

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS  
DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

**MAPEAMENTO GEOTÉCNICO E ANÁLISE DOS PROCESSOS  
EROSIVOS NA BACIA DO CÓRREGO TUNCUM, SÃO PEDRO-SP,  
ESCALA 1:10.000**

Geol<sup>a</sup> Aristotelina Ferreira da Silva

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, para obtenção do Título de Mestre, pelo curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Área de concentração: Geotecnia.

Orientador: Prof. Dr. Osni José Pejon

São Carlos  
2003

Aos meus pais, Neném Abdon e Mulata, aos meus irmãos e sobrinhos. A Waldemiro (*in memoriam*), Terezinha e Eduardo Sbaraini.

## AGRADECIMENTOS

A DEUS, pela sua existência e por sempre cuidar de mim.

Ao Prof. Dr. Osni José Pejon pela amizade, orientação, paciência, críticas e sugestões que permitiram o desenvolvimento e a conclusão deste trabalho.

Aos meus pais e irmãos pela confiança, amor, força e fé que sempre depositaram em mim.

Ao Prof. Dr. Lázaro Valentim Zuquette pela amizade, sugestões e contribuições para este trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudo.

Aos técnicos do laboratório de mecânica dos solos, Antônio Garcia, Décio Aparecido, José Luis Guerra e Oscar dos Santos Neto, pelo auxílio na etapa de campo e laboratório.

Ao engenheiro Dr. Herivelto Moreira dos Santos pelo suporte técnico na área de informática.

A Eduardo Sbaraini, por seu amor, compreensão e apoio em várias etapas da minha vida.

Às amigas e maninhas, Gisele Yamanouth, Fernanda Damasceno e Marcilene Dantas, pelas discussões geotécnicas, amizade, apoio moral, companheirismo, alegrias, comidas paraense e pouquíssimas tristezas compartilhadas.

Ao hondurenho mais brasileiro que conheci, Victor Hugo Gaitán, pelo carinho, amizade, alto astral, incentivo, discussões e sugestões não apenas de caráter geotécnico, mas também sobre a vida, e que me farão sentir saudades.

Ao geólogo Paulo Maurício Lopes, grande amigo e colaborador na maior parte deste trabalho, auxiliando, principalmente, na manipulação e tratamento das informações nos SIGs.

À Márcia Cristina Santos, amiga e irmãzinha, sempre presente.

À amiga Nicole Borchardt pela amizade eterna e divina, além de seus carinhosos incentivos para continuar persistindo.

Aos amigos da geotecnia que nunca serão esquecidos: Fernanda Cristina Silva, Kleber Azevedo, Helano Fonteles, Débora Fernandes, Patrick Vessaro, Luis Fernando

Seixas, Érika Mota, Érika Sá, Jorge Avelar, Márcio Constanzi, Cláudio Santos, Leonardo Silveira, Gilvana Marques, Dirlene Gomes, Leonardo Meneses e Henry Revilla.

Aos funcionários do departamento de geotecnia, Maristela, Neiva e Álvaro, sempre dispostos a ajudar.

A todos que fizeram eu me sentir em casa, mesmo longe dela.

*Não julgues nada pela pequenez dos começos. Uma vez fizeram-me ver que não se distinguem pelo tamanho as sementes que darão ervas anuais das que vão produzir árvores centenárias.*

(Josemaría Escrivá)

# SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	i
LISTA DE TABELAS.....	v
RESUMO .....	vi
ABSTRACT.....	vii
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 OBJETIVOS.....	2
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1 MAPEAMENTO GEOTÉCNICO.....	3
2.1.1 MAPEAMENTO GEOTÉCNICO E PLANEJAMENTO URBANO E REGIONAL .....	4
2.1.2 PRINCIPAIS METODOLOGIAS .....	5
2.1.3 MAPEAMENTO GEOTÉCNICO PARA EROSÃO .....	9
2.2 EROSÃO.....	11
2.2.1 DEFINIÇÕES.....	11
2.2.2 FATORES INFLUENTES NA EROSÃO.....	12
2.2.3 TIPOS DE FEIÇÕES EROSIVAS.....	20
2.3 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA EROSÃO HÍDRICA .....	25
2.3.1 MÉTODOS QUALITATIVOS.....	26
2.3.2 MÉTODOS QUANTITATIVOS.....	27
2.4 ESTIMATIVA DOS PARÂMETROS DE EROSIVIDADE E ERODIBILIDADE.....	28
2.4.1 EROSIVIDADE .....	29
2.4.2 ERODIBILIDADE .....	30
2.5 GEOPROCESSAMENTO.....	32
2.5.1 ASPECTOS GERAIS .....	32
2.5.2 OBTENÇÃO DE DADOS .....	34
2.5.3 ARMAZENAMENTO E GERENCIAMENTO DOS DADOS .....	36
2.5.4 APLICAÇÃO DO GEOPROCESSAMENTO NO ESTUDO DA EROSÃO .....	36
2.6 MODELOS PARA EROSÃO .....	38

2.6.1	<i>TIPOS DE MODELOS</i> .....	38
2.7	CONTROLE DE EROÇÃO EM ÁREA RURAL E URBANA .....	45
2.7.1	<i>PROBLEMAS CAUSADOS PELA EROÇÃO</i> .....	46
2.7.2	<i>MEDIDAS DE CONTROLE DE EROÇÃO</i> .....	47
3	CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA.....	52
3.1	LOCALIZAÇÃO E ACESSO .....	52
3.2	HIDROLOGIA .....	52
3.3	CLIMA .....	54
3.4	VEGETAÇÃO .....	56
3.5	GEOMORFOLOGIA .....	56
3.6	GEOLOGIA .....	56
4	METODOLOGIA .....	58
4.1	OBTENÇÃO DAS INFORMAÇÕES.....	58
4.2	OBSERVAÇÃO, DESCRIÇÃO E AMOSTRAGEM – ETAPA DE CAMPO .....	60
4.2.1	<i>ENSAIO DE INFILTRAÇÃO</i> .....	60
4.3	ENSAIOS LABORATORIAIS .....	62
4.4	ANÁLISE DOS DADOS .....	65
4.5	ELABORAÇÃO CARTOGRÁFICA .....	66
5	DOCUMENTOS CARTOGRÁFICOS ELABORADOS.....	67
5.1	MAPA DE DOCUMENTAÇÃO .....	67
5.2	MAPA DE <i>LANDFORMS</i> .....	68
5.3	CARTA DE DECLIVIDADE .....	70
5.4	MAPA DE MATERIAIS INCONSOLIDADOS.....	72
6	APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS ENSAIOS DE ERODIBILIDADE E INFILTRAÇÃO .....	83
6.1	ERODIBILIDADE DOS MATERIAIS INCONSOLIDADOS.....	83
6.1.1	<i>MATERIAIS RESIDUAIS</i> .....	85
6.1.2	<i>MATERIAIS RETRABALHADOS</i> .....	86
6.2	MATERIAIS INCONSOLIDADOS E INFILTRAÇÃO .....	88

6.2.1 FEIÇÃO EROSIVA A – UNIDADE RT2 .....	88
6.2.2 FEIÇÃO EROSIVA B – MATERIAL COMPACTADO.....	89
6.2.3 FEIÇÃO EROSIVA B – UNIDADE RT1 E RSB1.....	90
6.2.4 FEIÇÃO EROSIVA C – UNIDADE RT1 E RSB2.....	91
7 CARTA DE SUSCEPTIBILIDADE À EROSÃO.....	93
7.1 ELABORAÇÃO DA CARTA DE SUSCEPTIBILIDADE À EROSÃO.....	93
8 EVOLUÇÃO DOS PROCESSOS EROSIVOS NA BACIA .....	99
8.1 FEIÇÕES EROSIVAS EM 1972 .....	100
8.2 FEIÇÕES EROSIVAS EM 1995.....	102
8.3 FEIÇÕES EROSIVAS EM 2000.....	104
9 CARTA DE PROGNÓSTICO AO DESENVOLVIMENTO DE EROSÕES LINEARES.....	111
9.1 ELABORAÇÃO DA CARTA DE PROGNÓSTICOS.....	111
10 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	113
10.1 CONCLUSÕES .....	113
10.2 RECOMENDAÇÕES .....	116
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	117
ANEXO I – MAPA DE DOCUMENTAÇÃO	
ANEXO II – MAPA DE LANDFORMS	
ANEXO III – CARTA DE DECLIVIDADE	
ANEXO IV – MAPA DE MATERIAIS INCONSOLIDADOS	
ANEXO V – CARTA DE SUSCEPTIBILIDADE À EROSÃO	
ANEXO VI – CARTA DE PROGNÓSTICO AO DESENVOLVIMENTO DE EROSÕES LINEARES	



## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 1</b>	Esquema em linhas gerais das ferramentas que podem ser utilizadas para a elaboração da carta de susceptibilidade à erosão.....	<b>11</b>
<b>FIGURA 2</b>	(a) Gotas caindo em solo exposto levando a desagregação das partículas através de “ <i>splash</i> ” (Fonte: <a href="http://www.netc.au/enviro/fguide/soiloverview.html">http://www.netc.au/enviro/fguide/soiloverview.html</a> ); (b) Transporte das partículas por escoamento superficial.....	<b>14</b>
<b>FIGURA 3</b>	Declividades e forma das encostas.....	<b>16</b>
<b>FIGURA 4</b>	Proteção pela cobertura vegetal diminuindo o efeito da gota de chuva sobre o solo .....	<b>18</b>
<b>FIGURA 5</b>	Fatores e causas dos processos erosivos (LAL, 2001).....	<b>19</b>
<b>FIGURA 6</b>	Vista geral de uma feição erosiva do tipo ravina (Fonte: <a href="http://www.netc.au/enviro/fguide/gully.html">http://www.netc.au/enviro/fguide/gully.html</a> ).....	<b>22</b>
<b>FIGURA 7</b>	Voçoroca localizada no município de São Pedro.....	<b>24</b>
<b>FIGURA 8</b>	Métodos de avaliação de erosão hídrica (ALMOROX <i>et al.</i> , 1994).....	<b>26</b>
<b>FIGURA 9</b>	Esquematização dos métodos de avaliação de erosão hídrica de acordo com ALMOROX <i>et al.</i> , 1994.....	<b>28</b>
<b>FIGURA 10</b>	Componentes de um sistema de informações geográficas (BARBOSA, 1997).....	<b>34</b>
<b>FIGURA 11</b>	Ciclo de extração e utilização de informações adaptadas de ARONOFF (1989) <i>apud</i> (BARBOSA, 1997).....	<b>35</b>
<b>FIGURA 12</b>	Procedimento de análise para planejamento de erosão do solo (ARONOFF, 1991 <i>apud</i> MENEGUETTE, 2000) .....	<b>37</b>
<b>FIGURA 13</b>	Implantação de gabião como obra de controle .....	<b>51</b>
<b>FIGURA 14</b>	Croqui ilustrando as condições de fluxo em talude de voçoroca...	<b>51</b>

<b>FIGURA 15</b>	Localização da bacia do córrego Tuncum .....	<b>53</b>
<b>FIGURA 16</b>	(a) Mineração atuante na área próximo a confluência do córrego Tuncum com o Ribeirão Araguá; (b) Córrego Tuncum à jusante e com intenso processo de assoreamento .....	<b>54</b>
<b>FIGURA 17</b>	Seqüência esquemática para o desenvolvimento do trabalho.....	<b>59</b>
<b>FIGURA 18</b>	Equipamentos para o ensaio de infiltração .....	<b>62</b>
<b>FIGURA 19</b>	Materiais utilizados para no ensaio de absorção de água .....	<b>63</b>
<b>FIGURA 20</b>	Gráfico de obtenção para o índice de absorção de água .....	<b>64</b>
<b>FIGURA 21</b>	Ensaio de perda de massa por imersão .....	<b>65</b>
<b>FIGURA 22</b>	Perfil de alteração esquemático utilizado para caracterizar os materiais inconsolidados residuais .....	<b>73</b>
<b>FIGURA 23</b>	Materiais inconsolidados representativos das unidades Rsb1 e Rt1 instalados na feição erosiva B (Ponto 56) .....	<b>74</b>
<b>FIGURA 24</b>	Materiais inconsolidados representativos das unidades Rsb2 e Rt1 instalados na feição erosiva B à jusante (Ponto 03) .....	<b>76</b>
<b>FIGURA 25</b>	Materiais inconsolidados representativos das unidades Rsb3 e Rt1 instalados na feição erosiva C à montante (Ponto 10) .....	<b>77</b>
<b>FIGURA 26</b>	Materiais inconsolidados representativos das unidades Rsb5 e Rt6, próximo ao limite com a cidade de Águas de São Pedro (Ponto 42) .....	<b>78</b>
<b>FIGURA 27</b>	Arenito Pirambóia localizado à jusante da feição erosiva B (Ponto 59) .....	<b>78</b>
<b>FIGURA 28</b>	Material retrabalhado pertencente a unidade Rt2 (Ponto 02) .....	<b>80</b>
<b>FIGURA 29</b>	Material retrabalhado próximo à estrada para o município de Charqueada (Ponto 19) .....	<b>80</b>
<b>FIGURA 30</b>	Material retrabalhado situado na feição erosiva C (Ponto 08).....	<b>81</b>
<b>FIGURA 31</b>	Material retrabalhado situado na Fazenda São Sebastião (Ponto 49).....	<b>82</b>
<b>FIGURA 32</b>	Gráfico SxP para os materiais residuais da bacia do córrego Tuncum.....	<b>86</b>

<b>FIGURA 33</b>	Gráfico SxP para os materiais retrabalhados da bacia do córrego Tuncum .....	<b>87</b>
<b>FIGURA 34</b>	Gráfico mostrando o comportamento da umidade volumétrica em relação à profundidade nas condições natural e saturada. A frente de saturação para este material foi de 91 cm.....	<b>89</b>
<b>FIGURA 35</b>	Comportamento da umidade volumétrica em relação à profundidade nas condições natural e saturada. A frente de saturação para este material foi de 80 cm.....	<b>90</b>
<b>FIGURA 36</b>	Comportamento da umidade volumétrica em relação à profundidade nas condições natural e saturada. A frente de saturação para os materiais das unidades Rt1 e Rsb1 atingiu profundidade de 1 m.....	<b>91</b>
<b>FIGURA 37</b>	Comportamento da umidade volumétrica em relação à profundidade nas condições natural e saturada. A frente de saturação para os materiais deste local (feição erosiva C) atingiu profundidade de 90cm.....	<b>92</b>
<b>FIGURA 38</b>	Importação dos arquivos *.dxf para o IDRISI .....	<b>94</b>
<b>FIGURA 39</b>	Transformação de <i>vetor</i> para <i>raster</i> .....	<b>95</b>
<b>FIGURA 40</b>	Feição erosiva controlada próxima ao aeroporto .....	<b>100</b>
<b>FIGURA 41</b>	Fotografia aérea de 1972 mostrando a delimitação das feições erosivas e a ocupação urbana .....	<b>101</b>
<b>FIGURA 42</b>	Fotografia aérea de 1995 mostrando a delimitação das feições erosivas e a ocupação urbana .....	<b>103</b>
<b>FIGURA 43</b>	Fotografia aérea de 2000 mostrando a delimitação das feições erosivas e a ocupação urbana .....	<b>105</b>
<b>FIGURA 44</b>	(a) Feição erosiva A em out/2001; (b) Feição erosiva A com crescimento de vegetação em seu canal (jan/2003).....	<b>106</b>
<b>FIGURA 45</b>	(b) Feição erosiva B apresentando lençol freático aflorante e a barragem de terra utilizada como medida de controle.....	<b>107</b>
<b>FIGURA 46</b>	(a) Medidas de controle para minimizar o progresso da feição B, retaludamento e colocação de drenos (Dez/2001); (b) construção de canaletas para o escoamento das águas pluviais (Jan/2003) ....	<b>107</b>

<b>FIGURA 47</b>	(a) Feição erosiva C, detalhe do retaludamento feito em anos anteriores; (b) destruição das obras de macro drenagem (Jan/2003); (c) escorregamento de taludes (Jan/2003).....	<b>108</b>
<b>FIGURA 48</b>	Feição erosiva D, detalhe para o lixo jogado nas encostas (Out/2002) .....	<b>109</b>
<b>FIGURA 49</b>	(a) Córrego Tuncum à montante: bastante assoreado; (b) córrego Tuncum em direção à jusante: canal mais meandrante.....	<b>110</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>TABELA 1</b>	Classificação de mapas e cartas geotécnicas de acordo com metodologia IAEG (ABGE, 1998).....	<b>6</b>
<b>TABELA 2</b>	Valores do fator E (VERTAMATTI & ARAÚJO, 1990) .....	<b>30</b>
<b>TABELA 3</b>	Métodos de estimação em função dos objetivos (ALMOROX <i>et al.</i> , 1994) .....	<b>39</b>
<b>TABELA 4</b>	Medidas preventivas para cada uma das formas de erosões superficiais e subsuperficiais (PICHLER, 1953) .....	<b>48</b>
<b>TABELA 5</b>	Fatores e medidas de controle de processos erosivos (PINTO, 2001) .....	<b>50</b>
<b>TABELA 6</b>	Dados pluviométricos do município de São Pedro relativo ao período de 1972 à 2000. Fonte: SIRGH/DAEE.....	<b>55</b>
<b>TABELA 7</b>	Classes de declividades adotadas para a área da bacia do córrego Tuncum .....	<b>72</b>
<b>TABELA 8</b>	Resultados dos ensaios laboratoriais .....	<b>75</b>
<b>TABELA 9</b>	Resultados dos ensaios de erodibilidade para os materiais inconsolidados .....	<b>84</b>
<b>TABELA 10</b>	Grau de influência adotado para susceptibilidade à erosão .....	<b>94</b>
<b>TABELA 11</b>	Reclassificação dos documentos cartográficos para a geração da carta de susceptibilidade .....	<b>96</b>
<b>TABELA 12</b>	Matriz de correlação e pesos obtidos para cruzamento dos documentos cartográficos individuais .....	<b>97</b>
<b>TABELA 13</b>	Características das principais feições erosivas da bacia do córrego Tuncum .....	<b>110</b>

## RESUMO

**SILVA, A. F. Mapeamento Geotécnico e análise dos processos erosivos na bacia do córrego Tuncum, São Pedro-SP, escala: 1:10.000.** 2003. Dissertação Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

Este trabalho procurou analisar os fatores influentes nos processos erosivos na bacia do córrego Tuncum, município de São Pedro-SP, através de características observadas, tanto no campo como em laboratório (ensaios geotécnicos de caracterização de solos e ensaio de erodibilidade), onde se constatou que as áreas que apresentam alta susceptibilidade aos processos erosivos estão associados principalmente ao material geológico constituinte da bacia. Para o estudo da evolução das feições erosivas foram utilizadas fotografias aéreas de três diferentes datas (1972, 1995 e 2000), e com auxílio de técnicas de geoprocessamento realizou-se um tratamento qualificado das informações adquiridas. A análise das informações obtidas permitiu o estabelecimento da susceptibilidade à erosão que associada às informações de uso e ocupação conduziu a definição de prognósticos acerca da evolução dos processos erosivos na área. Os documentos cartográficos elaborados foram o Mapa de Documentação, Mapa de *Landforms*, Carta de Declividade, Mapa de Materiais Inconsolidados, Carta de Susceptibilidade à Erosão e Carta de Prognósticos ao Desenvolvimento de Erosões Lineares.

Palavra-chave: Processos erosivos, Caracterização Geotécnica, Evolução, Geoprocessamento, Carta de Susceptibilidade à Erosão, Carta de Prognóstico.

## ABSTRACT

**SILVA, A. F. Geotechnical Mapping and analysis of erosion process at Tuncum creek watershed, São Pedro-SP, scale: 1:10.000.** 2003. M.Sc. Dissertation – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

This work aims to analyze the main factors related to the erosion processes in the Tuncum creek watershed, city of São Pedro-SP, based on the observed geological-geotechnical characteristics in the field and laboratory (soil geotechnical characterization and erodibility tests). It was verified that high susceptibility area to the erosion processes are mainly associated to geological materials of the watershed. For the study of the evolution erosion features were used aerial photographs of three different dates (1972, 1995 and 2000), and with aid of geoprocessing techniques realized a qualified treatment to the acquired informations. The analysis of the obtained informations allowed the establishment of the erosion susceptibility that associated to the information of use and occupation lead the definition of prognostics concerning the evolution of the erosive processes in the area. The cartographic documents elaborated were Documentation, *Landforms* and Unconsolidated Materials Maps, Declivity, Susceptibility to Erosion and Prognostic to the Development of Linear Erosions Charts.

Keywords: Erosive Processes, Geotechnical Characterization, Evolution, Geoprocessing, Susceptibility to Erosion Chart, Prognostic Chart.

## *Capítulo 1*

# **INTRODUÇÃO**

---

Os processos erosivos fazem parte da evolução natural do meio físico e da alteração do relevo. Contudo, se tornam um sério problema ambiental e econômico quando a atividade antrópica faz com estes ocorram mais rapidamente do que sob circunstâncias naturais. Assim, quando deflagrados passam a ser comandados por diversos fatores naturais relacionados às características da chuva, da topografia, do tipo de material geológico e da cobertura vegetal.

