Rio de Janeiro/RJ: ABPv, 1986, v. 2, p. 413-430.
- WINGE, M. *et. al.* 2001. **Glossário Geológico Ilustrado**. Disponível em: <<http://www.unb.br/ig/glossario/>>. Acessível em: 09 de julho de 2012.
- WISCHMEIER, W. H. & MANNERING, J. V. Relation of soil properties to its erodibility. **Soil Science Society of American proceedings**, Madinson, v. 33, p. 131-137, 1969.
- WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Rainfall energy and its relationships to soil loss. **Transcations of the American Geophysical Union**, Washington, v. 39, p. 285-291, 1958.

Anexo A

PROPOSTAS DE ALTERAÇÃO DOS PROCEDIMENTOS PARA A CLASSIFICAÇÃO MCT DE SOLOS TROPICAIS

MARSON (2004) propôs alterações nos procedimentos para a Classificação MCT, as quais são apresentadas a seguir. Tais alterações visaram, também, tornar as normas de ensaios (DNER-ME 256/94, DNER-ME 258/94 e DNER-CLA 259/96) mais simples e objetivas, evitando que se cometam erros na classificação das amostras decorrentes da falta de clareza do texto contido nelas.

1. ENSAIO DE COMPACTAÇÃO Mini-MCV

1.a. **Preparação da amostra:**

A amostra de solo deve ser seca ao ar, destorroada e homogeneizada, com um teor de umidade que permita a trabalhabilidade do material na peneira nº 10.

Em seguida, deve-se passá-la na peneira nº 10, destorroando as frações retidas. Obter cerca de 1.000g de material passando nessa peneira, acondicionar em saco plástico e determinar o teor de umidade, para orientação das umidades a adicionar nas porções que serão compactadas.

Toma-se, então 3 (três) porções com cerca de 300g cada e adiciona-se, a cada uma delas, água em quantidade tal que se consigam umidades sucessivamente crescentes, de cerca de 2%. Essas porções devem abranger uma faixa de umidade que permita a obtenção de uma curva de deformabilidade cujo traçado seja próximo do ponto de intersecção do Mini-MCV = 10 com a reta $a_n = 2,00\text{mm}$, uma antes e outra depois deste ponto. A curva de deformabilidade próxima do Mini-MCV = 10 geralmente é obtida quando a amostra apresenta teor de umidade próximo ao ótimo determinado no ensaio Proctor na energia normal. Após isso, devem-se acondicioná-las em sacos plásticos, onde permanecerão até o momento da compactação dos corpos de prova.

Porém, como foi constatado que o tempo de difusão da umidade na amostra não altera significativamente o resultado final, sugere-se compactar cada corpo de prova logo após a homogeneização da água na porção de solo, traçando, em seguida, sua curva

de deformabilidade. Deste modo, é possível conhecer a posição da curva em relação ao Mini-MCV = 10 e planejar a adição de água para moldar os próximos corpos de prova.

1.b. Ensaio:

Passar vaselina internamente aos moldes que serão utilizados. Colocar o espaçador da base, colocar o molde sobre o mesmo e introduzir o disco de papel filtro no molde para que cubra o topo do pistão (vide Figura 1A).

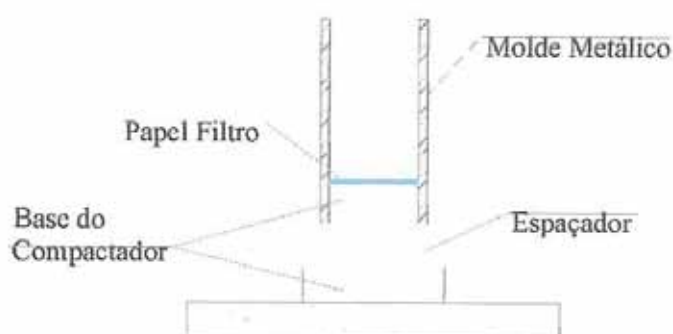


Figura 1A. Arranjo de equipamento para a compactação do solo

Pesar 200g de solo e despejá-lo no molde com auxílio do funil. A seguir, nivelar o solo dentro do molde com auxílio do assentador, exercendo pequena pressão, e colocar outro disco de papel filtro sobre o topo da porção de solo. Retirar uma porção da amostra restante no saco plástico para determinação do teor de umidade.