SANTORO (2000) alerta para as situações de risco que as feições erosivas promovem à comunidade, ante o seu grande poder destrutivo e causando prejuízos em obras de infra-estrutura.

No estudo de processos erosivos dispõe-se de técnicas que visam caracterizar de maneira qualitativa e quantitativa este fenômeno na natureza, através da análise das formas e graus de erosão, coleta de material erodido, ensaios laboratoriais e *in situ* e utilizando modelos, os quais associados às técnicas de geoprocessamento permitem análises espaciais do fenômeno, visando o planejamento racional do uso e ocupação do solo e na definição de áreas que necessitam medidas de controle.

Partindo-se do conhecimento do estado das feições erosivas, de seu impacto ambiental e do prognóstico de sua evolução, baseando-se na definição da suscetibilidade que os terrenos apresentam aos processos erosivos, é possível implementar medidas preventivas e corretivas, bem como orientar a expansão urbana, evitando maiores problemas econômicos e sociais.



Neste trabalho estudou-se a bacia do córrego Tuncum, situada no município de São Pedro-SP e que apresenta sérios problemas relacionado aos processos erosivos, com feições de grande porte em estado ativo e acelerado, sendo um dos fatores condicionantes o tipo de material geológico presente na área.

Desse modo, a partir da análise de todas as informações obtidas em campo e laboratório, elaborou-se mapas e cartas geotécnicas que pudessem refletir as características da bacia em face do desenvolvimento dos processos erosivos.

## **1.1 OBJETIVOS**

Em linhas gerais este trabalho se propõe a caracterizar os materiais constituintes da bacia do córrego Tuncum e analisar a evolução em três diferentes anos (1972, 1995 e 2000) das principais feições erosivas presentes nesta bacia.

Como objetivos específicos, pode-se destacar:

- ✧ Aplicação da metodologia proposta pela EESC, desde a obtenção dos atributos até a elaboração de cartas específicas.
- ✧ Estudo dos atributos do meio físico relacionados à susceptibilidade à erosão para melhor entendimento dos processos erosivos na área.
- ✧ Utilização das ferramentas de geoprocessamento através de programas como AUTOCAD<sup>®</sup>, SURFER e IDRISI para uma melhor representatividade das informações obtidas.

## *Capítulo 2*

# **REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

---

## **2.1 MAPEAMENTO GEOTÉCNICO**

Desde 1913 até a atualidade, o mapeamento geotécnico ou cartografia geotécnica tem progredido em vários países, tendo-se verificado através dos anos uma diversificação de seus objetivos e o aperfeiçoamento em termos de conteúdo e modo de tratamento das informações utilizadas.

MATULA (1974) declara que há a necessidade do desenvolvimento de técnicas especiais para um rápido, barato e amplo mapeamento geotécnico, assim como uma inovação dos métodos de interpretação, avaliação e utilização dos resultados geotécnicos adquiridos.

DEARMAN & MATULA (1976) citam a publicação feita pela IAEG-UNESCO em 1976, na qual, o mapeamento geotécnico deve-se apresentar como instrumento de auxílio a planejadores, sendo que as informações contidas nos mapas e cartas devem ser de fácil entendimento, objetivas e necessárias para avaliação dos aspectos geotécnicos do ambiente, tanto no planejamento regional quanto no urbano.

Na década de 80 e início da década de 90, houve um crescente aumento da produção científica relacionada à cartografia geotécnica no Brasil, culminando com o aparecimento de grupos de pesquisas que passam a tratar do assunto com regularidade, destacando o IPT (Instituto de Pesquisas tecnológicas do Estado de São Paulo), o Departamento de Geotecnia da Escola de Engenharia de São Carlos (USP) e o Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

ZUQUETTE (1987) caracteriza o mapeamento geotécnico como um processo de análise dos componentes do meio físico, cuja finalidade básica consiste em levantar, avaliar e analisar os atributos deste, buscando refletir as suas verdadeiras condições através de mapas e/ou cartas. GANDOLFI (1991) corrobora esta caracterização e afirma que a representação gráfica do levantamento visa sua integral utilização no planejamento regional e urbano.

PEJON (1992) analisa o mapeamento geotécnico como um processo científico de investigação da natureza, que permite a obtenção de um produto tecnológico a ser utilizado e propicia uma melhor compreensão dos fenômenos naturais.

No Brasil, o processo de mapeamento geotécnico é relativamente novo quando comparado com os demais países que já o utilizam como instrumento de auxílio no planejamento territorial. Para BACHION (1997), as principais dificuldades enfrentadas para a realização do mapeamento geotécnico estão relacionadas à falta de base topográfica adequada, de conhecimento técnico dos profissionais envolvidos no planejamento, de legislação para punir a ocupação inadequada e que fere o ambiente, além da escassez de informações existentes.

### ***2.1.1 MAPEAMENTO GEOTÉCNICO E PLANEJAMENTO URBANO E REGIONAL***

O processo de planejamento proporciona a estrutura básica para que as informações geológicas e geotécnicas necessárias possam chegar aos políticos e órgãos públicos MATHEWSON & FONT (1973).

No passado, a ocupação da terra pelo homem era realizada com pouco planejamento, tendo como objetivo o mínimo custo e o máximo benefício de seus usuários, sem maior preocupação com o meio físico. ZUQUETTE (1987) alerta que a não consideração das limitações deste acarreta gastos elevados para a implantação de projetos de ocupação ou para recuperar áreas que já foram desfiguradas.

De acordo com AGUIAR (1989), esses fatos têm incentivado, recentemente no Brasil, o avanço da cartografia geotécnica como ferramenta essencial na busca de informações primordiais que possam subsidiar a compatibilização do uso e ocupação do solo às limitações e potencialidades do meio físico. Segundo ZUQUETTE (1987), as principais informações que o mapeamento geotécnico pode fornecer são:

- ✓ **Planejamento Urbano:** localização de rodovias, planejamento para o desenvolvimento residencial, disposição de rejeitos industriais e domésticos, suprimento de água, seleção de áreas para indústrias, descobrimento de possíveis jazidas minerais, sistematização de drenagem adequada, controle de enchentes, adaptação de edificações e topografia, áreas para recreação.
- ✓ **Planejamento Regional:** controle de erosão em áreas maiores, localização de sítios para reservatórios, avaliação de poluição, tanto em nível de solo, quanto água e ar, localização de estradas (ferrovias, rodovias, etc), disposição de rejeitos doméstico, agrícola e mineral, proteção das áreas de recargas dos aquíferos, construção de aterros, observação de locais para obtenção de materiais de construção, análise geral para fundações e áreas agrícolas.

A técnica do mapeamento geotécnico aplicado ao planejamento das formas de ocupação dos terrenos deve ser implementada com rigor adequado e com maior frequência, considerando-se fundamental um melhor conhecimento das metodologias e sistemáticas utilizadas em tal procedimento (ZUQUETTE & GANDOLFI, 1988).

### **2.1.2 PRINCIPAIS METODOLOGIAS**

As metodologias podem ser divididas em gerais e específicas. As primeiras dizem respeito às metodologias que visam definir propriedades fundamentais do meio físico, permitindo utilizar as cartas produzidas em diversas obras de engenharia. As específicas foram desenvolvidas visando produzir dados e análises que solucionem problemas particularizados. Dentre estas metodologias e sistemáticas mais abrangentes e suas características principais pode-se citar:

#### ◆ **Metodologia IAEG** (*International Association Engineering\_Geology*)

Elaborada em 1976, a partir de uma Comissão de Grupo de Trabalho em Mapeamento, formulou uma orientação para o mapeamento, que fosse adequada à maioria dos países e na qual os meios para a sua confecção também fossem adequados socioeconômica e tecnicamente. Esta metodologia classificou os mapas segundo a sua *finalidade, conteúdo e escala* (**Tabela 1**).

**TABELA 1** - Classificação de mapas e cartas geotécnicas de acordo com a Metodologia IAEG (ZUQUETTE & NAKAZAWA, 1998).

METODOLOGIA IAEG (1976)	
FINALIDADE	<p><i>Mapas de finalidade especial:</i> informações de um aspecto específico da geologia de engenharia, com uma determinada finalidade.</p> <p><i>Mapas de múltiplas finalidades:</i> informações sobre vários aspectos da geologia de engenharia para vários tipos de planejamento urbano ou propósitos geotécnicos</p>
CONTEÚDO	<p><i>Mapas analíticos:</i> dados individuais dos componentes do ambiente geológico, geralmente o conteúdo desses mapas vem expresso no título, como mapa de grau de alteração.</p> <p><i>Mapas abrangentes:</i> podem ser subdivididos em mapas de condições geotécnicas, indicando todos os principais componentes do ambiente relevante à geotecnia, sem contanto fazer uma análise profunda dessas informações ou mapas de zoneamento geotécnico, delineando unidades territoriais com base na uniformidade dos mais significantes atributos naturais de cunho geotécnico do terreno.</p> <p><i>Mapas auxiliares:</i> dados objetivos, tais como, mapas de documentação, contorno estrutural, etc.</p> <p><i>Mapas complementares:</i> em alguns casos são incluídos como mapas geotécnicos, p.ex., mapas geológicos, mapas pedológicos, geomorfológicos, etc.</p>
ESCALA	<p><i>Escalas grandes:</i> maiores ou igual a 1: 10. 000 (mapa de finalidade específica).</p> <p><i>Escalas médias:</i> de 1: 10.000 a 1:100. 000 (mapas destinados a planejamento urbano e regional).</p> <p><i>Escalas pequenas:</i> menores que 1:100.000 (destinados a planejamento regional e territorial).</p>

◆ **Metodologia PUCE** (“*Pattern, Units, Componente Evaluation*”)

Foi desenvolvida na Austrália em 1976 através dos trabalhos de AITCHINSON & GRANT, e utiliza como critérios a geologia, o relevo, as drenagens, a topografia, solos e vegetação para obtenção de uma classificação dos terrenos para uso no desenvolvimento regional e urbano.

Nesta metodologia, os terrenos são agrupados em unidades formais denominadas de *província, padrão, unidade e componente*, onde:

- ✓ **Província** consiste de uma constante associação repetitiva de padrões do terreno e é definida com base na geomorfologia, levando em consideração aspectos geológicos e climáticos.
- ✓ **Padrão** consiste de uma constante associação repetitiva de unidades do terreno, é definido com base na amplitude de relevo, padrão e densidade de drenagem.
- ✓ **Unidade** consiste de uma constante associação repetitiva de componentes do terreno, baseia-se nos critérios geomorfológicos como a morfologia, associação de solos e formações vegetais.

- ✓ **Componente**, definidos com base nos tipos e ângulos de escorregamentos, tipo de perfil de solo, uso da terra ou da superfície de cobertura, associação vegetal e a litologia do substrato rochoso.

Sendo esta metodologia um sistema hierárquico, sua aplicação pode-se dar em qualquer escala dentro da mesma sistemática de classificação do terreno, de forma subordinada e interligada.

- ◆ **Metodologia Zermos** (*Zonas Expostas a Riscos de Movimentos do Solo*)

Metodologia aplicada na França com os primeiros trabalhos apresentados por ANTOINE (1975), HUMBERT (1977) entre outros e tem por finalidade básica fornecer detalhes de uma área quanto às condições de instabilidade, sejam potenciais ou reais, correspondentes a movimentos de massa, erosão, abatimentos e sismos.

Geralmente, os levantamentos são realizados em escala de 1:25.000 ou 1:20.000 e maiores. As cartas Zermos traduzem a análise, em determinado momento, dos movimentos do terreno ou outros fatores de instabilidade, revelados pelos dados obtidos na área estudada. A representação vai além de simples análise, fornecendo um zoneamento que gradua o risco, excluindo, porém as previsões no tempo.

As Plantas Zermos são cartas produzidas em detalhes com a finalidade de direcionar as diferentes formas de ocupação, e podem ser elaboradas a partir de uma Carta Zermos preexistente na escala 1: 25.000, ou próxima, ou mesmo realizada sem base. Estas plantas têm basicamente duas finalidades: *Informativa*, no sentido de retratar a localização e explicar os fenômenos e *Orientativa*, através de recomendações prescritas para cada caso. Normalmente são produzidas nas escalas 1:15.000 e 1:12.000.

A Planta Zermos deve identificar zonas com possibilidades ou não de instabilidade, e deve apresentar um perímetro de proteção às áreas com instabilidade declarada ou potencial (RODRIGUES, 1998).

- ◆ **Metodologia IPT**

Foi desenvolvida a partir de situações específicas, de problemas relativos ao meio físico, com objetivo de oferecer respostas efetivas ao usuário, considerando prazos

e custos determinados pelas necessidades e possibilidades dos clientes usuários. Dentre os trabalhos realizados pelo IPT destacam-se IPT (1980), IPT (1984) e PRANDINI *et al.* (1991) que apresentam os conceitos e diretrizes utilizadas na confecção das cartas e mapas por este instituto. Sumariamente seus pontos centrais são assim compreendidos:

- ✓ Partir dos problemas significativos do meio físico presentes no território e daí para suas condicionantes mapeáveis;
- ✓ Considerar as formas usuais de ocupação do solo e as suas solicitações sobre o meio físico como fator fundamental na determinação do desempenho dos terrenos;
- ✓ Concentrar esforços na coleta objetiva e orientada de dados, voltados para definir unidades de terreno de mesmo comportamento, de modo que elas correspondam à práticas distintas e técnicas de prevenção e correção dos problemas identificados.
- ✓ Elaborar cartas geotécnicas de caráter dinâmico que, a partir de uma primeira versão, permitam incorporar novos conhecimentos do meio físico e novas técnicas de ocupação do solo.

◆ ***Metodologia da EESC- USP (Metodologia Zuquette)***

ZUQUETTE (1987) propôs uma metodologia de mapeamento geotécnico para as condições brasileiras, constituindo-se num marco da cartografia geotécnica nacional. O princípio básico desta proposta metodológica está centrado no procedimento global do processo, desde a obtenção dos atributos até a elaboração de cartas específicas para os usuários.

Para ZUQUETTE (1987), o mapeamento geotécnico baseia-se em informações pré-existentes e fundamentais para cada região, sendo que as principais categorias de informações levantadas e analisadas dão origem aos seguintes documentos: ***mapas básicos fundamentais*** (mapas topográficos, geológicos, de águas, etc), ***mapas básicos opcionais*** (mapas pedológicos, geofísicos, geomorfológico, climático e de ocupação atual ou prevista), ***mapas auxiliares*** (mapa de documentação ou de dados), ***cartas derivadas ou interpretativas*** (cartas de erodibilidade, de fundações, de deposição de rejeitos sépticos, obras viárias, materiais para construção, etc).

Para este autor, o estudo de avaliação e especificações das unidades geotécnicas segue as seguintes etapas: *levantamento e análise de informações já produzidas,*

*reconhecimentos dos atributos e identificação das unidades homogêneas.* Sendo que os dados podem ser apresentados de três maneiras:

- ✓ ***Mapas de condições geotécnicas gerais:*** retratam todos os atributos, caracterizam o meio físico, sem separar áreas similares ou indicar potenciais e limitações;
- ✓ ***Mapa de zoneamento geotécnico geral:*** representam as condições do meio físico através do zoneamento de áreas similares, segundo os atributos considerados, porém sem considerar qualquer finalidade específica;
- ✓ ***Mapa de zoneamento geotécnico específico ou carta de aptidão:*** a região é zoneada segundo condições geotécnicas que afetam uma única finalidade (fundações, estradas, etc.).

A ***Metodologia da EESC-USP*** leva em consideração as condições sócio-econômicas do País e baseia-se nos princípios que regem as outras metodologias existentes. A aplicação da proposta não deve exigir uma equipe numerosa de profissionais especializados, assim como o esqueleto básico deve permitir a sua aplicação em escalas variadas entre 1:50.000 e 1:10.000. Deve-se ressaltar que o mapeamento geotécnico deve ser cada vez mais detalhado e as limitações do meio ambiente devem ser mais ressaltadas de forma a tornar possível a intervenção restrita do poder público, apresentando as informações de maneira simples e objetiva.

### **2.1.3 MAPEAMENTO GEOTÉCNICO PARA EROSÃO**

As cartas que forem elaboradas com objetivo de retratar o potencial de ocorrência da erosão de uma região devem apresentar resultados em classes que significam se os materiais que compõem as áreas estão sujeitos a altas, médias ou baixas erodibilidade. Os atributos a serem levados em consideração na elaboração de uma carta de susceptibilidade à erosão são: *natureza dos materiais, relevo (grau de declividade, forma e comprimento da encosta), cobertura vegetal, fatores climáticos, ação antrópica, ação das águas e dos ventos* (ZUQUETTE, 1987).

PEJON (1992) propôs a hierarquização e atribuição de pontos aos diversos fatores intervenientes no processo erosivo, os quais incluem características dos materiais inconsolidados (textura, profundidade, erodibilidade, permeabilidade), bem como



características ambientais, como o potencial de escoamento superficial, que por sua vez considera atributos como a litologia, declividade e densidade de drenagem. Desse modo, para a elaboração de cartas derivadas ou interpretativas, ZUQUETTE (1993) recomenda que, dentro das considerações básicas deve ter como objetivo *a delimitação de unidades que apresentem graus de heterogeneidade mínimas aceitáveis*, podendo ser usadas técnicas como: *árvore lógica, sobreposição e combinação de recursos*.

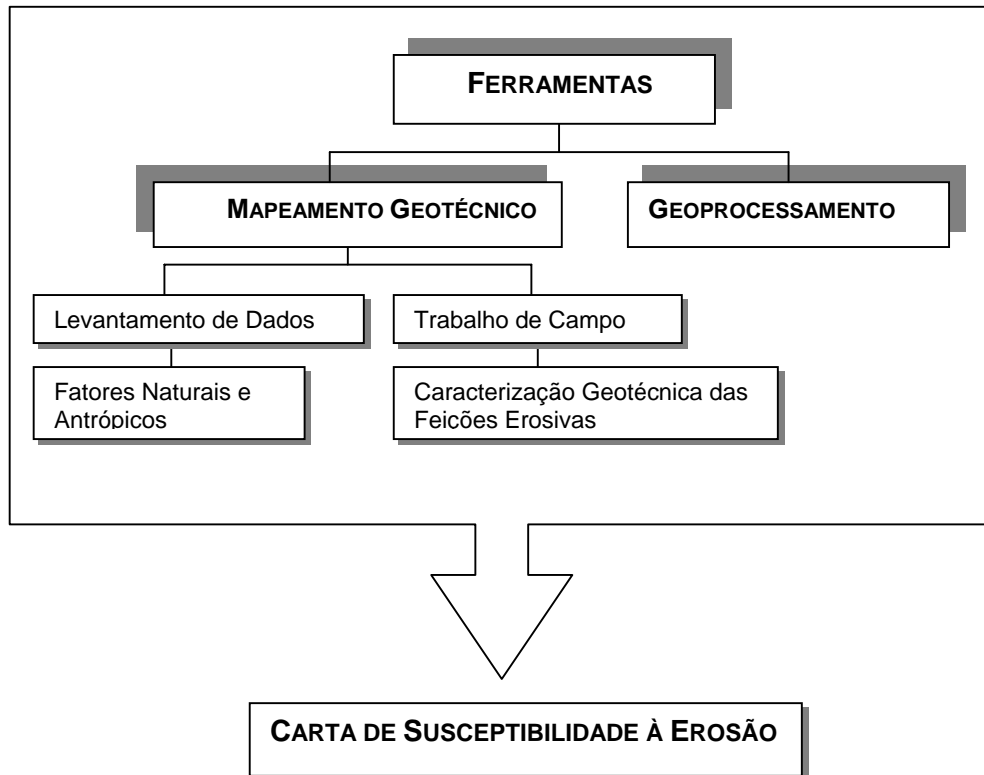
De acordo com CANIL (2001), os instrumentos de ações preventivas para o planejamento urbano baseiam-se em Cartas Geotécnicas, cujas orientações podem ser utilizadas no plano diretor, na lei de parcelamento do solo urbano, subsidiando diretrizes de projetos de loteamento em áreas com diferentes susceptibilidades à erosão.

Ainda segundo CANIL (2001), a representação gráfica das feições erosivas e das formas de uso e ocupação devem ser atualizadas com base em trabalhos de campo e documentação cartográfica (imagens de satélite, fotografias aéreas e panorâmicas). Esta dinamização de informações esta sempre auxiliando nas atividades do planejamento urbano, indispensável a uma boa qualidade de vida urbana.

CATANEO & ZIMBACK (1998) desenvolveram um trabalho que consistiu na definição de classes de solos susceptíveis à erosão pela utilização de métodos multivariados pelos SAS (Statistical Analysis System) no município de Mogi-Guaçu.

Para tratamento qualificado das informações referentes aos processos erosivos podem ser utilizados programas automatizados, como por exemplo, os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) que se destinam como ferramenta valiosa para elaboração das cartas interpretativas e derivadas (FONTES, 1998).

A **Figura 1** mostra em linhas gerais, as ferramentas que podem ser utilizadas para a elaboração da Carta de Susceptibilidade à Erosão de uma determinada área.



**FIGURA 1** – Esquema em linhas gerais das ferramentas que podem ser utilizadas para elaboração da carta de susceptibilidade à erosão.

## 2.2 EROSÃO

### 2.2.1 DEFINIÇÕES

A erosão em áreas urbanas e rurais tem cada vez mais merecido atenção de pesquisadores, os quais procuram definí-la segundo suas características geológicas, geotécnicas e agronômicas.

ELLISON (1947 *apud* NISHIAMA, 1995) define erosão como “*um processo de desagregação e transporte de materiais por agentes erosivos*”. Definição similar é apresentada por BERTONI & LOMBARDI NETO (1999): “*Erosão é o processo de desprendimento e arraste acelerado das partículas do solo causado pela água e pelo vento*”.

WEEGEL & RUSTOM (1992) afirmam que a desagregação e o transporte são resultantes de processos naturais como a precipitação, escoamento superficial, ventos e

escorregamentos, bem como das atividades antrópicas que alteram e/ou retiram a cobertura vegetal que serve de proteção ao terreno.

De acordo com VILLAR (1987), a erosão apresenta-se como um conjunto de processos que farão com que os materiais da crosta terrestre sejam desagregados, dissolvidos ou desgastados e posteriormente transportados por agentes erosivos. Para o IPT (1989) e SELBY (1993), a remoção destes materiais é consequência da ação combinada da gravidade com água, gelo, vento e organismo, bem como de movimento de massa.

LINDSEY & MARDER (1999) citam a definição feita pela SOCIEDADE AMERICANA DE TESTES E MATERIAIS, para a qual “*Erosão é a perda progressiva do material original de uma superfície sólida devido a interação mecânica entre esta superfície e um fluído, fluidos apresentando componentes múltiplos, ou choque de partículas líquidas e sólidas*”.

LAL (2001) considera a erosão como um trabalho que envolve três processos básicos: destacamento, transporte e deposição das partículas do solo; sendo a energia para este trabalho fornecida pelos agentes erosivos, cuja magnitude e taxa de dissipação determinam a severidade dos processos erosivos. Este autor cita quatro fontes principais desta energia: *física* (vento e água), *gravidade*, *química* (reações) e *antropogênicas*.

### **2.2.2 FATORES INFLUENTES NA EROSÃO**

A idéia de suscetibilidade do terreno à erosão está intimamente relacionada com a magnitude, frequência e impacto de um evento erosivo (EVANS, 1993).

BATTANY & GRISMER (2000) destacam os efeitos da forma das encostas, cobertura vegetal e rugosidade da superfície para o processo de escoamento superficial e infiltração.

OWOPUTI & STOLTE (2001) apontam duas categorias de fatores que afetam o processo erosivo: *fatores erosivos*, relacionados com os agentes causadores da erosão (chuva e escoamento superficial), tais como intensidade, frequência e duração da chuva, topografia e profundidade do fluxo superficial; e *fatores relacionados a erodibilidade do solo*, tais como a densidade, coesão e tamanho das partículas, e condutividade hidráulica. Segundo GUERRA & CUNHA (1995), estes fatores são os que vão controlar as

variações nas taxas de erosão e, de acordo com MORGAN (1986), um estudo detalhado destes é necessário para que se possa compreender, onde e porque a erosão ocorre.

No entendimento dos processos erosivos permite-se destacar dois importantes eventos iniciais, envolvendo, por um lado, o impacto das gotas de chuva na superfície do solo, promovendo a desagregação e liberação das suas partículas; e por outro, o escoamento superficial e/ou subsuperficial das águas permitindo o transporte das partículas liberadas (SÁ, 2001).

Para ROSSI & PHEIFFER (1999), os elementos componentes do meio físico, juntamente com as condições de infiltração e retenção de água no solo, são fatores que relacionados, imprimem dinâmica ao ecossistema. Estes autores ainda ressaltam que estes elementos devem comandar, mediante o equilíbrio morfológico e pedogênico, o surgimento de processos erosivos, intensificados pela ação antrópica.

## CHUVA

Para erosão hídrica, BERTONI & LOMBARDI NETO (1999) afirmam que *“toda remoção de solo exige a presença de água sobre o terreno, cuja única fonte é a chuva (...) que exerce sua ação erosiva mediante o impacto da gota de chuva, a qual cai com velocidade e energia variável segundo o seu diâmetro e mediante a ação do escorrimento (...), contudo, o volume e a velocidade da enxurrada dependem da sua intensidade, duração e frequência”*.

Para SELBY (1993), a erosão pelo impacto da gota da chuva é responsável por quatro efeitos: desagregação das partículas do solo; pequeno deslocamento lateral (rastejamento); saltação de partículas juntamente com as gotas de chuva (*“splash”*) e distribuição das partículas (**Figura 2a e b**).

KINNELL (2000 e 2001) sugere quatro sistemas para o destacamento e transporte de partículas na geração dos processos erosivos, são eles: destacamento pelo impacto da gota de chuva e transporte por *“splash”*, destacamento pelo impacto da gota de chuva e transporte por fluxo induzido por esta, destacamento pelo impacto da gota de chuva e transporte por fluxo natural, destacamento e transporte por fluxo natural de escoamento.

Para GUERRA & CUNHA (1995), a intensidade das chuvas é um bom parâmetro para prever a perda de solo e que a distribuição do tamanho das gotas de chuva e a energia cinética são características de cada intensidade.

De acordo com SÁ (2001), as chuvas torrenciais ou pancadas de chuvas mais intensas constituem a forma mais agressiva de impacto da água no solo, acelerando o processo erosivo.

Assim, a partir de sua precipitação pluviométrica e do impacto da gota de chuva, pode-se distinguir dois processos básicos que irão contribuir para o desenvolvimento de uma erosão: *infiltração* e *escoamento superficial*.

A água de chuva ao atingir o solo pode ser armazenada em pequenas depressões ou se infiltrar, aumentando a umidade do solo, ou abastecer o lençol freático. Quando o solo não consegue mais absorver água, o excesso começa a se mover em superfície ou em subsuperfície, podendo provocar erosão, através do escoamento das águas (GUERRA & CUNHA, 1995).

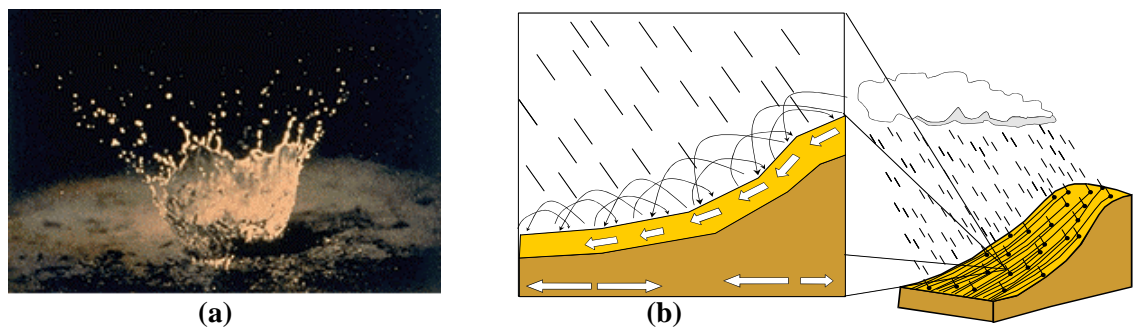


FIGURA 2 – (a) gotas caindo em um solo exposto, levando a desagregação das partículas por “*splash*” (Fonte: <http://www.netc.net.au/enviro/fguide/soiloverview.html>); (b) transporte das partículas por escoamento superficial.

Resumidamente, BERTOL *et al.* (2001) explica que em decorrência da diminuição da taxa de infiltração, ocorre um aumento da taxa de escoamento superficial e conseqüentemente tem-se início o processo de erosão.

MORGAN (1986) definiu a taxa de infiltração como sendo o índice que mede a velocidade com que a água se infiltra no solo e que exerce papel importante no escoamento superficial.

O escoamento superficial se faz, no início de uma chuva, por filetes de águas estreitos, que se anastomosam e tendem a crescer com a continuidade da chuva, para formar enxurradas (CERRI *et al.*, 1997).

Dessa forma, segundo GARCÍA RUIZ *et al.* (1997), movimento da água superficial pode influenciar na dinâmica da encosta e geração de formas de relevo em micro e meso escalas.

### **TOPOGRAFIA DO TERRENO**

*“A topografia é um fator natural que determina a velocidade dos processos erosivos. Maiores velocidades de erosão podem ser mais esperadas em relevos acidentados, como morros, do que em relevos suaves, como colinas amplas, pois declividades mais acentuadas favorecem a concentração e maiores velocidades de escoamento das águas, aumentando sua capacidade erosiva”* (FONTES, 1998).

Segundo SÁ (2001) a influência da topografia do terreno na intensidade erosiva verifica-se principalmente pela **declividade** e **comprimento da rampa** (*comprimento da encosta*), que de acordo com FOX & BRYAN (1999) e GABRIELS (1999) são fatores que interferem diretamente na velocidade do escoamento superficial.

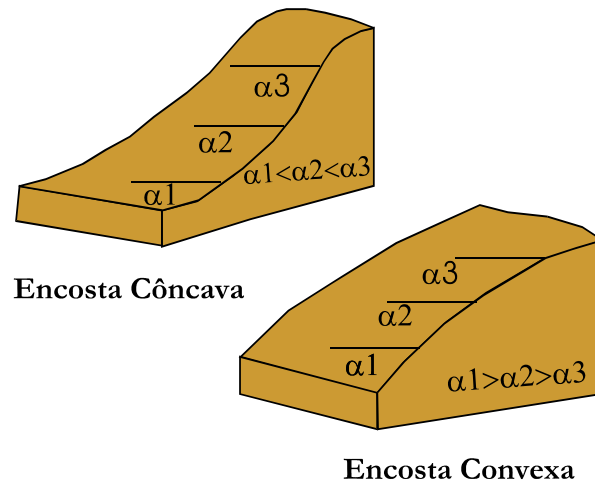
Para FONTES (1998), a declividade é o fator topográfico mais relevante no desenvolvimento dos fenômenos erosivos. De um modo geral, quanto maior for a inclinação da encosta, mais acentuado e volumoso será o escoamento superficial.

O comprimento da encosta também é um fator muito importante, pois à medida que o caminho percorrido vai aumentando, não somente as águas vão se avolumando proporcionalmente, mas também a velocidade de escoamento aumenta progressivamente (GABRIELS, 1999).

A distribuição do escoamento superficial é, também, fortemente influenciada pela forma da encosta (POU ROYO, 1988; RIBEIRO, 2000), sendo esta um fator que tem papel importante na erodibilidade dos solos (GUERRA & CUNHA, 1995).

De acordo com RODRIGUES (1982), nas encostas em que o perfil longitudinal é convexo, nota-se que os trechos baixos apresentam uma declividade mais acentuada e essa é a razão pela qual o escoamento superficial inicia o processo erosivo nesta região. Já os trechos médios mostram valores mais baixos e os topos podem ter declividades quase nulas. O inverso ocorre nas encostas de perfil longitudinal côncavo. Este autor ainda faz uma associação entre os diferentes tipos de erosão e a forma das encostas e cita que, principalmente em encostas convexas coletoras, e secundariamente em encostas convexas dispersoras, desenvolvem-se as voçorocas. Para encosta côncava,

dispersoras ou coletoras, o autor associa uma situação menos propensa à erosão por voçorocas (**Figura 3**).



**FIGURA 3** – Declividades e formas das encosta.

### NATUREZA DO SOLO

A degradação das propriedades físicas do solo é um dos principais processos responsáveis pela perda da qualidade estrutural e aumento da erosão hídrica.

SÁ (2001) destaca as seguintes propriedades do solo que afetam a erosão: *textura, estrutura, densidade, permeabilidade e teor de matéria orgânica*. Para (GUERRA & CUNHA, 1995), é preciso relacionar estas propriedades a um determinado período de tempo, pois podem evoluir, transformando certos solos mais suscetíveis ou menos resistentes aos processos erosivos.

A textura influi na capacidade de infiltração e de absorção da água da chuva, interferindo no potencial de enxurradas do solo, e em relação à maior ou menor coesão entre as partículas (SÁ, 2001).

LAL (1990) afirma que a estrutura do solo é uma propriedade importante que determina a resistência de um solo à dispersão e ao destacamento, sendo definida de acordo com o arranjo de partículas sob a forma de agregado.

A permeabilidade determina a maior ou menor capacidade de infiltração das águas da chuva, estando diretamente relacionada com a porosidade dos solos.

Para GUERRA & CUNHA (1995), a densidade dos solos é um fator controlador que deve ser levado em conta quando se tenta compreender os processos erosivos, pois se refere à maior ou menor compactação dos solos, sendo que a sua relação com a porosidade se dá de modo inverso, ou seja, à medida que a densidade de um solo aumenta, a porosidade diminui e, em consequência ocorre a redução de infiltração de água no solo. DALLA ROSA (1981), assim designou o papel da infiltração no solo: “*a redução da taxa de infiltração de água no solo é a propriedade que melhor reflete o grau de degradação do sistema poroso do solo*”.

Com relação ao teor de matéria orgânica, GUERRA & CUNHA (1995) afirmam que estudos de diversos autores mostram que a matéria orgânica é o melhor agente agregador do solo, pois aumenta a estabilidade dos agregados.

As propriedades dos solos exercem diferentes influências na erosão, ao conferir maior ou menor resistência à ação das águas.

### **COBERTURA VEGETAL**

*“A intensidade da proteção fornecida ao solo pode ser maior ou menor dependendo do tipo de cobertura e de sua densidade. Porém fica evidente que a remoção da cobertura vegetal primitiva e a sua substituição por outra menos eficiente na proteção do solo favorece a atuação dos agentes erosivos”* (RODRIGUES, 1998).

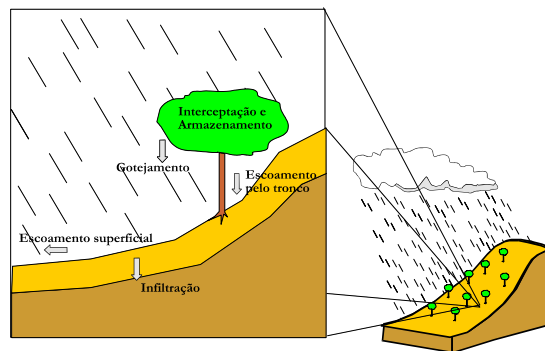
Segundo BERTONI & LOMBARDI NETO (1999), a cobertura vegetal é a defesa natural de um terreno contra a erosão, sendo que o efeito na erosão pode ser assim resumido: *proteção direta contra o impacto das gotas de chuva; dispersão da água interceptando-a e evaporando-a antes que atinja o solo; decomposição das raízes das plantas que formando canalículos no solo aumentam a infiltração; melhoramento da estrutura do solo pela adição de matéria orgânica, aumentando a sua capacidade de retenção de água; diminuição da velocidade de escoamento superficial.*



De uma maneira resumida, GUERRA & CUNHA (1995) enfatizam os fatores relacionados à cobertura vegetal através dos efeitos espaciais desta, dos efeitos na energia cinética da chuva, e do papel da vegetação na formação de húmus que afeta a estabilidade e teor dos agregados.

Segundo LEAL (1996), em áreas onde os restos vegetais da cultura são queimados ou enterrados na operação de preparo, o solo sem cobertura estará exposto ao impacto direto das gotas de chuva, desencadeando o processo de erosão hídrica.

A **Figura 4** ilustra o papel da cobertura vegetal durante uma chuva.



**FIGURA 4** – Proteção pela cobertura vegetal diminuindo o efeito da gota da chuva sobre o solo.

### ATIVIDADES ANTRÓPICA

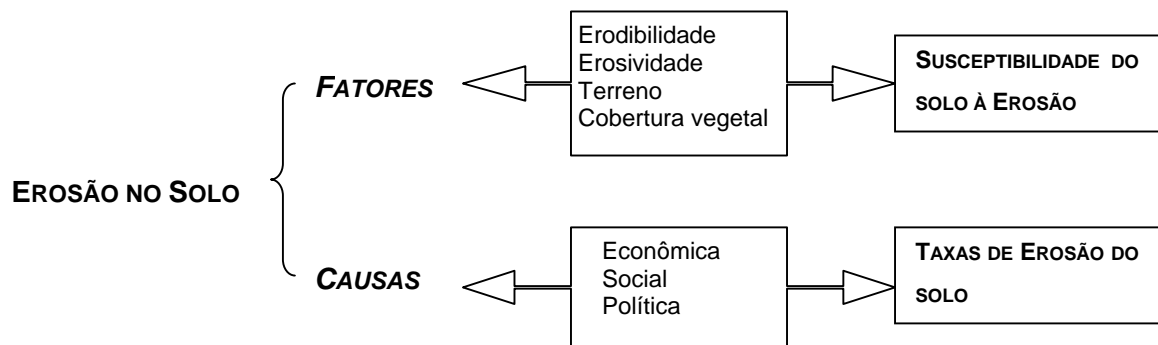
As atividades humanas constituem o principal fator na deflagração dos processos erosivos. Desde o impacto inicial, causado pelo desmatamento, há uma ruptura no equilíbrio natural do meio físico (IWASA & PRANDINI, 1980; STEIN, 1995).

De acordo com FONTES (1998), “a ocupação do meio físico pelo Homem está relacionada a uma série de aspectos destrutivos, os quais estão associados principalmente ao uso de técnicas impróprias e a um total desconhecimento de processos interdependentes, que são responsáveis pela existência equilibrada do meio físico”.

SOUZA (2001) cita as seguintes atividades como fatores antrópicos influentes no desencadeamento dos processos erosivos: *ocupação desordenada das encostas e fundo de vales, construção de barragens e desmatamentos*.

Para RODRIGUES (1982), a implantação de núcleos urbanos, preferencialmente no topo das colinas, altera completamente o meio físico, onde a pavimentação diminui a infiltração, levando a um aumento do escoamento superficial, inclusive concentrando-o, sendo assim, responsável pelo desenvolvimento de erosões aceleradas na área urbana.

LAL (2001) esquematizou os principais fatores e causas do processo erosivo, os quais são apresentados na **Figura 5**.



**FIGURA 5** – Fatores e Causas dos processos erosivos LAL (2001).

### 2.2.3 TIPOS DE FEIÇÕES EROSIVAS

A *Erosão Hídrica* é um dos processos mais comuns existentes na superfície terrestre, apresentando-se como uma forma de desgaste e suavização da topografia, sendo definida, segundo VILAR (1987), como *erosão natural*. Contudo, quando o equilíbrio natural é afetado, a dinâmica ganha velocidade e passa a denominar-se *erosão acelerada* (STEIN, 1995).

BENNET (1939) *apud* ZACHAR (1982), divide a erosão em *erosão geológica* (ou *erosão normal*) e *erosão acelerada*. Este autor ainda faz uma subdivisão da erosão acelerada em *erosão natural* e *erosão acelerada pelo Homem*.

PEJON (1992) classifica a erosão como natural quando a atuação dos processos erosivos se faz em ambiente onde é controlada somente pelo equilíbrio dos fatores naturais, se processando lentamente ao longo do tempo geológico. Em resumo, refere-se ao processo que ocorre naturalmente (em tempo geológico), sem influência antrópica.

BIGARELLA & MAZUCHOWSKI (1985) citam quatro tipos de erosão: *erosão laminar*, *erosão em sulcos*, *ravinamentos* e *boçorocas*.

GUERRA & CUNHA (1995) consideram três tipos básicos de erosão:

- ✓ *Erosão em Lençol ou Laminar*: quando o escoamento superficial se distribui pela encosta de forma dispersa, não se concentrando em canais;
- ✓ *Erosão em Ravinas*: quando o escoamento superficial se torna canalizado;
- ✓ *Erosão em Voçorocas*: relacionadas ao alargamento e aprofundamento das ravinas, sendo que algumas têm sua origem na erosão causada pelo escoamento subsuperficial.

SIDORCHUK (1999) sugere a existência de dois estágios no desenvolvimento de feições erosivas, as quais são controladas por diferentes grupos de processos geomorfológicos, assim tem-se:

- ✓ *Estágio Inicial*: a erosão hídrica é predominante no leito da erosão e rápidos movimentos de massa ocorrem nos lados desta feição erosiva; a formação de canais é muito intensa, devido às características morfológicas ainda não se encontrarem estáveis (comprimento, largura, área e volume);

- ✓ **Estágio Final:** o transporte de sedimentos e a sedimentação são os principais processos no leito da erosão; sua largura aumenta devido a erosão lateral e movimentos de massa lentos transformam os lados da feição erosiva.

CLAYTON (1972, *apud* NISHYAMA, 1998) distingue dois tipos básicos de erosão hídrica: *erosão por escoamento laminar* e *erosão por escoamento concentrado (erosão linear)*. No primeiro caso tem-se a erosão por escoamento superficial difuso e, no segundo caso se verifica quando o fluxo de água se concentra em canais estáveis.