Posicionar o soquete tipo leve, previamente aferido, sobre a porção de solo do molde. Dar o primeiro golpe, efetuando logo em seguida a leitura do paquímetro correspondente a este golpe, e retirar o espaçador da base. Dar golpes sucessivos e efetuar leituras do paquímetro correspondentes à seguinte série de golpes: 2, 3, 4, 6, 12, 24, 32, 48, 64, 96, 128, 192, 256 e 384, interrompendo o processo quando:

- a) a diferença entre a leitura obtida após $4n$ golpes e a obtida após n golpes indicar o início de inflexão da curva de deformabilidade;
- b) o número de golpes atingir 384 (solo seco demais);
- c) houver início de exsudação de água na base do corpo de prova (amostra úmida demais).

Terminada a operação de compactação, retirar do molde o soquete e da base o molde com o corpo de prova. Repetir estas operações utilizando as outras porções de solo preparadas com teores de umidade diferentes.

1.c. **Cálculos:**

Determinar o teor de umidade de cada porção utilizada na compactação. Calcular as diferenças de altura a_n pelas leituras do extensômetro ou paquímetro correspondente a cada golpe da série mencionada acima, pela Equação 1A.

$$a_n = A_n - A_{4n} \quad (1A)$$

Onde:

a_n - diferença de altura, mm;

A_n - altura do corpo de prova após o número de golpes n , mm;

A_{4n} - altura do corpo de prova após $4n$ golpes, mm.

Traçar as curvas de Mini-MCV (deformabilidade) referentes a cada teor de umidade de compactação, representando em abscissas o número de golpes (em escala logarítmica) e em ordenadas os valores de a_n calculados segundo discriminado acima (vide Figura 2A). A intersecção dessas curvas com a reta horizontal $a_n = 2,00\text{mm}$ fornece o Mini-MCV diretamente em escala gráfica apropriada ou utiliza-se, para isso, a Equação 2A.

$$\text{Mini - MCV} = 10 \times \log_{10} B \quad (2A)$$

Onde:

B - número de golpes que resulta da intersecção da curva Mini-MCV com a reta de equação $a_n = 2,00\text{mm}$.

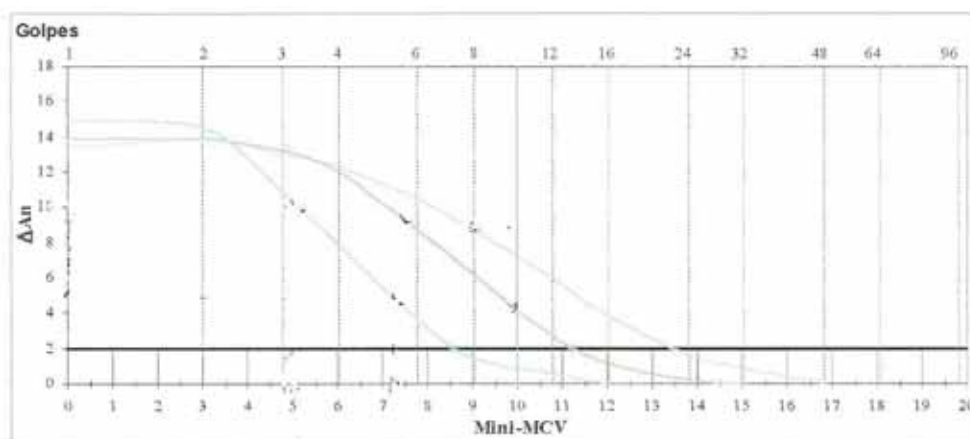


Figura 2A. Curvas de deformabilidade

Para cada uma destas curvas determinar o parâmetro c' , que é o coeficiente angular de sua parte mais inclinada e retilínea; traçar uma curva c' x Mini-MCV, representando os valores de Mini-MCV em abscissas e os valores de c' em ordenadas, como ilustrado na Figura 3A, e obter o c' correspondente ao Mini-MCV = 10.