Dentre as classificações existentes esta pesquisa abordará aquelas referentes à erosão hídrica linear, devido ao tipo de trabalho que será desenvolvido.

Segundo CERRI *et al.* (1997) a “*erosão linear é um processo erosivo decorrente da ação hídrica superficial por fluxo concentrado, apresentando-se segundo três tipos: sulcos, ravinas e boçorocas*”.

### **EROSÃO LINEAR DO TIPO SULCO**

A *erosão em sulco* é uma forma de erosão que se apresenta como pequenas incisões na superfície terrestre em forma de filetes muito rasos, e perpendiculares às curvas de nível (CANIL *et al.*, 1995).

Segundo BIGARELLA & MAZUCHOWSKI (1985), os sulcos se encaixam na superfície, seguindo a direção de maior inclinação da vertente, e assim a velocidade da água causa erosão cada vez mais intensa.

Em geral apresentam profundidade e largura inferiores a cinquenta centímetros, apresentando em suas bordas pequena ruptura na superfície do terreno (DAEE, 1980). Segundo CERRI *et al.* (1997), o termo sulco é utilizado quando se pode recuperar o entalhe erosivo por operações normais de preparo do solo. Geralmente, a erosão em sulco apresenta-se associada a trilhas de gado e em locais de solo exposto devido à movimentação de terra.

### **EROSÃO LINEAR DO TIPO RAVINA**

“A *erosão em ravina é formada essencialmente pelo escoamento de água superficial, que provoca o desprendimento de partículas do solo e movimento de massa devido ao abatimento dos taludes (...). com forma retilínea, alongada, estreita e*

*profundidade acima de 0,5m (...) raramente se ramifica, e não chega a atingir o nível freático, sendo que seu perfil transversal apresenta-se em “V”, e geralmente, ocorre entre eixos de drenagens” (CANIL et al., 1995) (Figura 6).*

A erosão em ravina ocorre principalmente quando há concentração de fluxos d'água em determinados pontos, formando canaletas bem definidas, podendo ser bem perceptível nos estágios iniciais de sua formação (REGO, 1987).

De acordo com GUERRA & CUNHA (1995) as ravinas são, quase sempre, iniciadas a uma distância crítica do topo da encosta, onde o escoamento superficial se torna canalizado, podendo ser formadas próximo à base, onde uma pequena incisão recua em direção ao topo. Para MORGAN (1986), essa incisão pode estar associada à saturação do escoamento superficial.



**FIGURA 6** – Vista geral de uma feição erosiva do tipo ravina.

Fonte: <http://www.netc.net.au/enviro/fguide/gullero.html>

Para CERRI *et al.* (1997), na ravina há de se levar em consideração o mecanismo da erosão que envolve movimentos de massa, representados pelos pequenos deslizamentos que provocam o alargamento da feição erosiva e também o seu avanço remontante.

Quando o progresso do ravinamento atinge um limiar que é o freático, intervêm processos ligados à circulação das águas de subsuperfície, fazendo com que o ravinamento alcance grandes dimensões, levando a geração de feições denominadas de

boçorocas (PONÇANO & PRANDINI, 1987), sendo esta um fenômeno preocupante, principalmente nos setores agrícolas e de engenharia.

### **EROSÃO LINEAR DO TIPO VOÇOROCAS**

As *voçorocas* são ravinas profundas que se desenvolvem tanto em sedimentos como em solos, nos taludes naturais e artificiais (RODRIGUES, 1982), preferencialmente ao longo de linhas de drenagem (IWASA & PRANDINI, 1980), de formas variadas e de difícil controle (CANIL *et al.*, 1995).

Para FIORI & SOARES (1976), o fenômeno caracteriza-se pela velocidade de escoamento da água e remoção rápida do material, não permitindo o desenvolvimento de vegetação, pois este processo pode estar ligado a um desequilíbrio entre a quantidade de água que escoar na superfície da encosta, o tipo de escoamento, a forma da encosta e a erodibilidade do material.

As voçorocas representam a forma de erosão mais complexa e mais destrutiva no quadro evolutivo da erosão linear. Corresponde ao produto da ação combinada das águas do escoamento superficial e subterrânea, desenvolvendo processos e/ou fenômenos como o “*piping*” (erosão interna), liquefação de areias, escorregamentos, corridas de areia, etc. (BIGARELLA & MAZUCHOWSKI, 1985; CERRI *et al.*, 1997; DAEE, 1990; PICHLER, 1953; PONÇANO & PRANDINI, 1987).

Segundo SÁ (2001), o “*piping*” provoca a remoção de partículas do interior do solo, formando canais que evoluem em sentido contrário ao do fluxo d’água, podendo dar origem a colapsos do terreno, com desabamentos, e escorregamentos que alargam e criam novas ramificações. Para PICHLER (1953), a erosão será tanto mais intensiva quanto maior a diferença entre o fundo do vale escavado e o nível normal do lençol freático.

A **Figura 7** mostra uma voçoroca desenvolvida no município de São Pedro e que gera sérios problemas à população.

Para RODRIGUES & VILAR (1984), as águas superficiais são responsáveis pelo aparecimento das voçorocas, enquanto que à água subsuperficial cabe a responsabilidade de desencadear o avanço lateral destas, através de várias formas de atuação, inclusive pelo arraste de partículas do maciço.

MACIEL FILHO (1994) considera que, desde a sua formação à sua extinção, a voçoroca passa por quatro estágios, a saber:

- ✓ Formação de sulcos, podendo neste ser considerada ravina;
- ✓ Formação dos saltos, aprofundamento da voçoroca e a erosão regressiva;
- ✓ Alargamento da boçoroca e o encontro do nível base da erosão, havendo a formação do fundo plano; geralmente neste estágio aparecem fontes que colocam em evidência a contribuição da água subterrânea para o processo erosivo;
- ✓ Ocorre a extinção da voçoroca, com o abrandamento dos taludes e a implantação de vegetação.



**FIGURA 7** – Voçoroca localizada no município de São Pedro (SP).

Outro aspecto a considerar sobre a erosão acelerada está relacionado às feições geomorfológicas, visto que estas têm influência indireta, mas importante no desenvolvimento das voçorocas, principalmente quando se leva em conta a forma das encostas. PONÇANO & PRANDINI (1987), perceberam que as encostas convexas coletoras e dispersoras estão mais estreitamente relacionadas à formação de voçorocas.

Os principais fenômenos observados numa voçoroca em atividade, de acordo com FIORI & SOARES (1976) são: *entalhe vertical para o desenvolvimento do perfil de mínimo trabalho (côncavo); migração da seção de maior perda de altitude em direção à cabeceira; ramificação para drenagens na encosta; alargamento para atender ao aumento da vazão; movimentos de massas nas paredes para atingir o talude estável.*

IWASA & PRANDINI (1980) classificaram as voçorocas de acordo com seu local de ocorrência em:

- ✓ **Voçorocas Urbanas:** são aquelas que ocorrem em cidades instaladas em terrenos de baixa resistência à erosão, que quando não calçadas apresentam ravinamento iniciados nas próprias ruas, visto que estas são as principais adutoras de águas captadas pelos telhados, sendo isso somado ao “*runoff*” local;
- ✓ **Voçorocas Rurais:** desenvolvem-se nas pastagens e culturas de má cobertura, sujeitas a manejo inadequado e segundo se acredita, na maioria das vezes são produtos do ravinamento iniciado ao longo de valas de demarcação, trilhas e linhas de plantio.

Em geral, as voçorocas são ramificadas, de grande profundidade, apresentam paredes irregulares e perfil transversal em “U” (CANIL *et al.*, 1995). Com relação à sua dimensão, PICHLER (1953) acredita que sua profundidade vai de 15 a mais de 30m e, em comprimento atinge várias centenas de metro.

Por se constituírem em diferentes processos erosivos, as ravinas e voçorocas devem merecer cuidados diferenciados no tratamento preventivo e corretivo sendo, portanto, de fundamental importância a sua distinção nos estudos de diagnósticos (SALOMÃO, 1992).

### 2.3 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA EROSÃO HÍDRICA

Os métodos de avaliação da erosão hídrica apresentam como objetivo principal a qualificação e quantificação deste fenômeno, com intuito de analisá-lo sobre os diversos aspectos de seu desenvolvimento.

Na avaliação deste fenômeno dispõe-se de **métodos qualitativos** e **métodos quantitativos**, os quais, segundo ALMOROX *et al.* (1994) viabilizam a análise das formas e grau de erosão (avaliação qualitativa) e atribuem valores às características pertinentes do sistema (avaliação quantitativa) (**Figura 8**).

Ainda de acordo com estes autores, o limite entre ambos os métodos não se apresenta de uma forma nítida, visto que há ocasiões em que para se avaliar a gradação



do processo erosivo por meio de um método qualitativo, é necessário a aplicação de um método quantitativo.

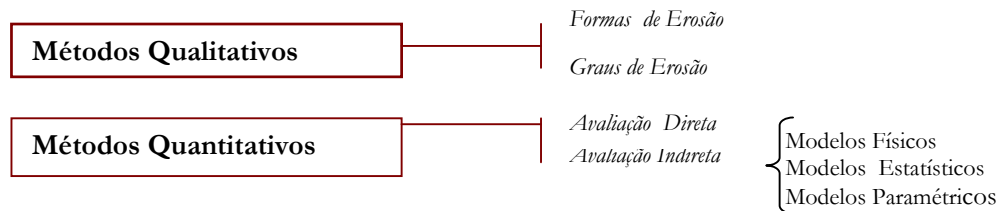


FIGURA 8 – Métodos de avaliação de erosão hídrica (ALMOROX *et al.*, 1994).

### 2.3.1 MÉTODOS QUALITATIVOS

Os métodos qualitativos não requerem valores numéricos, mas sim, das diferentes características que controlam o processo erosivo.

A análise qualitativa tem como principal vantagem a facilidade de manipulação dos fatores selecionados em termos de grau de risco à erosão e sua posterior combinação para a obtenção dos graus de severidade erosiva. Entretanto, sendo qualitativa, a estimativa da erosão não permite a obtenção de valores numéricos importantes para estimativa da degradação do solo e da sedimentação (CHAVES *et al.*, 1995).

Dentre as ferramentas utilizadas para análise do desenvolvimento de erosões através de métodos qualitativos, SÁ (2001) destaca o *sensoriamento remoto*, no qual as fotografias aéreas são as mais convencionais e apropriadas como fonte de dados. ALVES (1993) cita, também, a utilização de imagens de satélite como Landsat e SPOT e as imagens de radar.

ALMOROX *et al.* (1994) enfatizam que o estudo de fotografias aéreas tem que ser combinado com o trabalho de campo, para que se possa ter uma comprovação de que a análise fotointerpretativa corresponde com a realidade tratada. Estes autores afirmam que é necessário um avanço no estudo dos processos que permitam a automatização das

metodologias qualitativas, e sugerem o Sistema de Informações Geográficas (SIG) como uma ferramenta adequada na avaliação qualitativa dos processos erosivos.

### **2.3.2 MÉTODOS QUANTITATIVOS**

Os métodos quantitativos permitem a avaliação numérica dos processos erosivos, sendo que através desta pode-se estabelecer os diferentes graus de erosão.

A análise quantitativa permite a estimativa da erosão absoluta, facilitando o planejamento conservacionista, contudo os modelos quantitativos exigem um maior conhecimento por parte do usuário, além de requerer mais informações do que os modelos qualitativos (CHAVES *et al.*, 1995). A aplicação de modelos quantitativos foi intensamente facilitada com o desenvolvimento dos SIGs (Sistemas de Informação Geográfica).

Os métodos quantitativos podem ser analisados através de *Avaliação Direta e/ou Avaliação Indireta*.

#### **AVALIAÇÃO DIRETA**

De acordo com ALMOROX *et al.* (1994), as avaliações são realizadas em terreno onde os fatores de erosão são estimados a partir de *ensaios* (parcelas experimentais e simuladores de chuva) ou por *medidas de parâmetros* associados aos sedimentos nos solos (Cs137, matéria orgânica, fósforo). Contudo, BERTONI & LOMBARDI NETO (1999) expõem que a precisão do experimento e da técnica empregada deve ser considerada, visto que se o problema é determinar, simplesmente, a melhor entre duas alternativas, não se deve empregar muito tempo na técnica experimental.

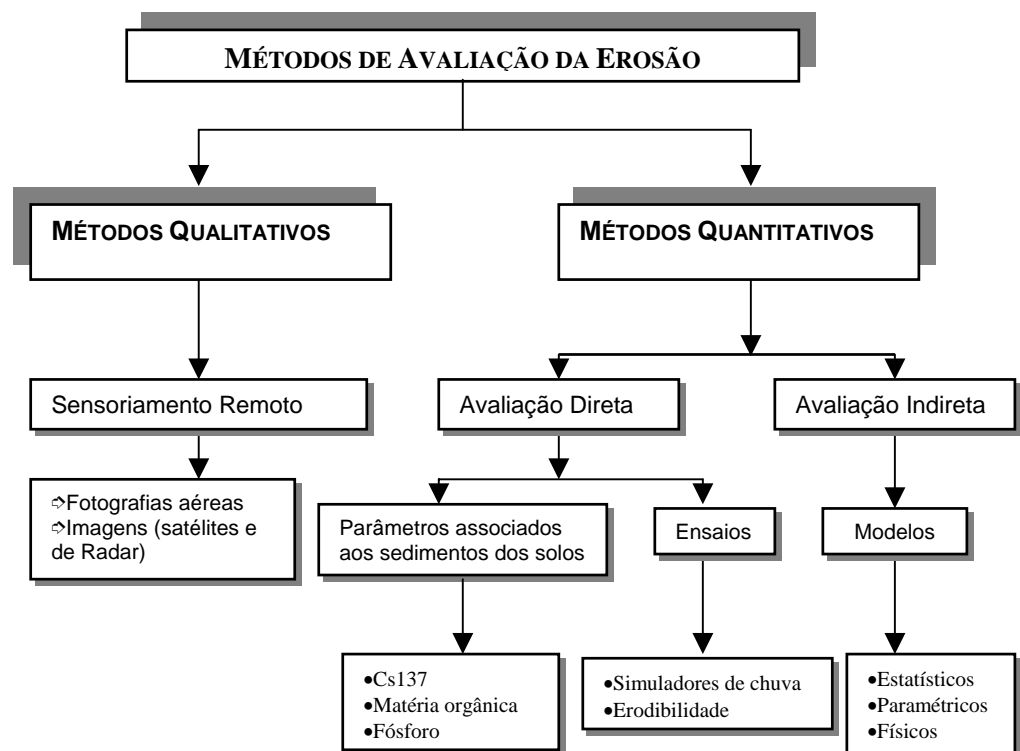
Dentre os métodos quantitativos de avaliação direta ALMOROX *et al.* (1994) citam: *perfiladores microtopográficos, medida da espessura dos sedimentos, medida do fluxo da água e sedimento, parcelas de erosão, simuladores de chuva, técnica do Césio137 e redistribuição do C orgânico*.

De acordo com MARQUES *et al.* (1997), a morosidade na determinação das perdas de solo, por meio de métodos diretos, é a principal causa do crescente interesse pelos modelos de predição da erosão, visto que tais modelos permitem identificar áreas de maior risco e auxiliar na escolha de práticas de manejo mais adequadas.

## AVALIAÇÃO INDIRETA

Esta avaliação consiste na utilização de modelos que são simplificações da realidade do sistema natural, fundamentais para a análise e compreensão do processo erosivo. Segundo ALMOROX *et al.* (1994), os modelos podem ser *estatísticos*, *físicos* e *paramétrico*.

A **Figura 9** apresenta um esquema sobre os métodos de avaliação da erosão hídrica, de acordo com ALMOROX *et al.* (1994).



**FIGURA 9** – Esquemática dos Métodos de Avaliação de erosão hídrica de acordo com ALMOROX *et al.* (1994).

## 2.4 ESTIMATIVA DOS PARÂMETROS DE EROSIVIDADE E ERODIBILIDADE

No processo erosivo pela água da chuva destacam-se duas ações fundamentais: a *erosividade da chuva*, que representa a maior ou menor potencial que uma determinada chuva tem de erodir o terreno e, a *erodibilidade dos solos*, que mostra a maior ou menor resistência que um solo apresenta contra a erosão (FONTES, 1998).

### 2.4.1 EROSIVIDADE

A capacidade potencial da chuva de provocar erosão pode ser mais bem estimada a partir de correlações entre os parâmetros erosividade da chuva e da enxurrada e as perdas de solo (WISCHMEIER & SMITH, 1978 *apud* ALBUQUERQUE *et al.*, 1998).

ODURO-AFRIYIE (1996) afirma que a expressão mais comum da erosividade é um índice baseado na energia cinética e no *momentum* do escoamento superficial, sendo assim este índice é função da intensidade e duração da chuva e da massa, diâmetro e velocidade das gotas de chuva.

O índice mais comumente utilizado é o índice da Universal Soil Loss Equation (USLE) apresentado por WISCHMEIER & SMITH em 1958. Nesta equação, apenas o índice R (erosividade) da USLE é computado diretamente, a partir de registros pluviométricos, enquanto que os demais são relativos à parcela padrão proposta por estes autores (MARQUES *et al.*, 1997).

O método WISCHMEIER & SMITH (1958) para o índice de erosividade da chuva ( $I_{30}$ ) e para o cálculo de energia cinética de uma chuva são expressos respectivamente pelas seguintes equações:

$$EI_{30} = EC.I_{30}.10^{-3}$$

$$EC = \sum_{i=1}^n (12.142 + 8.877.\log I_i)$$

Onde:

$EI_{30}$ = Índice erosivo da chuva ( $\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}$ );

EC= Energia cinética total da chuva ( $\text{MJ.ha}^{-1}.\text{mm}^{-1}$ );

$I_{30}$ = Intensidade máxima da chuva em 30 minuto (mm/h);

$I_i$ = Intensidade da chuva no aclave uniforme (i) (mm/h);

n = número de aclives uniformes de precipitação da chuva.

De acordo com MARQUES *et al.* (1997), diversos trabalhos têm procurado definir o melhor índice de erosividade para as diferentes condições brasileiras, sendo que tal índice seria aquele que melhor se correlacionasse com as perdas de solo, como feito por WISCHMEIER & SMITH (1978).

### 2.4.2 ERODIBILIDADE

A erodibilidade é a propriedade do solo que representa a sua susceptibilidade à erosão, podendo ser definida como a quantidade de material que é removido por unidade de área quando os demais fatores determinantes da erosão permanecem constantes (FREIRE *et al*, 1992).

Para VILAR (1987), a erodibilidade de materiais inconsolidados está relacionada a dois fatores principais: as *forças de atração*, que são características de materiais argilosos e o *tamanho das partículas sólidas*, que interferem no transporte destas.

Segundo BRYAN (2000), as propriedades que determinam a erodibilidade, tais como a agregação do solo e a resistência ao cisalhamento, são fortemente afetadas por fatores climáticos como a distribuição pluvial e a ação do congelamento e descongelamento.

De acordo com BERTONI & LOMBARDI NETO (1999), as diferenças relacionadas às propriedades do solo permitem que alguns solos sejam mais erodidos que outros, ainda que variáveis como a chuva, declividade, cobertura vegetal e práticas de manejo sejam as mesmas. Ainda segundo esses autores, as propriedades do solo que influenciam na erodibilidade são aquelas que afetam a infiltração, a permeabilidade, a capacidade total de armazenamento de água e aquelas que resistem às forças de dispersão, salpicamento, abrasão e transporte pelo escoamento.

VERTAMATTI & ARAÚJO (1990) desenvolveram um trabalho especificamente voltado para solos tropicais, visando a elaboração de critérios para previsão do potencial erosivo a partir das metodologias **MCT** (Miniatura, Compactado, Tropical) e de **sucção**, sendo que estas possibilitaram a definição de um fator de erodibilidade do solo (*Fator E*), o qual expressa o potencial erosivo dos solos tropicais (**Tabela 2**).

**TABELA 2** – Valores do Fator E (VERTAMATTI & ARAÚJO, 1990).

FATOR E	CARACTERÍSTICA DO SOLO
<3	MUITO POUCO ERODÍVEL
3 - 5	POUCO ERODÍVEL
5 - 8	MEDIANAMENTE ERODÍVEL
>8	MUITO ERODÍVEL

De acordo com PEJON (1992), vários métodos procuram caracterizar a erodibilidade do solo, contudo nenhum destes conseguiu uma identificação total dos materiais erodíveis, onde os melhores resultados se situaram em torno de 80%. Dentre os trabalhos analisados por este autor, o critério proposto por NOGAMI & VILLIBOR (1979) foi o que apresentou melhores vantagens, entre as quais pode-se citar: *utilização de amostras indeformadas, considera o efeito da secagem, permite inferir as propriedades de desagregabilidade e infiltração, facilidade e rapidez de execução e não necessita de equipamentos sofisticados.*

Ainda segundo PEJON (1992), o método proposto por NOGAMI & VILLIBOR (1979) baseia-se em dois ensaios simples que são a *absorção de água* e a *perda de peso por imersão*, os quais utilizam amostras indeformadas, obtidas com a cravação de um cilindro de PVC rígido com a ponta biselada.

A partir desses ensaios é feito o cálculo para determinação do *índice de erodibilidade do solo* proposto por NOGAMI & VILLIBOR (1979) através da seguinte formulação:

$$E = 52S / P$$

Onde:

S = Índice de absorção de água

P = Perda de massa por imersão

Esta formulação foi modificada por PEJON (1992), devido apresentar problemas com relação ao limite do campo erodível. Assim, para separar os materiais com baixa e alta susceptibilidade à erosão, foi proposta a seguinte formulação:

$$E = 40S / P$$

REGO (1987), baseado na USLE quantificou o grau de erosão de cada horizonte sob condições diferentes de vazão, inclinação do topo da amostra e umidade do solo. Para os ensaios de laboratório foi adotado o modo *INDERBITZEN* que considera as seguintes variáveis: *tipo de solo segundo a classificação de DEERE & PANTTON (1971), ângulo de inclinação da rampa, vazão superficial e condições de umidade da amostra (estado natural, após embebição e o ressecamento em estufa a 50°).*

## 2.5 GEOPROCESSAMENTO

### 2.5.1 ASPECTOS GERAIS

O *Geoprocessamento* é um conjunto de tecnologias voltadas à coleta e tratamento de informações espaciais para um objetivo específico, sendo estas atividades executadas por sistemas chamados Sistemas de Informações Geográficas ou SIG (ALVES, 1993; RODRIGUES, 1990). CERRI (1999) engloba ainda o Sensoriamento Remoto e o Sistema de Posicionamento Global.

Segundo a UDESC (1997) entende-se por informações espaciais as informações referentes ao mundo real geradas a partir de dados espaciais. Dado espacial é todo e qualquer dado relacionado com a descrição geométrica ou posicionamento de feições geográficas (ou objetos geográficos) em relação a um sistema de coordenadas.

Para VAZ (1997), o geoprocessamento é o processamento informatizado de dados georreferenciados que utiliza programas de computador e o uso de informações cartográficas, envolvendo também tecnologias e sistemas relacionados com as ciências Geodésia, Topografia, Cartografia, Fotogrametria e com as técnicas de Sensoriamento Remoto e Fotointerpretação.

RODRIGUES (1990) apresenta uma classificação dos sistemas de geoprocessamento em *aplicativos, de informação e especialista*.

- ✓ **Sistemas Aplicativos:** conjunto de programas que realizam operações associadas a atividades de projetos, análise, avaliação, planejamento, etc., podem ser agrupados em classes de sistemas voltados à entrada de dados, saída de dados e a realização de tarefas específicas, p. ex. projeto assistido por computador, mapeamento automatizado;
- ✓ **Sistemas de Informações:** SIG, *stricto sensu*, denota software que desempenha as funções de coleta, tratamento e apresentação de informações espaciais. SIG, *lato sensu*, denota o software, o hardware, os procedimentos de entrada e saída de dados, fluxos de dados de fornecedores para o sistema e deste para os consumidores, normas de codificação de dados, normas de operação resumidamente, tudo que desempenham as funções de coleta, tratamento e apresentação das informações;
- ✓ **Sistemas Especialistas:** sistemas computacionais que empregam o conhecimento na solução de problemas que normalmente demandariam a inteligência humana.

MENEGUETTE (2000) enfatiza a compreensão do **Sistema de Informação Geográfica** para um melhor entendimento deste com o geoprocessamento. Esta autora ainda ressalta as definições de sistema, informação geográfica e sistema de informação, considerando:

- ✓ **Sistemas** como sendo “conjunto ou arranjo de elementos relacionados de tal maneira a formar uma unidade ou um todo organizado, que se insere em sistema mais amplo”;
- ✓ **Informação Geográfica** como “conjunto de dados ou valores que podem ser apresentados em forma gráfica, numérica ou alfanumérica, e cujo significado contém associações ou relações de natureza espacial”;
- ✓ **Sistema de Informações** como “conjunto de elementos inter-relacionados que visam a coleta, entrada, armazenamento, tratamento, análise e provisão de informações”.

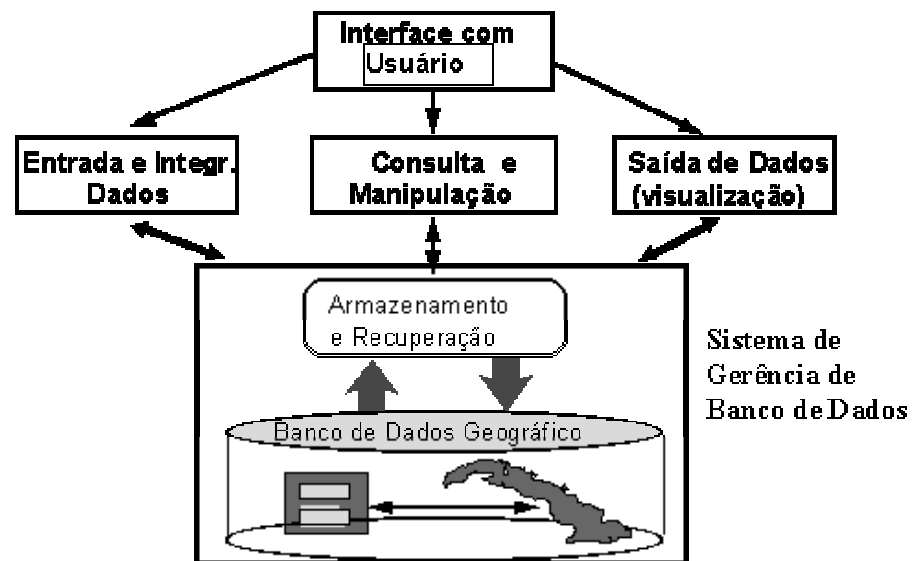
De acordo com BARBOSA (1997), no ambiente de um SIG as entidades do mundo real podem ser didaticamente descritas por atributos espaciais, temporais e temáticos, cuja manipulação, manualmente ou através de sistemas computacionais, com o objetivo de extrair informações, é denominada de *análise geográfica*. Conceitualmente pode-se dividir as operações de análise geográfica em três grupos:

- ✓ Operações de *manipulação*: usadas por exemplo para classificar tematicamente um atributo em função do seu valor em cada posição, ou combinar atributos diferentes com o objetivo de encontrar alguma correlação espacial entre eles;
- ✓ Operações de *consulta espacial*: usadas, por exemplo, para recuperar de um banco de dados um conjunto de dados que satisfaça a uma condição definida pelo usuário. O resultado de uma operação de consulta pode ser posteriormente manipulado por um operador de manipulação ou simplesmente visualizado através de uma operação de apresentação.
- ✓ Operações de *apresentação*: usadas para controlar as possíveis formas de visualização dos resultados das operações de manipulação ou de consulta.



O SIG é uma tecnologia para investigação dos fenômenos ambientais que combina os avanços da cartografia automatizada, sistemas de manipulação de banco de dados e sensoriamento remoto, com um desenvolvimento metodológico em análise geográfica para produzir um conjunto distinto de procedimentos analíticos com base em um banco de dados único georreferenciado e integrado (BURROUGH, 1986 *apud* CERRI,1999).

Os componentes básicos de um SIG são: *Interface com usuário, Entrada e Integração de Dados, Consulta e Manipulação, Saída de Dados e Sistema de Gerência de Banco de Dados*. A interação do usuário com o sistema pode ser através de uma interface gráfica com menus ou através de uma linguagem de comandos, onde o usuário determina uma seqüência de operações e ser executada (BARBOSA, 1997). A **Figura 10** ilustra o relacionamento entre os principais componentes de um SIG.



**FIGURA 10** - Componentes de um Sistema de Informação Geográfica (BARBOSA, 1997).

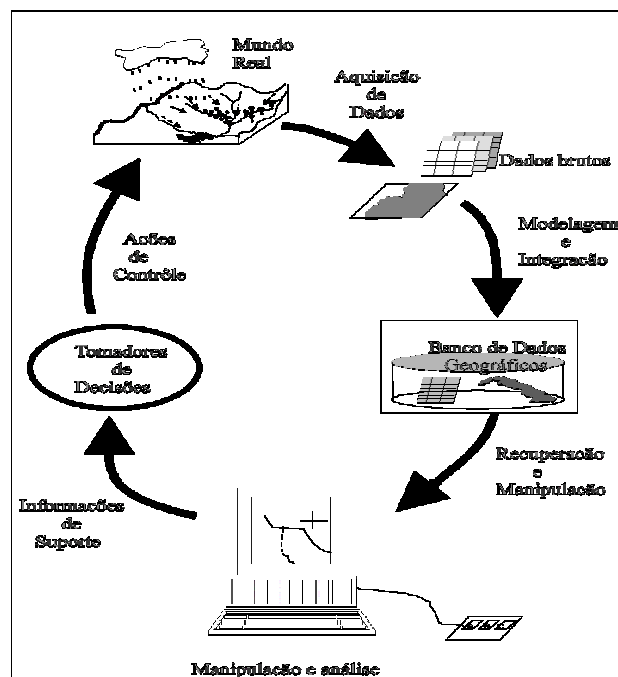
### 2.5.2 OBTENÇÃO DE DADOS

A aquisição de dados é o processo pelo qual são introduzidos no sistema os dados requeridos para aplicação, sendo que uns dos tipos de dados mais comumente usados nos SIGs são os mapas temáticos, os quais podem estar em diferentes escalas e projeções. Outros tipos de dados comuns são as imagens de sensoriamento remoto, tanto

orbital quanto aérea. O advento do *Global Positioning System* (GPS) que trouxe um novo tipo de dados para serem incorporados nos SIGs, visto que este tipo de dado permite conhecer com alto grau de precisão o posicionamento de pontos de trabalhos de campo (KUNTSCHIK, 1996).

De acordo com BARBOSA (1997), a aquisição dos dados pode ser feita através de várias formas, satélites, aviões, equipamentos manuais em campo, etc, e níveis de medidas, nominal, ordinal, intervalo e razão. O resultado desta etapa pode ser uma grande massa de dados em diversos formatos, analógicos e digitais, e possivelmente sem uma organização lógica. A etapa seguinte é a modelagem e a integração destes dados em uma base comum, gerando um banco de dados geográfico no formato digital. A terceira etapa, que compreende a recuperação e a manipulação dos dados disponíveis no banco, tem por objetivo a análise e extração de informações que possam eventualmente estar implícitas nos dados. É nesta etapa que, com o auxílio das ferramentas de manipulação de dados geográficos presentes nos SIGs, estes dados são convertidos em informações geográficas (**Figura 11**).

A integração dos dados consiste fundamentalmente na transformação dos dados de forma a permitir seu cruzamento. Isto inclui transformação de projeções, escalas, etc. e nas distintas operações que podem ser feitas com eles (ALVES, 1993).



**FIGURA 11** - Ciclo de extração e utilização de informações, adaptada de ARONOFF (1989) *apud* BARBOSA (1997).

### **2.5.3. ARMAZENAMENTO E GERENCIAMENTO DOS DADOS**

Este procedimento se refere à maneira pela qual os dados são estruturados e organizados, tanto como devem ser manuseados no computador, quanto a como os dados são percebidos pelos usuários do sistema. Os dados são relativos ao posicionamento, à topologia (relacionamento) e aos atributos dos elementos geográficos (pontos, linhas e áreas representando os objetos sobre a superfície terrestre).

De acordo com MENEGUETTE (2000), a entrada de dados envolve duas operações distintas: *a codificação das informações* e *a criação de bases de dados*. É nesta etapa que os dados capturados através de observações de campo e de sensores são transformados para uma forma compatível com o computador, com a utilização de dispositivos tais como a mesa digitalizadora, scanner, teclado, etc.

Compreende as etapas em que os dados, coletados e geocodificados, são submetidos a determinadas operações, podendo envolver tanto sistemas simples de análise de dados como sistemas complexos e abrangentes (ALVES, 1993).

Uma das metodologias empregadas segundo RODRIGUES (1990) são os *Modelos Digitais do Terreno* (MDT). De acordo com SÁ (2001), o MDT é o termo genérico empregado para referir-se ao modelamento matemático de superfícies, podendo ser definido como “*um conjunto de pontos amostrados da superfície real, com coordenadas espaciais (X,Y,Z) determinadas num dado referencial e algoritmos que possibilitem a construção de um modelo matemático que reproduza da melhor maneira possível o comportamento altimétrico da superfície real*”.

A utilização prática do MDT, até bem pouco tempo atrás, limitava-se a poucas aplicações na área de cartografia como o traçado de curvas de isovalores ou a geração de perfis altimétrico. Atualmente, o MDT tem sido utilizado para resoluções de diversos problemas de engenharia que necessitam de informações do comportamento altimétrico de uma dada superfície.

### **2.5.4 APLICAÇÃO DO GEOPROCESSAMENTO NO ESTUDO DA EROSÃO**

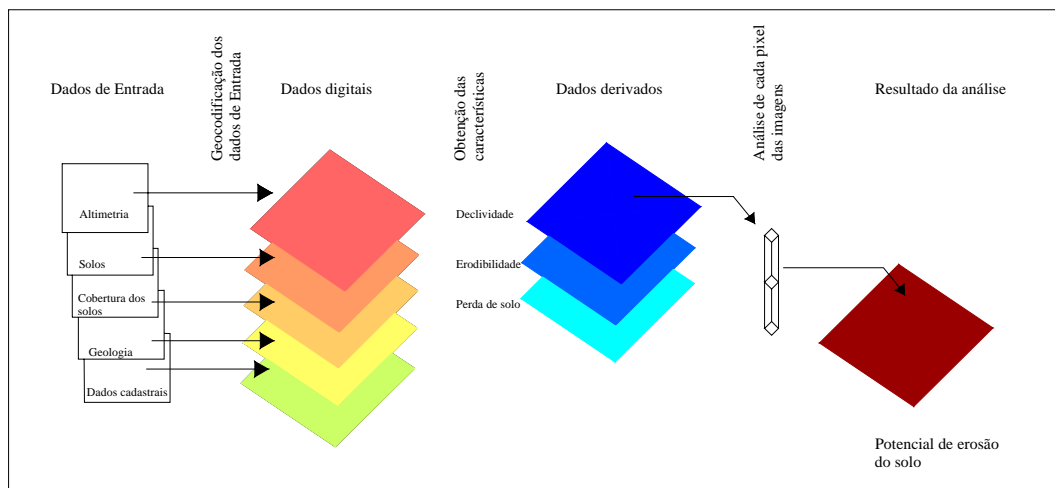
Uma abordagem para o estudo da evolução dos processos erosivos é a utilização do geoprocessamento para comparar ao longo do tempo qual a intensidade do fenômeno.

SÁ (2001) sugere que para mapeamento temático da capacidade de uso do solo, a geração de mapas de declividades é um fator muito importante, pois permite a visualização das áreas mais susceptíveis à erosão.

De acordo com ARONOFF (1991 *apud* MENEGUETTE, 2000), técnicas relativamente simples podem fornecer um nível de processamento de informações que permite a avaliação, reparação e reavaliação de cenários alternativos, a um custo aceitável. Uma questão importante na adoção das técnicas de SIG para o planejamento do uso da terra em nível local é relativa a como colocar tal tecnologia nas mãos dos tomadores de decisão (**Figura 12**).

LIMA *et al.* (1990) utilizou o geoprocessamento para a confecção de um mapa de susceptibilidade à erosão do solo de uma região no Estado da Paraíba, com dados relativos a declividade, erodibilidade, erosividade, litologia e cobertura vegetal.

VALÉRIO FILHO & ARAÚJO JÚNIOR (1995) aplicaram técnicas de geoprocessamento e modelagem para caracterização e mapeamento de áreas submetidas aos processos erosivos na Bacia do Ribeirão Bonito, tomando como base a Equação Universal de Perdas de Solo.



**FIGURA 12** - Procedimento de análise para planejamento da erosão do solo (ARONOFF, 1991 *apud* MENEGUETTE, 2000).

## 2.6 MODELOS PARA A EROSÃO

Os processos erosivos vêm sendo estudados em vários países, por meio de modelagem, simplificando assim a realidade e a solução dos problemas relacionados. A maioria dos profissionais busca desenvolver modelos que quantifiquem os processos erosivos e que possam ser aplicados em outras regiões que não aquelas para quais foram desenvolvidos (SOUZA, 2001).

Para CHAVES (1995), a principal vantagem da aplicação de modelos, tanto em nível de planejamento como no controle da erosão, consiste na possibilidade do estudo de diferentes cenários (tais como o pior cenário possível e diferentes tipos de manejo e práticas conservacionista), com baixo custo e de forma rápida.

A literatura apresenta um número elevado de modelos destinados à previsão de taxas de erosão relacionados com a declividade do terreno, contudo um número ínfimo destes modelos baseia-se nas relações físicas do processo erosivo, sendo que a grande parte dos modelos é do tipo *caixa-preta*, obscurecendo relações que se apresentam de grande importância para o processo e são limitados à região para qual foram desenvolvidos (SOUZA, 2001).

### 2.6.1 TIPOS DE MODELOS

SIDORCHUK (1999) apresenta dois tipos de modelos relacionados aos estágios evolutivos de uma erosão: *modelos dinâmicos* e *modelos estáticos*.

- **Modelos Dinâmicos:** são modelos que servem para prever mudanças rápidas da morfologia no primeiro período de desenvolvimento de uma feição erosiva, e são baseados na solução de equações de conservação de massa e de deformação no leito da erosão;
- **Modelos Estáticos:** são modelos que servem para calcular os parâmetros morfométricos finais de feições erosivas estáveis, baseando-se em suposições do equilíbrio morfológico final de uma erosão, quando analisada por vários anos (observando se as elevações e largura do leito da erosão sofrem mudanças consideráveis).

KRUMBEIN & GRAYBILL (1965) definem os tipos de modelos em: *modelos determinísticos, modelos estatísticos e modelos estocásticos*.

Segundo KIRBY (1980), os modelos estocásticos podem ser utilizados para a geração de modelos de chuvas e/ou do escoamento superficial acoplados a um modelo estatístico ou determinístico para o conhecimento da carga de sedimento erodido.

Para KRUMBEIN & GRAYBILL (1965), os modelos estatísticos caracterizam-se por envolverem variáveis, parâmetros, constantes e componentes aleatórios, podendo resultar da adaptação de modelos determinísticos pela inclusão de fatores que retratem partes aleatórias do processo.

De acordo com VILAR (1987), as palavras estatístico e estocástico assumem um significado semelhante, no sentido que os dois tipos modelos envolvem componentes ou variáveis aleatórias, enquanto que no modelo determinístico a relação funcional desenvolvida permite conhecer a informação de interesse, sem o concurso de qualquer variável aleatória.

Para ALMOROX *et al.* (1994), os modelos utilizados para estimar a erosão hídrica podem ser agrupados em três tipos: *modelos estatísticos*, *modelos físicos* e *modelos paramétricos*. Estes autores ainda ressaltam que a escolha de um modelo adequado a uma determinada finalidade deve se ajustar aos dados disponíveis, respondendo ao objetivo pré-determinado e que se apresente suas soluções de forma confiável, de maneira que possa atender a necessidade do usuário (**Tabela 3**).

**TABELA 3** – Métodos de estimação de erosão laminar em função dos objetivos (ALMOROX *et al.*, 1994)

OBJETIVO	TIPO DE MODELO
Rever os mecanismo da erosão e estimar seus efeitos	Físico
Detectar os lugares com erosão mais intensa para sua correção	Paramétrico e Qualitativo
Definir a erosão potencial	Paramétrico
Avaliar a superfície afetada pelo processo erosivo	Paramétrico e Qualitativo
Delimitar causas e intensidade da erosão	Paramétrico e Qualitativo
Ordenar e selecionar os cultivos mais adequados	Paramétrico e Qualitativo
Selecionar as medidas de conservação dos solos	Paramétrico
Eleger zonas de retiradas de cultivo, reflorestamento e para outros tipos de uso	Qualitativo
Proteção de recursos hídricos	Físico e Paramétrico

## MODELOS ESTATÍSTICOS

São modelos são caracterizados por envolverem variáveis, parâmetros, constantes e componentes aleatórios (ALMOROX *et al.*, 1994) e, de acordo com VILAR (1987) estas variáveis podem ou não ter um significado físico associado.

ALMOROX *et al.* (1994) fizeram uma abordagem de alguns modelos, dentre os quais pode-se citar o de FOURNIER (1960) e DJOROVIC (1974) que encontram descritos a seguir:

- ✓ **FOURNIER (1960):** O modelo estatístico de FOURNIER (1960) é o mais conhecido e empregado, pois este autor escolheu os fatores clima e relevo para avaliar o solo transportado por unidade de superfície e tempo, gerando a seguinte equação:

$$F = \frac{P^2}{P}$$

Onde:

F = Fator de Fournier;

P<sup>2</sup>= Precipitação anual (mm);

P= precipitação do mês mais chuvoso (mm).

- ✓ **DJOROVIC (1974):** este modelo calcula a degradação específica mediante a avaliação de uma série de parâmetros que se estabelecem como representativos de cada um dos fatores determinantes no processo erosivo: *clima, relevo, solo e vegetação*. Inclui-se também um parâmetro para estimar a influência do grau de intensidade alcançado pelos processos erosivos e o tipo de erosão predominante.