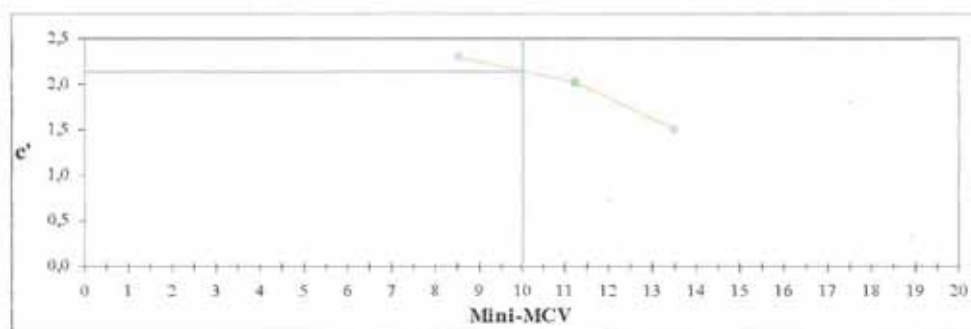


Figura 3A. Curva c' x Mini-MCV

2. DETERMINAÇÃO DA PERDA DE MASSA POR IMERSÃO

2.a. Ensaio:

Deslocar o corpo de prova contido no molde, com uso de um extrator apropriado, de maneira que este fique 10mm para fora do cilindro.

Retirar, então, os discos de papel filtro das extremidades do corpo de prova e transferi-lo com o molde para um tanque de imersão, posicionando-os horizontalmente sobre um suporte e colocando uma cápsula metálica no tanque de imersão, de modo que esta fique sob a parte exposta do corpo de prova (vide Figura 4A). A lâmina de água no tanque de imersão deve atingir pelo menos 1 cm acima da superfície externa do molde.

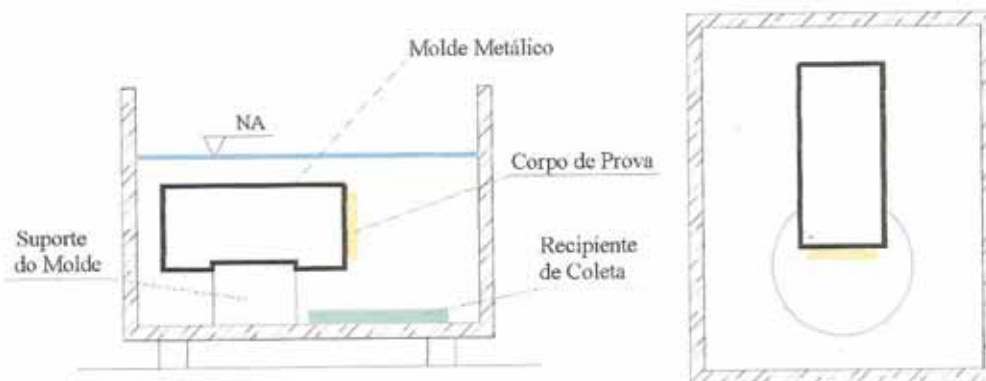


Figura 4A. Tanque de imersão com corpo de prova e recipiente de coleta

Após um mínimo de 4 horas, retirar o molde do tanque de imersão mantendo-o na posição horizontal; examinar e anotar a forma da porção de solo que permaneceu no molde. Retirar, então, a cápsula do tanque de imersão e, se a mesma contiver alguma porção de solo desprendida do corpo de prova, anotar a sua forma e em seguida determinar a sua massa após secagem em estufa padrão, para o cálculo da perda de massa por imersão.

2.b. Cálculos:

A perda de massa por imersão (P_i), para uma determinada condição de compactação, é obtida pela Equação 3A.

$$P_i = [(10 \times M_d \times A) : M_s] \times k \quad (3A)$$

Onde:

P_i – perda de massa por imersão, expressa em %;

M_d – massa de solo seco da porção desprendida do corpo de prova, em g;

A – altura inicial do corpo de prova em mm, com precisão de 0,01mm;

M_s – massa seca em estufa do corpo e prova calculada pela Equação 4A;

k – fator de correção.

$$M_s = [(100 \times M_g) : (100 + H_e)] \quad (4A)$$

Onde:

M_g – massa úmida do corpo de prova, expressa em g;

H_e – teor de umidade de compactação, expresso em %.

A massa de solo seco da porção desprendida de cada corpo de prova deve ser corrigida de acordo com sua forma, observando-se os coeficientes apresentados na Figura 5A.







Fator de Correção	0,00	0,25	0,50	0,50	0,75	1,00
Descrição do Bloco Desprendido	Sem queda	Maciço	Fissurado	Parcial	Fragmentado	Massa diluída
Formato do Bloco Desprendido						

Figura 5A. Coeficientes de correção da P_i em função da forma da porção desprendida. Fonte: VERTAMATTI (1988).

Após obter os valores de P_i para todos os corpos de prova, construir a curva $P_i \times$ Mini-MCV e determinar o P_i para Mini-MCV = 10 (vide Figura 6A).

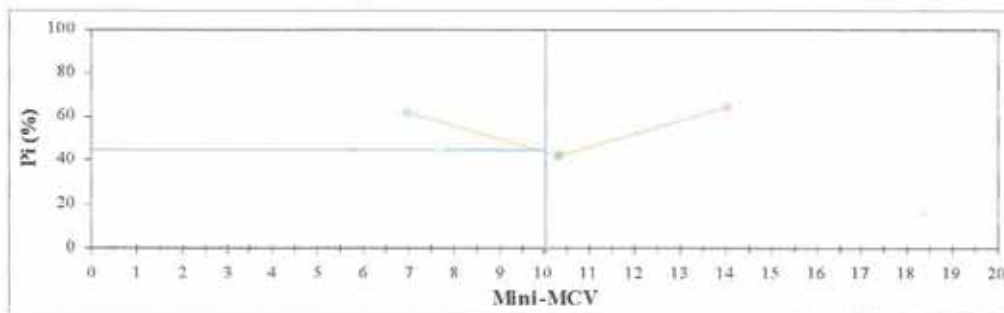


Figura 6A. Curva Pi x Mini-MCV

Esta mesma curva deve então ser lançada no ábaco de atributos das curvas Pi x Mini-MCV (vide Figura 7A) para a obtenção de seu Atributo (A_i), o qual varia de 1 a 3, conforme a área onde se localiza a curva.

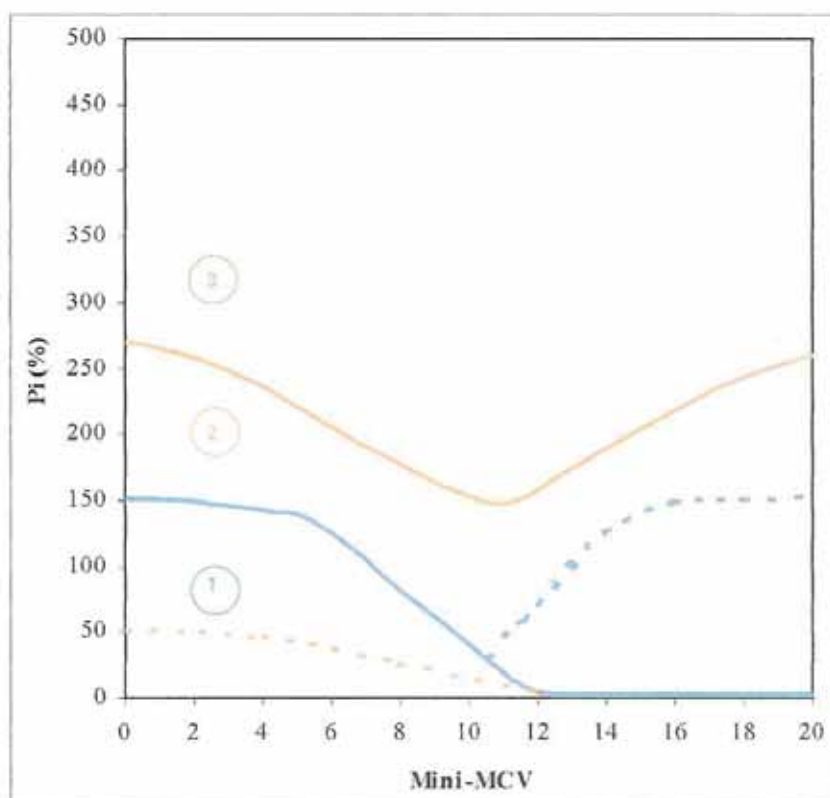


Figura 7A. Ábaco de atributos das curvas Pi x Mini-MCV.