## MODELOS PARAMÉTRICOS

Os modelos paramétricos são formulações empíricas que visam interpretar os mecanismos erosivos por suas causas e efeitos (ALMOROX *et al.*, 1994).

Os modelos empíricos até recentemente eram largamente utilizados, pois são geralmente precisos às regiões para as quais foram desenvolvidos, contudo não se mostram adequados em regiões com características climáticas e edáficas diferentes (CHAVES, 1992; SOTO & DÍAZ-FIERROS, 1998).

Segundo CHAVES (1995), dos diferentes tipos de modelos matemáticos disponíveis, os mais usados no planejamento conservacionista, devido a sua simplicidade e à disponibilidade de dados, ainda são os modelos empíricos, dentre os quais o mais conhecido é a USLE (Universal Soil Loss Equation). Contudo, pode-se citar ainda a MUSLE (Modified Universal Soil Loss Equation) e a RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation).

A USLE (Universal Soil Loss Equation) é um dos modelos mais utilizados no mundo em programas conservacionista. Desenvolvida por WISCHMEIER & SMITH em 1978, tal método é utilizado para avaliar a previsão de perdas de solo, principalmente por processos laminares (SOUZA, 2001). A perda de solo esperada é determinada pelo produto de seis fatores: a chuva, a erodibilidade do solo, o comprimento e o gradiente da encosta, cultivo e manejo do solo e, práticas conservacionista. Assim a equação desenvolvida por WISCHMEIER & SMITH (1978) é definida:

$$A = R.K.L.S.C.P$$

Onde:

A= Estimativa de perda de solo (t/ha);

R= Fator erosividade da chuva (MJ/ha. mm/ha);

K= Fator erodibilidade do solo ( t/ha /MJ/ha . mm/ha ) ;

L= Fator comprimento da encosta (m);

S= Fator gradiente da encosta (%);

C= Cultivo e manejo do solo;

P= Práticas conservacionistas.

Foram formuladas equações que modificam a proposta original da USLE, pois alguns autores ao aplicarem esta equação detalhadamente (USLE) verificaram algumas limitações, principalmente quanto ao parâmetro R, levando às propostas da MUSLE (Modified Universal Soil Loss Equation) e da RUSLE (Modified Universal Soil Loss Equation), sendo a principal diferença entre os modelos a equação para o fator R (SOUZA, 2001):

$$R_{USLE} = \left[ \sum (0,0199 + 0,0873 \log I).Vp \right] I_{30}$$



$$R_{MUSLE} = \left[ \sum (0,29 \cdot (1 - 0,72e^{0,005I}) \cdot Vp \right] I_{30}$$

$$R_{MUSLE} = 89,6 \cdot (Q \cdot qp)^{0,56}$$

Onde:

I= Intensidade do segmento de chuva (mm/ha);

Vp= Volume de precipitação do segmento (mm);

I<sub>30</sub>= Intensidade máxima da chuva em 30 minutos (mm/h) ;

Q= Volume da enxurrada (m<sup>3</sup>);

qp= Vazão de pico de enxurrada (m<sup>3</sup>/s).

### **MODELOS FÍSICOS**

São modelos que analisam os processos que regulam a geração de sedimentos e escoamento, atendendo as leis físicas que governam o transporte (ALMOROX *et al.*, 1994). De acordo com AKABASSI (1999) e MERTEN *et al.* (1998), os modelos com embasamento físico são usualmente desenvolvidos a partir da utilização das equações do movimento do deflúvio superficial, de equações que quantificam as ações erosivas do impacto das gotas de chuva e do escoamento superficial sobre o terreno e da capacidade de transporte de sedimentos por este escoamento.

Segundo WILSON (2001), os modelos físicos têm a vantagem de poderem ser aplicados a uma gama de situações bem mais amplas quando comparados a USLE (Universal Soil Loss Equation) ou seus similares, visto que os modelos físicos abrem a possibilidade de se aprofundar e detalhar cada vez mais os processos que envolvem erosão.

De acordo com NEARING (1998), os modelos físicos apresentam uma estrutura mais sofisticada, o que na teoria permite uma melhor descrição da influência e das interações de dos vários fatores que fazem parte do processo erosivo e, dessa forma podem fornecer diferentes tipos de informações.

Dentre os modelos físicos pode-se citar: AGNPS, ANSWERS, WEPP, EUROSEM, LISEM, EROSION 2D/3D, EPIC.

### ➤ **AGNPS – Agricultural Nonpoint Source**

O modelo AGNPS foi desenvolvido pelo departamento de agricultura dos Estados Unidos para analisar e fornecer taxas de escoamento superficial com ênfase ao transporte de sedimentos e nutrientes através de bacias agrícolas, bem como comparar os efeitos de várias alternativas de conservação acerca da implementação de práticas de manejo nestas bacias (YOON , 1996).

### ➤ **ANSWERS – Areal Nonpoint Source Watershed Environmental Response Simulation**

O ANSWERS é um modelo distribuído de parâmetros de evento orientado, apresentando-se estruturado semelhantemente ao modelo AGNPS, através de “grid” de células. O modelo divide as bacias em elementos quadrados (“grid” de células) e usa a conectividade das células (derivadas de valores relacionados à encosta) e da equação da continuidade, e distribui o fluxo pela bacia (YOON , 1996).

Este modelo avalia a perda de solo por erosão e escoamento superficial da água em pequenas bacias. É um modelo determinístico que pode ser usado associado ao SIG (PINTO, 1991 *apud* RANIERI, 1996).

### ➤ **WEPP – Water Erosion Prediction Project**

O modelo WEPP é fisicamente baseado no modelo hidrológico e de erosão desenvolvido pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos para a predição quantitativa de erosão em encostas e bacias de pequeno e médio porte (SOTO & DÍAZ - FIERROS, 1998). Consiste num modelo semideterminístico, que requer calibração de alguns parâmetros (clima, solo, relevo e uso/manejo), podendo ser utilizado como modelo de simulação contínua e sobre a base de precipitação individualizada (CHAVES, 1995).

O modelo WEPP estima as distribuições espaciais e temporais de perda de solo, geração e características dos sedimentos, volume de escoamento superficial, balanço água-solo e outros tipos de informações que a USLE, como modelo empírico, não pode fornecer (NEARING, 1998).

### ➤ EUROSEM – European Soil Erosion Soil

EUROSEM é um modelo designado para prever a erosão em eventos individuais e para avaliar as medidas de proteção do solo. O modelo utiliza a equação de balanço de massa para computar o transporte, erosão e deposição de sedimentos sobre a superfície do terreno. Este modelo simula o volume de chuva que alcança a superfície do solo através da queda direta da chuva, da drenagem pelas folhas e do escoamento pelo caule (BOTTERWEG *et al.*, 1998; VEIHE *et al.*, 2001).

O modelo analisa eventos únicos com bases em processos provenientes de várias fontes, com a finalidade de prever a erosão do solo pela água em parcelas de campo e pequenas bacias hidrográficas. É considerado o modelo mais realístico na análise da formação dos diferentes tipos de feições erosivas, pois simula, por exemplo, a maneira como se dá a formação das feições do tipo sulco e intersulcos, incluindo o transporte da água e sedimentos oriundos dessas feições (MORGAN *et al.*, 1994 *apud* SOUZA, 2001).

### ➤ LISEM - Limburg Soil Erosion Model

É um modelo que correlaciona, em bases físicas, a hidrologia e a ocorrência de sulcos erosivos nos solos, a ser utilizado para o planejamento e a conservação em pequenas bacias. Este modelo foi elaborado para ser utilizado no procedimento dos sistemas *raster* do SIG e essa incorporação facilita a aplicação em bacia hidrográfica, melhora a interface com o usuário e propicia a utilização de dados gerados pelo sensoriamento remoto. Os resultados fornecidos consistem em arquivos sumariando os totais de precipitação, vazão, perdas de solo, etc.; arquivos de séries temporais utilizados para plotar gráficos hidrológicos e sedimentológicos; mapas de fluxo superficial em determinados intervalos de tempo (DE ROO *et al.*, 1994).

De acordo com BERTEN (1999), é um modelo que simula processos hidrológicos e erosivos durante eventos de chuvas simples numa escala de bacia. Os processos incorporado no modelo são: *chuva, interceptação, superfície de armazenamento em pequenas depressões, infiltração, movimento vertical da água no solo, fluxo superficial, fluxo de canal, destacamento pela chuva, destacamento pelo fluxo superficial e capacidade de transporte do fluxo.*

## ➤ EROSION 2D/3D

O modelo EROSION 2D/3D analisa os processos que levam ao desenvolvimento da erosão e deposição em encostas (2D) e bacias de pequeno porte (3D). Este modelo foi desenvolvido com a intenção de criar uma ferramenta de fácil uso para a predição de processos erosivos e para o planejamento e tributação da conservação de água. Os parâmetros de entrada deste modelo podem ser especificados em três grupos: *relevo (superfície)*, *solo* e *parâmetros de precipitação*, sendo todos estes dados importados para o Sistema de Informações Geográficas, sendo que os resultados podem ser mostrados de três maneiras: *em 2D* (a distribuição espacial da erosão e deposição é apresentada como um mapa *raster*); *em 3D* (os resultados são apresentados como um mapa topográfico com a distribuição espacial da erosão e deposição cobrindo a superfície) e através do clique em um elemento adicional específico do “grid” (os valores de saída para aquele elemento do “grid” são especificados) (SCHMIDT *et al.*, 1999).

SCHMIDT *et al.* (1999) utilizaram em seus estudos na Holanda, o modelo EROSION 2D/3D para calcular a indução da chuva na erosão e deposição de partículas em encostas e bacias hidrográficas de pequeno porte e concluíram que o modelo de simulação correspondeu qualitativamente bem com a realidade.

## ➤ EPIC – Erosion Productivity Calculator

Segundo DE ROO (1993), trata-se de um modelo para determinar a relação entre a erosão e a produtividade do solo. Usa simulação contínua com procedimentos de tempo diários. Simula a erosão, crescimento vegetal e processos associados. Para o funcionamento do modelo, o solo é considerado homogêneo e portanto as áreas de drenagem consideradas devem ser menores que 1 hectare. BERTEN (1999) enfatiza que neste modelo a erosão é calculada somente em um ponto e a deposição é negligenciada.

## 2.7 CONTROLE DE EROSÃO EM ÁREAS RURAL E URBANA

A erosão representa uma das maiores ameaças ao uso sustentável do solo e de recursos hídricos, sendo mais séria em solos de regiões tropicais que são altamente suscetíveis à erosão e a outros processos de degradação (LAL, 1998 e 2001; KAIHURA *et*

*al.*, 1999; OVUKA, 2000). De acordo com LÓPEZ *et al.* (1998), a determinação da distribuição da erosão é um pré-requisito necessário para o desenvolvimento de projetos que venham auxiliar no controle da erosão para áreas específicas.

Para D' AGOSTINI (1999), a dificuldade em controlar a erosão como um processo não deveria ir além das dificuldades de implementar as medidas que limitam a incidência direta da chuva e o rápido escoamento da água sobre o solo, visto que para ele a erosão hídrica pode ser controlada através de inúmeras ações, mas fundamentalmente inspiradas em uma única necessidade: *limitar a velocidade da água que incide e da água que escoar sobre a superfície do solo.*

Segundo STEIN (1995), os diagnósticos de erosão levam a discriminar os terrenos mais suscetíveis aos processos erosivos, mas é necessário que sejam objetivados para subsidiar ações preventivas e corretivas de erosão, devendo fornecer um registro completo do contexto em que se inserem os processos, com fatores e agentes determinantes da eclosão, evolução e estabilização das erosões.

### **2.7.1. PROBLEMAS CAUSADOS PELA EROSÃO**

A erosão envolve importantes processos de degradação do meio físico provocando a perda de solos agricultáveis, de equipamentos urbanos, a deterioração de obras civis e o assoreamento de reservatórios e cursos d'água (OLIVEIRA *et al.*, 1987; VILAR, 1987). Além destes efeitos, ALMEIDA FILHO (1998) considera o papel dos defensivos agrícolas arrastados pela erosão, como poluentes dos recursos hídricos superficiais, alterando a qualidade das águas.

Do ponto de vista técnico a ação progressiva da erosão, no caso específico de rodovias pode provocar situações de interrupção de tráfego, acidentes de conseqüências imprevisíveis, assim como dificultar as soluções de caráter corretivo. A erosão tem ocasionado assoreamento dos leitos das rodovias, obstrução dos sistemas de drenagens e pode provocar instabilização de taludes, condicionando até mesmo movimentos de massa e contribuindo para a degradação maior da paisagem (RODRIGUES, 1995).

Para ALMEIDA FILHO (1998), as conseqüências no desenvolvimento das voçorocas nas áreas urbanas, além de atingir imóveis e infra-estrutura representadas pelas obras de redes de água, esgoto, telefone, eletricidade, drenagem pluvial e pavimentação, podem também ser citadas como conseqüências indiretas: paralisação do tráfego, depreciação

imobiliária, fator limitante da expansão urbana devido aos altos custos de correção, desenvolvimento de focos de doenças pela prática comum de aterro com lixo urbano e despejo de esgoto e, assoreamento de galerias e fundos de vale, acarretando graves problemas de inundações e perda da capacidade de armazenamento d'água dos reservatórios de abastecimento público.

Muitos dos problemas citados acima estão associados à fatores antrópicos, dentre os quais pode-se citar (BERTONI E LOMBARDI NETO (1999) e BRAGAGNOLO (1992)): preparo do solo para atividades agrícolas de forma inadequada, contribui na maior susceptibilidade de remoção do material do solo em período de chuva; contaminação das águas por agrotóxicos e fertilizantes químicos que são arrastados juntamente com as partículas do solo; desmatamento acelerado ou atividades de queimadas que promovem a perda de nutrientes do solo, perda de espécies vegetais e animais, aumento de CO<sub>2</sub> na atmosfera, aumento do efeito estufa e alterações químicas.

### ***2.7.2 MEDIDAS DE CONTROLE DE EROSÃO***

A evolução dos processos erosivos sugere a impossibilidade de uma recuperação espontânea do meio ambiente, tornando-se evidente a necessidade do uso do conhecimento geológico, de engenharia e da tecnologia para prevenir ou minimizar os seus efeitos (FONTES, 1998). Desse modo, ARAÚJO (1995) sugere que para o desenvolvimento de obras de controle de erosões de maior envergadura são necessários alguns conhecimentos técnicos básicos em *geotecnia, sondagens, hidrologia, hidráulica e materiais de construção*.

De acordo com PICHLER (1953), antes que sejam tomadas quaisquer medidas de contenção ou proteção, deve-se primeiramente, determinar a fase de evolução da erosão (**Tabela 4**).

**TABELA 4** – Medidas preventivas para cada uma das formas de erosões superficiais e subsuperficial (PICHLER, 1953).

<b>TIPO</b>	<b>MEDIDA</b>
<b>Erosão superficial</b> <i>Estado Estacionário</i>	Pouco ou nada há fazer, pois não apresenta perigo maior do que aquele do momento, devendo-se apenas atentar à drenagem superficial, a fim de evitar um reinício.
<b>Erosão superficial</b> <i>Estado Inicial</i>	Aterro de valas de divisas e outras que porventura existente, evitando a formação de enxurradas; construção de sistemas de drenagem, destinada a captar as veias subterrâneas, controlando o escoamento rápido da água pelas camadas de areia.
<b>Erosão superficial</b> <i>Estado Intermediário</i>	Construção de barreiras artificiais ao longo do vale de erosão por meio de muro de pedras, ou cortinas de estacas pranchas capazes de cortar o caminho do solo e água em movimento; construção de vários poços na cabeceira da boçoroca, a fim de rebaixar o lençol freático, reduzindo a ação da erosão subterrânea.
<b>Erosão subsuperficial</b>	Quando tem reduzida a ação da água do subsolo, deve-se controlar a água que possa acumular-se na superfície.

CARVALHO & MORTARI (1995) dividem as medidas de controle de erosão em dois grupos:

- ✓ **Medidas preventivas:** consistem na adoção de planejamento prévio em qualquer atividade ligada ao uso do solo, principalmente no que se refere aos sistemas de drenagem urbana e rural. Dentre estas pode-se citar a *formação de bacias autodissipáveis e recobrimento com vegetação das áreas exploradas*;
- ✓ **Medidas corretivas.** consistem em corrigir áreas desfiguradas pelos processos erosivos, podendo-se adotar medidas como a *implantação de bacias de dissipação à montante do início das voçorocas e através de construção de barragens*.

Em nível preventivo, OLIVEIRA *et al.* (1987) sugerem orientações voltadas ao controle de processos erosivos tais como: priorização das áreas de investimento em obras corretivas, orientação das expansões urbanas e a definição das adequações necessárias à implantação de obras viárias que atravessem áreas de alta susceptibilidade à erosão.

Para ALMEIDA FILHO (1998) , o controle corretivo das erosões consiste na execução de um conjunto de obras, cuja finalidade primordial é evitar ou diminuir a energia do escoamento das águas pluviais sobre terrenos desprotegidos, que pode ser conseguido com obras de sistema de drenagem tais como: pavimentação das ruas, guias, sarjetas, boca de lobos e galerias de águas pluviais. No controle destes processos é

fundamental a execução de projetos que contemplem a bacia de contribuição constituindo-se de: microdrenagem, macrodrenagem e obras de extremidades.

MAGALHÃES (2001) propõe as seguintes medidas de controle da erosão: *desvio das águas superficiais por terraços ou valas de desvio, pela proteção das cabeceiras, utilização de revestimentos vegetais pela sistematização de taludes, por vertedouros e dissipadores, construção de barragens retentoras temporárias de ramaria, pelo uso de tela de arame, brita ou permanentes de sacos plásticos com areia, concreto ou solo-cimento.*

PEREIRA (2001) sugere a utilização da *bioengenharia* para ajudar no controle de erosão, como por exemplo o uso de geotêxteis, como *tela* e a *manta*. Segundo VIDAL (1995), a utilização de produtos sintéticos que auxiliam o crescimento da vegetação se deu devido à necessidade de aumentar a eficiência da proteção vegetal.

Segundo GALERANI (1995), as obras para estabilização de voçorocas objetivam estabelecer o perfil de equilíbrio do fundo destas com a execução de barragens escalonadas, visando impedir seu desenvolvimento lateral ou alargamento através de obras complementares. Dentre as barragens este autor cita: *barragens em gabiões, barragens em terra com vertedor em superfície livre e barragens em terra com vertedor tipo “cachimbo”*.

A vegetação é uma das medidas mais eficazes e baratas utilizadas que podem ser usadas para o controle de estabilização do processo de erosão. Segundo SANTOS *et al.* (1988) como medida preventiva é necessário plantar o máximo possível de touceiras de bambum, grama, capim, etc para proteger os pontos vulneráveis tais como saídas de sangras, canaletas longitudinais e erosões já existentes fora da plataforma. Para VIDAL (1995), a proteção do solo superficial através de vegetação é eficiente, econômica e esteticamente agradável no controle da erosão. BRASIL (1983) sugere a instalação de paliçadas como uma técnica muito boa para a contenção de voçorocas.

PINTO (2001) fez um diagnóstico envolvendo os fatores e as práticas de controle em relação às áreas mais frequentes de ocorrência de erosão, separando em dois grandes conjuntos: erosão nas áreas rurais e erosão urbana e periurbana (**Tabela 5**).

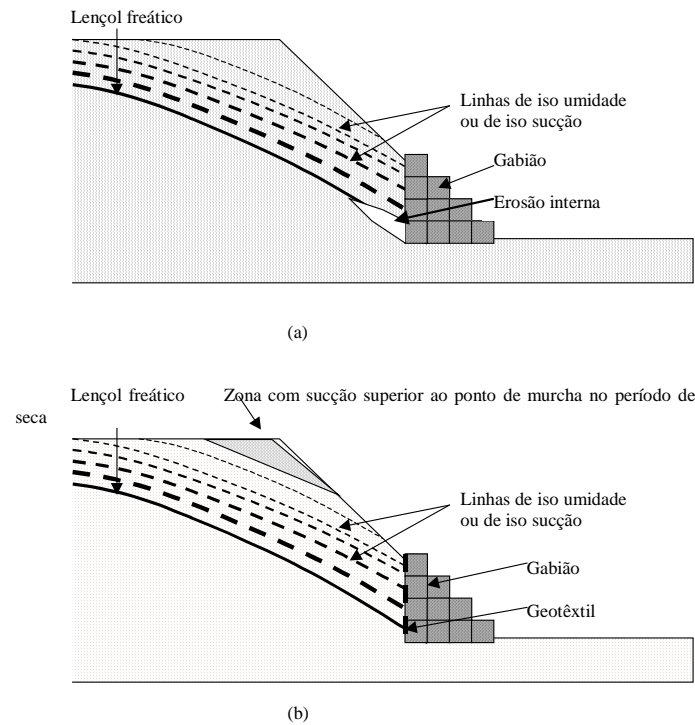
No Brasil, as técnicas usadas no combate à erosão ainda não estão totalmente desenvolvidas. Dentre as poucas técnicas pode-se destacar a prevenção e controle da erosão usando estrutura em gabiões, que possuem as seguintes características: *flexibilidade, resistência à tração, permeabilidade, versatilidade, praticidade e durabilidade* (MACHADO, 1995).



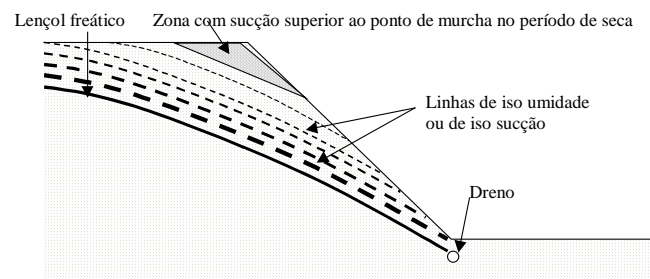
De acordo com CARVALHO *et al.* (2001), todas as obras de controle de processos erosivos são, sem exceção, onerosas e requerem estudos específicos. Por exemplo, em certos casos a simples estabilização dos taludes através da construção de muros gabiões pode assumir um caráter temporário, pois condições favoráveis de fluxo podem gerar erosão interna (**Figura 13a e b**) e/ou a esqueletização do maciço, propiciando futuramente a instabilização do talude e a evolução do processo erosivo. Para a solução desse problema seria necessário fazer com que o muro satisfizesse também às condições de filtro, através, por exemplo da interposição de um geotêxtil (**Figura 14**).

**TABELA 5** – Fatores e medidas de controle de processos erosivos (PINTO, 2001).

ÁREA	EROSÃO	FATORES AGRAVANTES	CONTROLE PRECONIZADO
RURAL	Sulcos	<ul style="list-style-type: none"> <li>formas de relevo (colinas médias e convexas);</li> <li>substrato geológico (rochas sedimentares); solo (coberturas pedológicas com forte gradiente textural entre horizontes A e B); uso e manejo inadequados (caminhos, divisões de parcelas, intensidade do manejo, densidade do recobrimento do solo em relação à declividade, textura do horizonte superficial, etc.).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Maiores declividades: reflorestamentos e pastagens</li> <li>Declividades menores: controle do escoamento superficial (meios mecânicos e/ou vegetativos).</li> </ul>
	Voçoroca		<ul style="list-style-type: none"> <li>De modo geral são de difícil controle, sobretudo pelos processos envolvidos em sua evolução e dinâmica, que tanto são longitudinais quanto</li> </ul>
	Laminar	<ul style="list-style-type: none"> <li>Uso e manejo do solo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>transversais.</li> <li>Práticas mais tradicionais de conservação dos solos, tanto de caráter vegetativo quanto mecânico.</li> </ul>
URBANA E PERIURBANA	Ravinas e Voçorocas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ocupações inadequadas (loteamentos, arruamentos na linha de maior declive)</li> <li>Substrato rochoso e solos (rochas sedimentares e textura média a arenosa) .</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>arruamentos em nível, guias e sarjetas, galerias pluviais adequadas, calçamento nas áreas de maior declive.</li> </ul>



**FIGURA 13** - Implantação de Gabião como obra de controle.



**FIGURA 14** – Croqui ilustrando as condições de fluxo em um talude de voçoroca.

As técnicas de prevenção e de controle de erosões requerem abordagens específicas em cada caso, tendo em vista que vários são os fatores e parâmetros definidores do processo erosivo. Em regiões tropicais tem-se ainda a agravante destes apresentarem, mesmo regionalmente, grandes variações.

## **CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA**

---

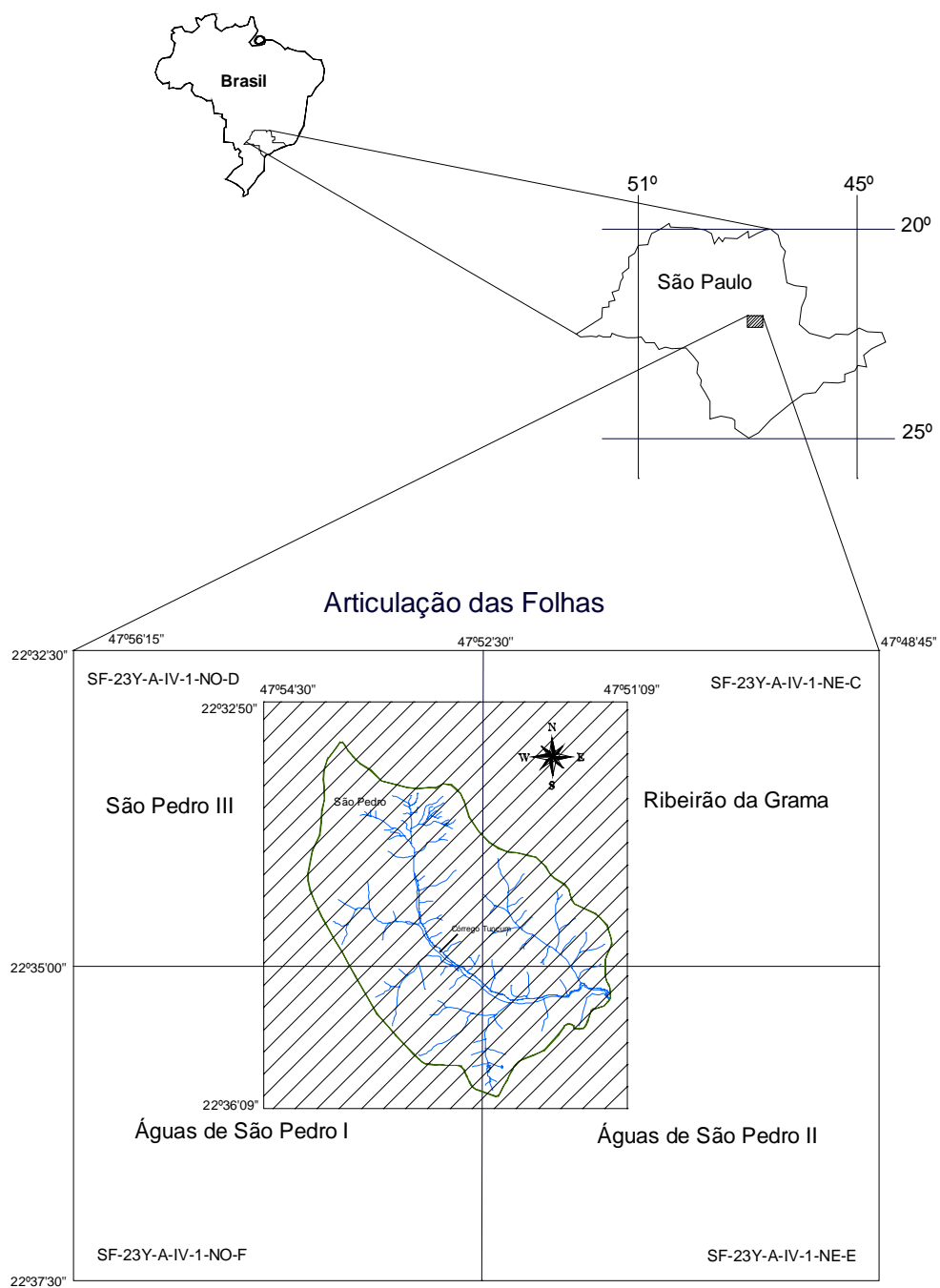
### **3.1 LOCALIZAÇÃO E ACESSO**

A Bacia Hidrográfica do Córrego Tuncum localiza-se na porção centro-oriental do Estado de São Paulo, entre as coordenadas UTM's 201000/206000E e 7504000/7499000 N, Zona 23 sul, compreendida entre os paralelos 22°32'50'' e 22°36'9''W e os meridianos 47°54'30''e 47°51'9''S, dentro dos limites do município de São Pedro e abrange uma área de aproximadamente 13,5 km<sup>2</sup> (**Figura 15**).

O município de São Pedro dista cerca de 200 km da cidade de São Paulo e seu acesso pode ser feito através das rodovias Anhanguera (SP-330) até o município de Americana, seguindo-se a partir deste pela SP-304, passando pela cidade de Piracicaba. Tem seus limites com os municípios de Itirapina e Torrinha (ao Norte), Charqueada (à Leste), Santa Maria da Serra (à Oeste) e Piracicaba (ao Sul).

### **3.2 HIDROLOGIA**

A Bacia do Córrego Tuncum tem sua nascente à nordeste da cidade de São Pedro, com extensão de aproximadamente 5,3km, com percurso no sentido nortesudeste e desaguando no Ribeirão Araguá, o qual é parte integrante da bacia do Rio Piracicaba. Apresenta drenagem que varia de média a baixa densidade, com padrões dendrítico e subdendrítico, predominando vales abertos e de fundo chato.



**FIGURA 15** - Localização da bacia do Córrego Tuncum.

Na área existem diversas empresas mineradoras, as quais através da extração de areia, com atividades constantes e muitas vezes indiscriminadas, causam um intenso processo de assoreamento do córrego (**Figura 16a e 16b**).

Através de fotografias, fotografias aéreas e observações de campo foi possível notar as modificações ocorridas no leito do Córrego Tuncum, como o aumento de sua largura e maior volume de carga arenosa de fundo.



**FIGURA 16** - (a) Mineradora atuante na área próximo a confluência do córrego Tuncum com o ribeirão Araguá; (b) Córrego Tuncum à jusante e com intenso processo de assoreamento.

### 3.3 CLIMA

O clima predominante na área é o mesotérmico úmido subtropical, com inverno seco e temperatura média do mês mais quente superior a 22 °C e a do mês mais frio não excedendo a 18 °C, se enquadrando segundo a classificação de Köppen como Cwa (BRASIL, 1960).

A precipitação média anual fica em torno de 1.500mm, de acordo com os dados da Secretaria de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (SIRGH/DAEE, 2002) para o período de 1972 a 2000 (**Tabela 6**). As máximas precipitações deste período ocorreram nos anos de 1972 e 1995, ambas nos meses de fevereiro.

**TABELA 6** – Dados pluviométricos do município de São Pedro relativos ao período de 1972 a 2000. Fonte: SIRGH/DAEE.

POSTO: SÃO PEDRO		MUNICÍPIO DE SÃO PEDRO										PREFIXO: D4-060	
LATITUDE 22°32' LONGITUDE: 47°55'		ALTITUDE: 600 METROS											
ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANUAL
1972	327,8	374,1	60,1	111,5	86,5	5,9	117,1	63,9	139,4	275,9	146,8	129,5	1838,5
1973	80,8	203,8	180,1	134,9	72,0	38,3	46,0	22,4	81,8	91,6	171,3	379,8	1502,8
1974	366,80	70,7	398,4	27,4	8,0	132,5	0,0	3,4	28,9	130,9	102,1	300,0	1569,1
1975	165,5	328,6	65,9	62,8	12,7	9,1	59,7	0,0	67,1	134,6	318,0	342,7	1566,7
1976	206,40	205,8	227,0	120,8	154,5	82,8	101,7	69,7	128,8	15,4	121,7	104,6	1678,2
1977	380,2	83,5	125,9	146,4	47,8	55,0	12,4	44,1	74,7	62,6	235,6	228,7	1496,9
1978	215,1	148,4	180,7	4,6	103,7	26,7	92,6	2,5	93,1	167,33	193,4	274,4	1502,53
1979	223,8	94,2	137,8	71,8	121,2	0,0	27,5	95,8	84,1	105,4	164,6	265,0	1391,2
1980	142,5	160,1	134,5	128,6	7,7	123,6	1,3	64,47	100,6	72,8	125,9	203,17	1265,23
1981	378,9	61,6	43,0	37,2	26,3	84,5	2,5	2,0	15,8	220,2	115,9	163,0	1150,9
1982	266,1	140,8	135,63	107,6	56,0	155,3	60,0	29,0	15,4	253,3	160,0	254,5	1633,63
1983	205,2	422,3	85,2	165,9	330,1	172,5	28,1	10,3	212,0	144,3	133,6	318,0	2227,6
1984	117,2	38,0	40,3	101,2	68,9	0,0	3,0	89,4	98,7	51,1	188,5	230,6	1026,4
1985	221,0	225,2	242,7	92,1	66,6	15,9	1,1	9,5	47,2	62,6	90,5	124,8	1199,2
1986	165,4	162,4	221,6	54,8	126,8	0,0	16,8	166,5	43,7	62,3	111,3	337,7	1469,3
1987	146,6	195,0	113,7	47,7	171,8	103,0	10,6	5,3	68,9	93,9	159,4	200,4	1316,3
1988	171,5	313,6	203,1	136,7	101,4	18,4	0,0	0,0	5,6	231,5	102,7	122,1	1406,6
1989	419,8	332,6	85,6	60,0	10,5	58,8	92,8	33,2	59,0	36,5	90,5	87,1	1366,4
1990	216,6	82,4	219,3	101,5	49,9	2,8	55,2	54,7	48,1	162,8	237,8	189,7	1420,8
1991	322,7	204,6	454,2	162,4	38,7	37,4	23,4	2,1	29,9	89,6	93,1	249,9	1708,0
1992	90,5	147,2	351,5	77,7	115,4	0,0	44,8	16,8	146,4	144,1	228,5	76,93	1439,83
1993	210,0	254,0	132,0	68,6	136,2	40,8	15,8	21,8	163,3	114,6	120,8	156,9	1434,3
1994	263,7	247,0	176,0	110,7	29,5	25,1	14,3	0,0	0,0	130,9	182,2	0,0	1179,4
1995	271,6	651,1	112,5	120,9	62,1	43,6	66,0	0,0	32,4	167,9	107,8	203,6	1839,5
1996	328,6	174,0	288,0	15,7	38,4	23,6	1,0	43,9	133,2	121,1	109,1	145,5	1422,1
1997	242,6	98,7	47,6	0,0	68,3	114,6	18,0	1,9	111,7	140,3	308,2	128,2	1280,1
1998	133,1	274,6	253,1	49,2	110,0	12,5	15,7	18,4	56,8	141,2	30,0	276,4	1371,0
1999	446,6	320,1	115,9	71,8	80,0	92,0	0,0	0,0	69,9	33,3	77,7	123,7	1431,0
2000	186,6	199,1	202,2	4,6	0,0	6,5	50,5	31,1	77,0	128,5	150,96	200,6	1237,6
<b>MÉDIA</b>	<b>246,9</b>	<b>221,91</b>	<b>179,77</b>	<b>85,54</b>	<b>82,18</b>	<b>52,90</b>	<b>34,93</b>	<b>32,24</b>	<b>79,85</b>	<b>133,22</b>	<b>156,56</b>	<b>208,04</b>	<b>1513,26</b>

### 3.3 VEGETAÇÃO

A vegetação original encontra-se em grande parte devastada, sendo substituída por áreas de pastagens, cultivo de cana e reflorestamento (eucalipto), contudo, é possível observar resquício da vegetação original (Mata latifoliada) em locais restrito, como ao sudoeste da bacia, principalmente onde a declividade se mostra mais acentuada.

Na parte norte da bacia aparecem os cerrados e acompanhando os vales fluviais se observam matas de galeria, com espécies de vários portes.

Em função da grande relevância que a cobertura vegetal exerce nos processos erosivos, FRANCICANI (1995) constatou a necessidade de executar um levantamento das espécies vegetais que ocorrem nas Bacias do Córrego Tuncum e do Espriado, visto que o conhecimento destas espécies pode auxiliar na recuperação de áreas degradadas.

### 3.4 GEOMORFOLOGIA

Geomorfologicamente, a bacia faz parte de uma unidade denominada *Depressão Periférica*, a qual apresenta como traço dominante um relevo suave de forma colinosa, com topos aplainados e subangulosos, e altitudes que variam de 465 a 610 metros. Suas encostas mostram características convexas, côncavo-convexas e convexa-retílinea, algumas destas se apresentam dissecadas devido a processos erosivos que ocorrem na área.

### 3.5 GEOLOGIA

Geologicamente, a área da bacia insere-se no contexto de uma única formação, a Formação Pirambóia (*Tr-J*), pertencente ao Grupo São Bento, sendo caracterizada por depósitos fluviais, de planície de inundação e por arenitos de granulação média a fina, possuindo fração argilosa maior na parte inferior que na superior, onde localmente ocorrem arenitos grossos, conglomeráticos (SANTORO, 1991; PEJON, 1992).

Estruturalmente, há o predomínio de estratificação plana paralela, observando-se alternância de lâminas com moderadas quantidades de argila e silte. Também se observa

estratificação cruzada de pequeno a médio porte, principalmente onde o arenito se encontra pouco alterado.

Também estão presentes na área sedimentos aluvionares, constituídos por materiais muito arenosos, freqüentemente de granulometria variando de fina a média, situada próximo aos canais fluviais.



## Capítulo 4

# METODOLOGIA

---

Para a realização deste trabalho utilizou-se a *Metodologia da EESC-USP* (ZUQUETTE, 1987 e 1993), cujo objetivo consiste na avaliação e especificação das unidades geotécnicas por meio de levantamento e análise de informações já produzidas, reconhecimento dos atributos, realização de ensaios e identificação das unidades homogêneas.

O desenvolvimento deste trabalho seguiu basicamente cinco etapas, descritas a seguir e apresentadas na **Figura 17**.

### 4.1 OBTENÇÃO DAS INFORMAÇÕES

A primeira fase desta etapa consistiu no levantamento bibliográfico acerca dos processos erosivos, sua caracterização e métodos de investigação, para uma melhor compreensão destes na área. Também, foi feita uma análise preliminar das características geológicas e geomorfológicas da bacia.

Concomitantemente, fez-se a digitalização das curvas de nível com equidistâncias de 5m, a partir da articulação das folhas planialtimétricas do Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo, na escala 1:10.000, ano 1979 (São Pedro III, Ribeirão da Grama, Águas de São Pedro I e Águas de São Pedro II) para a obtenção do mapa base.

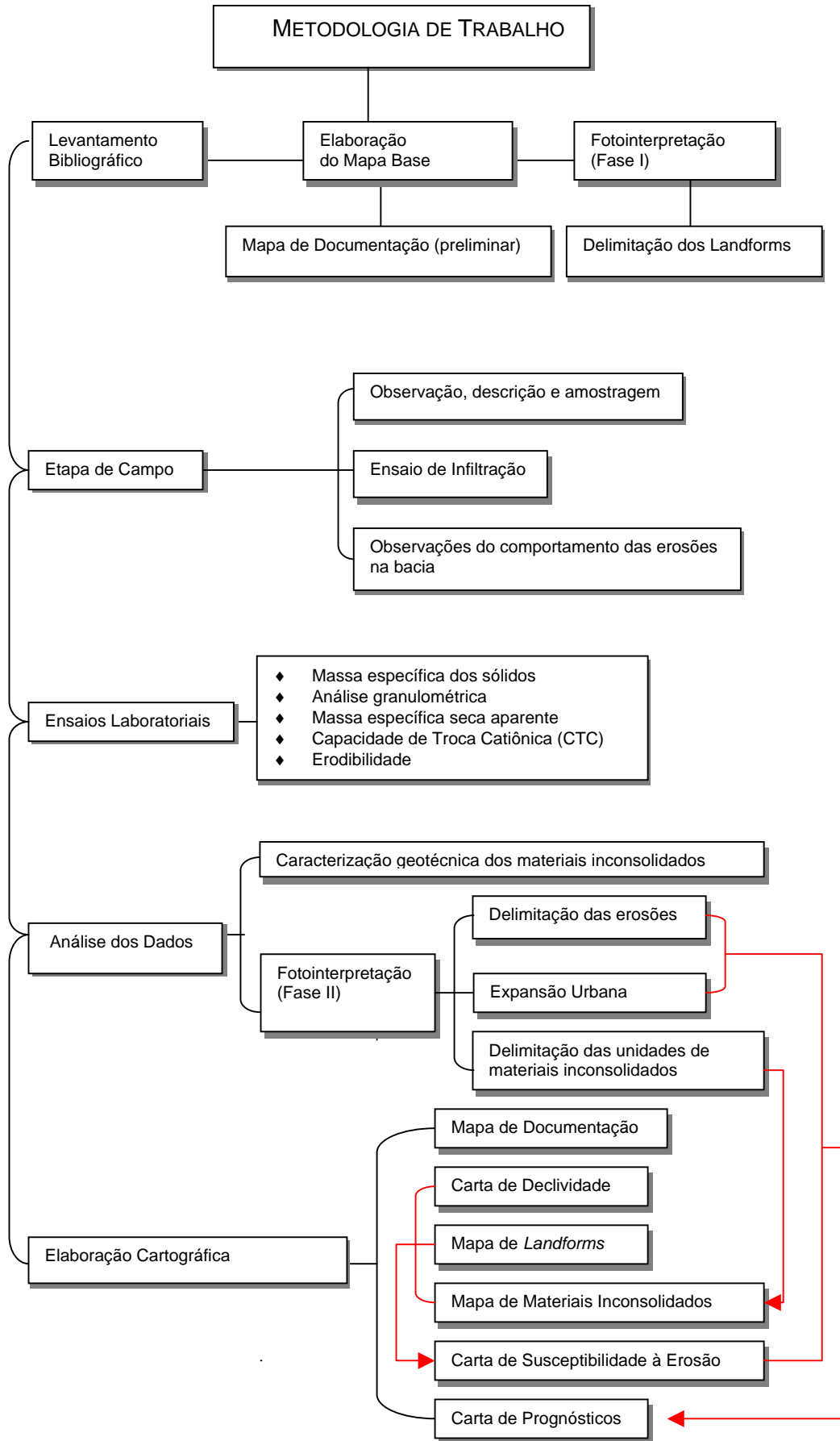


FIGURA 17 - Seqüência esquemática para o desenvolvimento do trabalho.