3. CLASSIFICAÇÃO MCT DE SOLOS TROPICAIS

Executar o ensaio de compactação Mini-MCV, de acordo com o item 1, e em seguida determinar a perda de massa por imersão, de acordo com o item 2. Com os resultados, obter o coeficiente c' , o índice P_i e calcular o parâmetro e' , utilizando a Equação 5A.

$$e' = (0,01 \times P_i \times A_t)^{1/2} \quad (5A)$$

Com os valores de c' e e' , localizar no ábaco da Figura 8A, o ponto que os representa, classificando a amostra de acordo com a área genética específica em que esse se situa.

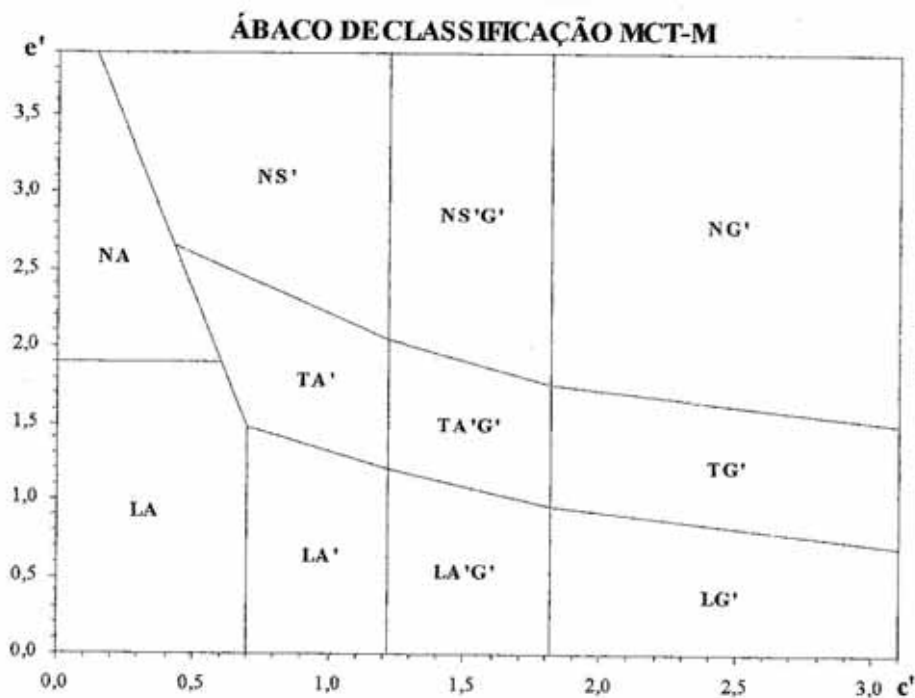


Figura 8A. Ábaco MCT-M para classificação de solos tropicais

Anexo B

**INDICAÇÕES DOS LOCAIS DE COLETA DAS AMOSTRAS E DAS ÁREAS
QUE APRESENTAM OCORRÊNCIAS DE PROCESSOS EROSIVOS NO
MUNICÍPIO DE APARECIDA, SP**

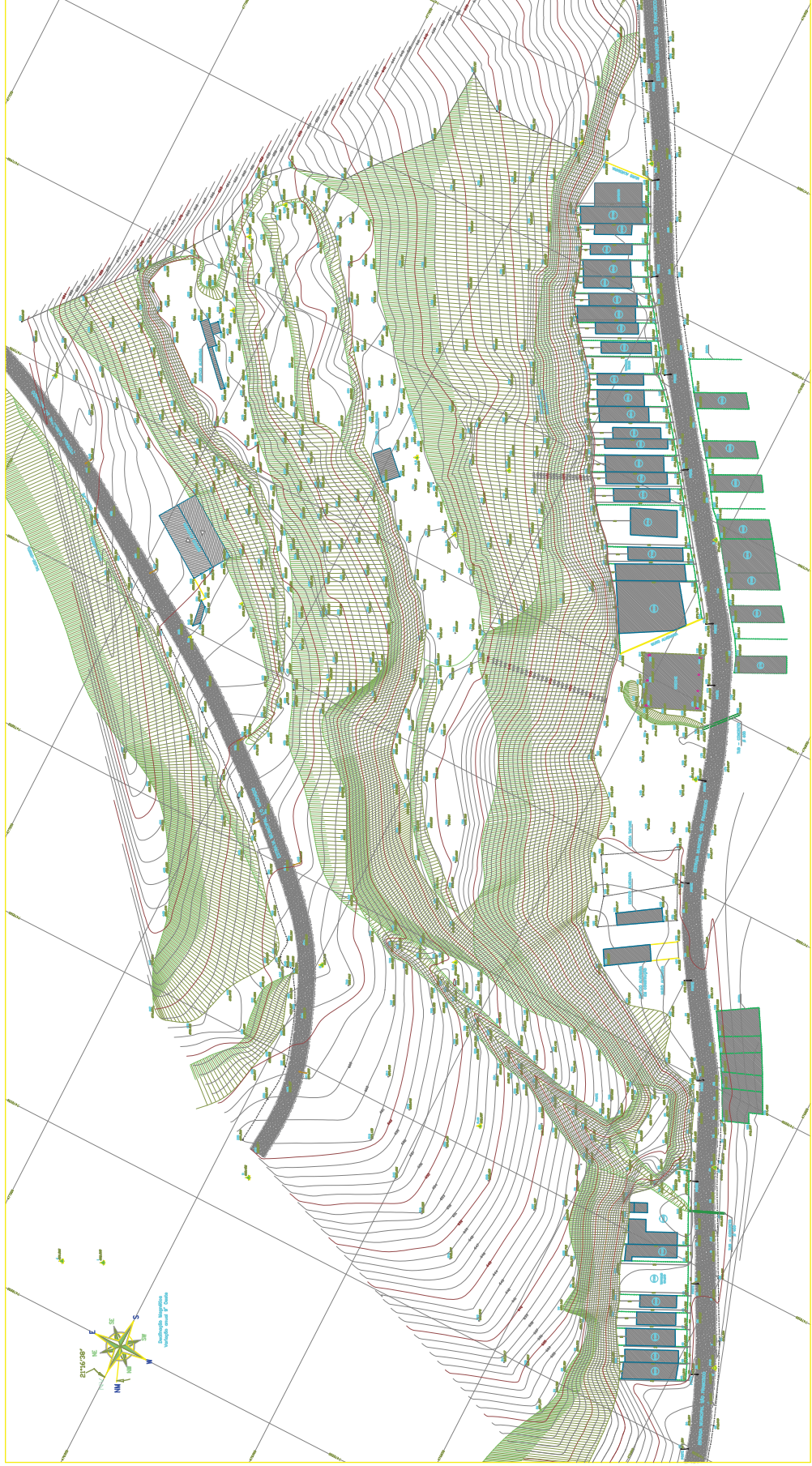
- LEGENDA 1**
- 01 - CENTRO/JARDIM SÃO PAULO
 - 02 - JARDIM SÃO CARLOS/JARDIM SÃO ANTONIO
 - 03 - JARDIM PARANÁ
 - 04 - SÃO SEBASTIÃO
 - 05 - SÃO GERALDO
 - 06 - SANTA RITA
 - 07 - SANTA RITA
 - 08 - SANTA LUZIA
 - 09 - SÃO FRANCISCO
 - 10 - SÃO FRANCISCO
 - 11 - SÃO RODRIGUEZ/ARCEBIA
 - 12 - VILA MARIANA
 - 13 - PAL. PRES. DO RIO
 - 14 - SÃO CARLOS
 - 15 - GERMANO LOPES SOUZEIRA
 - 16 - SÃO CARLOS
 - 18 - BASÍLICA NACIONAL



- LEGENDA 2**
- ▣ ÁREAS PROPENSAS A OCORRÊNCIA DE EROSES
- A1 - AMOSTRA 1
 - A2 - AMOSTRA 2
 - A3 - AMOSTRA 3
 - A4 - AMOSTRA 4
 - A5 - AMOSTRA 5
 - A6 - AMOSTRA 6
 - A7 - AMOSTRA 7
 - A8 - AMOSTRA 8
 - A9 - AMOSTRA 9

Anexo C

**LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO PLANI-ALTIMÉTRICO DA ÁREA COM
EROSÕES NO BAIRRO SÃO FRANCISCO, NO MUNICÍPIO DE APARECIDA-
SP.**



LEVANTAMENTO CADASTRAL DE EROSAO EM AREA NO BAIRRO SAO FRANCISCO