Na segunda fase desta etapa trabalhou-se na fotointerpretação (fotografias áreas do 1972 e 1995, ambas na escala de 1:25.000, sobrevôo do Instituto Brasileiro do Café – IBC e BASE, respectivamente) para a determinação das características de homogeneidade geológico-geotécnica da área estudada e delimitação dos *landforms*. Posteriormente estas informações foram transferidas para o mapa básico com o auxílio do Aero-Sketchmaster e utilizadas na etapa de campo.

## **4.2 OBSERVAÇÃO, DESCRIÇÃO E AMOSTRAGEM - ETAPA DE CAMPO**

A etapa de campo permitiu o reconhecimento das unidades previamente definidas na fotointerpretação, descrição de perfis de alteração, coleta de amostras deformadas e indeformadas para os ensaios de caracterização geotécnica. Ainda nesta fase fez-se o cadastramento das erosões presentes através do uso de GPS, assim como ensaios de infiltração nos locais onde os processos erosivos são mais atuantes, ou seja, na porção norte da bacia.

Paralelamente à observação, descrição e amostragem, foi feita uma análise espacial dos processos erosivos na bacia, de acordo com o tipo de material geológico, suas espessuras, declividade e forma das encostas, e dos efeitos causados pelas chuvas no período de estudo desta pesquisa.

A escolha dos locais de coleta de amostras foi feita, levando-se em conta, os diferentes elementos de terreno (*landforms*) presentes na área, perfil de alteração dentro das erosões e cortes de taludes, assim como pela espessura do material.

### **4.2.1 ENSAIO DE INFILTRAÇÃO**

TUCCI (1993) define infiltração como a passagem de água da superfície para o interior do solo, sendo um processo que depende, além de água disponível para infiltrar, da natureza do solo, do estado de sua superfície e das quantidades de água e ar, inicialmente presentes no seu interior. À medida que a água se infiltra pela superfície, as camadas superiores do solo vão se umedecendo de cima para baixo, alterando gradativamente o perfil de umidade. Ainda segundo este autor em um solo natural o fenômeno da infiltração pode ser mais complexo se os diversos horizontes tiverem textura e estruturas diferenciadas, apresentando comportamento hidráulico diferentes.

Na área foram realizados 4 ensaios, utilizando o Infiltrômetro de Anel Duplo. Trata-se de dois cilindros metálicos de 3mm de espessura, com dimensões de 30cm de altura por 30cm de diâmetro (cilindro interno) e 25cm de altura por 60cm de diâmetro (cilindro externo), e apresentam uma das bordas biseladas para facilitar a penetração no solo. Os ensaios foram executados seguindo as especificações da ASTM D-3385/88.

Este ensaio consiste na determinação da taxa de infiltração de água no solo que varia com o tempo e na determinação da condutividade hidráulica a partir dos dados obtidos, sendo esta calculada através da equação:

$$K = \frac{Q}{\left(\frac{H + Z}{Z}\right) \cdot A \cdot t}$$

Onde,

K: Condutividade hidráulica saturada de campo;

Q: Volume de água infiltrado no solo;

H: Profundidade de água no anel quando ensaiado a regime constante;

Z: Profundidade da frente de saturação;

A: Área transversal do anel;

t: Tempo entre as duas medidas.

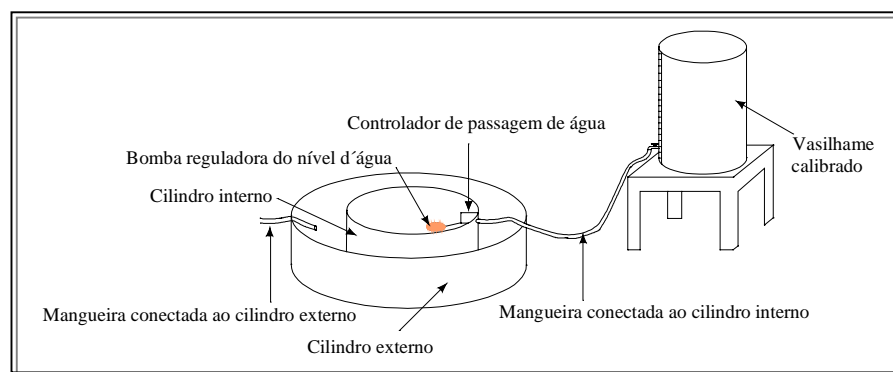
O ensaio do Infiltrômetro de Anel Duplo, basicamente, é executado da seguinte maneira:

- ◇ Os cilindros são cravados no solo de modo a não perturbar de modo brusco a estrutura deste;
- ◇ Coloca-se água no cilindro interno até que se forme uma lâmina de 7,5cm de altura e entre os cilindros interno e externo de 5cm.
- ◇ Com auxílio de uma régua graduada, lê-se o posicionamento do nível d'água aos 1, 2, 3, 4, 5, 10, 20, 30, 45, 60, 90 e 120 minutos e, se for preciso, continua-se a leitura em intervalos de 1 hora até que a velocidade determinada de entrada de água no solo seja praticamente constante.

Na execução dos ensaios para esta pesquisa, fez-se, paralelamente ao desenvolvimento do ensaio, gradagem de 20 em 20cm de profundidade a uma distância

de aproximadamente 2m do local onde estavam cravados os cilindros, a fim de se obter a umidade do solo seco. Ao término do ensaio, outra tradagem foi feita, porém na região central do cilindro interno, com intervalos de 10 em 10cm, para obtenção da umidade do solo saturado.

A **Figura 18** mostra esquematicamente os equipamentos utilizados na realização do ensaio de infiltração pela técnica do infiltrômetro de anel duplo.



**FIGURA 18** - Equipamentos para o ensaio de infiltração.

### 4.3 ENSAIOS LABORATORIAIS

Para a caracterização geotécnica dos materiais geológicos constituintes da bacia do Córrego do Tuncum foram realizados os ensaios em laboratório e *in situ*, executados de acordo com as normas técnicas e recomendações estabelecidas.

A massa específica dos sólidos ( $\rho_s$ ) e a granulometria conjunta foram determinadas segundo as normas técnicas da ABNT – NBR6508/84 e NBR7181/84 respectivamente. A massa específica aparente seca ( $\rho_d$ ) foi obtida a partir de método proposto por ZUQUETTE (1987) que consiste na retirada de amostra inderfomada utilizando um anel de PVC, com uma das bordas biselada, com 10cm de diâmetro por 5cm de altura

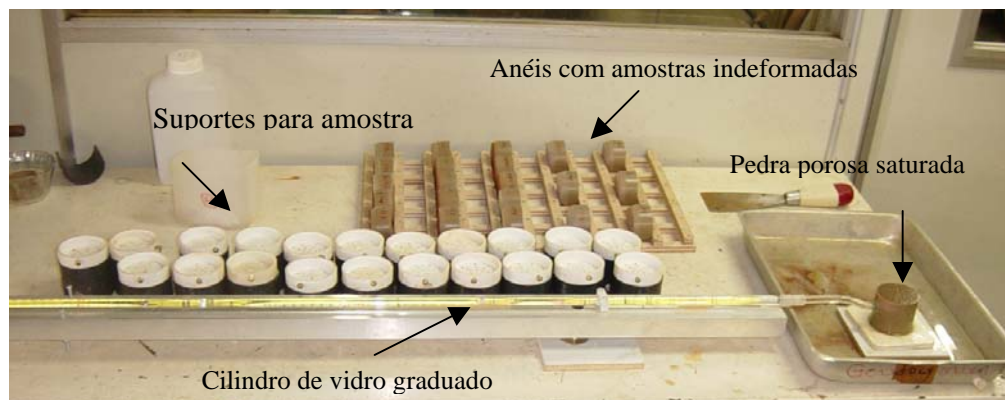
O ensaio de adsorção de azul de metileno foi desenvolvido por LAN (1977) e modificado por PEJON (1992) quanto à fração granulométrica e à concentração de azul

de metileno. Este ensaio permitiu a determinação da Capacidade de Troca Catiônica (CTC) e da Superfície Específica (SE) dos argilominerais através da adsorção de um corante orgânico (azul de metileno) numa suspensão contendo água destilada e solo. O Índice de Atividade da fração argilosa (Acb) também foi determinado com os dados obtidos neste ensaio.

Dentre os ensaios laboratoriais para caracterização dos materiais inconsolidados com relação à problemática erosiva, cita-se o *Ensaio de Erodibilidade*, proposto por NOGAMI & VILLIBOR (1979) e modificado por PEJON (1992) quanto ao cálculo do índice de erodibilidade.

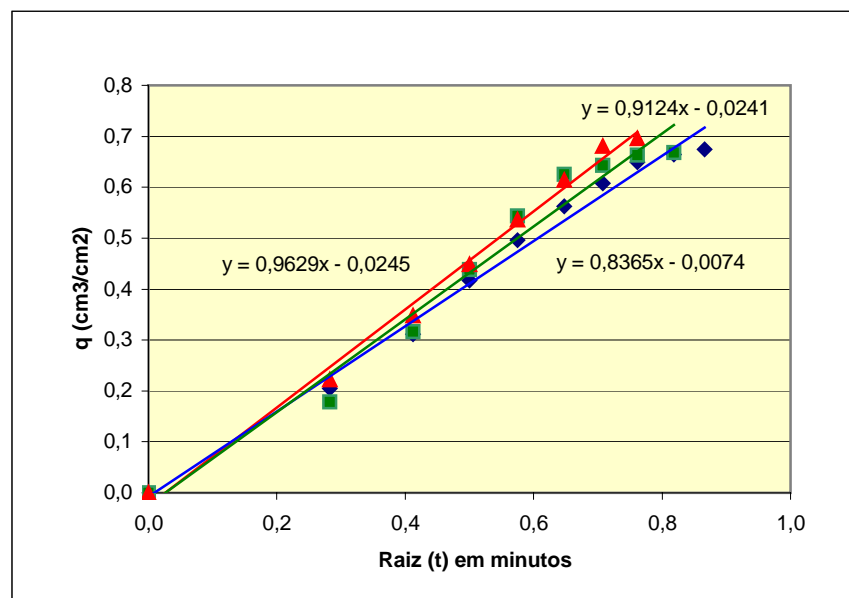
Este método baseia-se em dois ensaios bem simples (absorção de água e perda de massa por imersão), que utilizam amostras indeformadas obtidas com o uso de anéis de PVC ( $\phi = 5\text{cm}$  e  $H=2,5\text{cm}$ ), tendo uma das pontas biselada. Após a secagem das amostras ao ar e na sombra por no mínimo sete dias, executa-se os dois ensaios.

◇ **Ensaio de Absorção de Água:** o anel com a amostra é colocado sobre uma pedra porosa saturada, revestida com um cilindro de PVC com o mesmo diâmetro daquele que contém a amostra. Este cilindro está ligado a um conduto de vidro horizontal graduado e completo com água. Concomitantemente a absorção de água pela amostra faz-se leituras do volume de água absorvida por intervalo de tempo até que a amostra fique saturada. A **Figura 19** mostra os materiais e equipamentos utilizados na realização do ensaio de absorção.



**FIGURA 19** - Materiais utilizados no ensaio de absorção de água.

A obtenção do índice de absorção (S) é feita a partir de um gráfico contendo o volume de água absorvida por unidade de área da base do corpo de prova (q) em função da raiz quadrada do tempo ( $\sqrt{t}$ ). A distribuição dos pontos se dá ao longo de uma reta, cujo coeficiente angular desta vem a ser o índice de absorção (S), como apresentado na **Figura 20**.



**FIGURA 20** - Gráfico de obtenção para o índice de absorção.

◇ **Ensaio de Perda de Massa por Imersão:** após o ensaio de absorção, o anel é agregado a um recipiente cilíndrico e, imergido cuidadosamente em um tanque completo com água, de modo que o topo da amostra fique na horizontal. Depois de imergida completamente, gira-se o conjunto até que o topo da amostra fique na posição vertical, sendo o conjunto assentado num recipiente adequado (**Figura 21**). A amostra permanece nesta posição por 24 horas, coletando-se o material desprendido em um recipiente previamente colocado no tanque, sendo este levado a estufa, determinando-se posteriormente a perda de peso inicial seco da amostra (P).



**FIGURA 21** - Ensaio de perda de massa por imersão.

Este trabalho seguiu a proposta de PEJON (1992) por ser a mais adequada às características geotécnicas da área de pesquisa.

Desse modo, a partir dos valores de S e P, encontra-se o valor do índice de erodibilidade (E).

Se o valor obtido para E for menor que 1, considera-se que o material inconsolidado apresenta-se com alta susceptibilidade à erosão, o inverso ocorrendo para valores maiores que 1.

#### **4.4 ANÁLISE DOS DADOS**

A análise dos dados obtidos com as observações de campo, fotointerpretação e com os ensaios laboratoriais e *in situ* (ensaio de infiltração), permitiu definir e caracterizar as unidades de materiais inconsolidados da bacia do córrego Tuncum.

Ainda com auxílio da fotointerpretação, fez-se a delimitação das feições erosivas da área e da expansão urbana para os anos de 1972, 1995 e 2000. Procurando-se analisar desta forma, o efeito que esta expansão poderia causar no desenvolvimento das feições erosivas.

Todas as informações fotointerpretadas foram transferidas para o mapa base com auxílio do equipamento de Aero-Sketchmaster, para posterior elaboração dos documentos cartográficos representativos da área.



## 4.5 ELABORAÇÃO CARTOGRÁFICA

Para um melhor tratamento dos dados, assim como explorar o potencial de cruzamento das informações, foram utilizados os recursos presentes nos Sistemas de Informações Geográficas, através de programas como AUTOCAD<sup>®</sup>, SURFER7 e IDRISI 32, os quais permitiram a geração dos seguintes documentos cartográficos:

- ✧ Mapa de Documentação;
- ✧ Mapa de *Landforms*;
- ✧ Mapa de Materiais Inconsolidados;
- ✧ Carta de Declividade;
- ✧ Carta de Susceptibilidade à Erosão;
- ✧ Carta de Prognóstico ao desenvolvimento de erosões lineares.

Todos os documentos acima citados foram elaborados na escala 1:10.000, para que se pudesse obter um melhor detalhamento das características geotécnicas da área.

## *Capítulo 5*

### **DOCUMENTOS CARTOGRÁFICOS ELABORADOS**

---

---

Para este trabalho foram elaborados os seguintes documentos cartográficos: Mapa de Documentação, Mapa de *Landforms*, Carta de Declividade, Mapa de Materiais Inconsolidados, Carta de Susceptibilidade à Erosão e Carta de Prognóstico, todos na escala 1: 10.000.

#### **5.1 MAPA DE DOCUMENTAÇÃO (ANEXO I)**

Este mapa foi elaborado a partir de uma base cartográfica formada pela articulação das folhas São Pedro III (SF-23Y-A-IV-1-NO-D), Ribeirão da Grama (SF-23Y-A-IV-1-NE-C), Águas de São Pedro I (SF-23Y-A-IV-1-NO-F) e Águas de São Pedro II (SF-23Y-A-IV-1-NE-E), todas na escala 1:10.000. Estas folhas foram georreferenciadas e colocadas em escala através do programa AUTOCAD<sup>®</sup>, tendo sido posteriormente digitalizadas, com curvas de nível apresentando equidistâncias de 5m.

O mapa de documentação é um documento auxiliar cuja importância consiste no registro pontual das informações produzidas durante o mapeamento geotécnico, sejam elas qualitativas ou quantitativas.

Os dados produzidos e lançados neste mapa totalizaram 64 pontos dos quais 36 são de observação/descrição, 18 foram para amostragem (no total de 31 amostras), 2 pontos de localização de feição erosiva que não tiveram seu contorno delimitado e 2

pontos referentes à feições erosivas não contornadas, mas amostradas (2 amostras) e 4 pontos referentes aos ensaios de infiltração, onde também foram retiradas amostras. A distribuição dos pontos na área foi feita com objetivo de observar e analisar os processos erosivos e o tipo de material geológico a eles associados.

No mapa observam-se duas áreas com concentrações de pontos, que por apresentarem características distintas em relação ao processo erosivo e ao material geológico são descritas a seguir:

- *Norte da bacia*: as observações de campo (10 pontos observação/descrição) e ensaios laboratoriais e *in situ* (12 pontos de coleta de amostra e 4 ensaios de infiltração) apresentam esta porção como sendo de alta susceptibilidade aos processos erosivos, tendo sido catalogadas 5 feições de grande porte, das quais 4 se apresentam em estado ativo e avançado.
- *Sudeste da bacia*: trata-se de uma área com predomínio de rocha que varia de são a pouco alterada, onde o desenvolvimento de processos erosivos ainda é pequeno. Por ser uma área de pastagem, as observações de campo (13 pontos observação/descrição) mostraram somente a presença de trilhas feitas por gado. Nesta porção foram coletadas amostras em apenas 2 pontos.

## 5.2 MAPA DE LANDFORMS (ANEXO II)

LOLLO (1996) define *landform* como sendo uma porção do terreno originada por processos naturais e distinguíveis de suas unidades vizinhas em pelo menos um dos seguintes elementos de identificação: forma e posição topográfica, organização e densidade de drenagem, declividade do terreno, amplitude e forma de encostas.

A associação entre os *landforms* e os materiais geológicos que compõem o meio físico tem permitido a avaliação do terreno como critério de caracterização das condições geotécnicas. O zoneamento do terreno em termos de *landforms* pode ser feito em três níveis hierárquicos, denominados de sistemas de terreno, unidade de terreno e elementos de terreno, os quais apresentam-se definidos a seguir:

- ✓ *Sistema de Terreno*: associações de feições do relevo que apresentam condições similares de processos evolutivos e materiais rochosos associados;
- ✓ *Unidade de Terreno*: representa uma feição individual do relevo que se distingue por apresentar determinado subconjunto de processos, diferentes dos demais. Assim, a delimitação é feita baseando-se nas características morfológicas como a inclinação da vertente, amplitude do relevo, forma topográfica e característica de estruturação da drenagem;
- ✓ *Elemento de Terreno*: corresponde a menor subdivisão de um terreno, baseando-se na inclinação ou formas das vertentes, posição ou forma topográfica do elemento.

Desse modo, a elaboração deste mapa foi feita a partir da aplicação da Técnica de Avaliação do Terreno, proposto por LOLLO (1996), que objetiva o levantamento das condições naturais do terreno, dividindo-o em unidades homogêneas, ou com heterogeneidades aceitáveis, permitindo um zoneamento em termos de feições do relevo e suas associações com os diferentes tipos de materiais inconsolidados.

Em função da escala adotada neste trabalho (1:10.000), optou-se em trabalhar com os níveis unidade e elementos de terreno. Assim, a partir da fotointerpretação (fotografias aéreas de 1995, sobrevôo da BASE, escala 1:25.000), transferiu-se as informações para o mapa base, utilizando o equipamento de Aero-Sketchmaster. Posteriormente, as unidades e elementos de terreno foram digitalizados com o auxílio do programa AUTOCAD<sup>®</sup>.

Para a bacia do córrego Tuncum foram individualizadas 4 unidades de terreno e 16 elementos, os quais se encontram descritos a seguir:

- ✧ **UNIDADE A**: Colinas médias, com topos planos e alongados (A1) e topos subangulosos (A2), apresentando encostas predominantemente convexas (A4), porém também ocorrem, em menor proporção, encostas côncavas (A3) e encostas côncavas-convexas (A5). Esta unidade apresenta espesso pacote de material retrabalhado e perfis residuais pouco evoluídos (rocha sã a pouco alterada), porém com grande espessura.

- ✧ **UNIDADE B:** Vales abertos, com fundo plano, apresentando média frequência de canais. Esta unidade indica a presença de sedimentos aluviais de pequena espessura.
- ✧ **UNIDADE C:** Colinas médias, com topos aplainados (C4), predominando encostas combinadas (côncava-convexa-retilínea) mostrando-se bastante dissecadas (C1) devido à dinâmica dos processos erosivos nesta parte da bacia, seguida de encostas convexas-retilíneas (C3). Também se observam encostas convexas (C2), côncavas-convexas (C5) e côncavas (C6). Os materiais inconsolidados apresentam pacotes espessos e perfis residuais bem evoluídos. Nesta ocorrem os maiores problemas relacionados à erosão, e onde se encontram as feições erosivas mais críticas da bacia.
- ✧ **UNIDADE D:** Colinas médias, com predomínio de topos subangulosos e alongados (D5) e topo plano (D1) em menor proporção. As encostas são predominantemente convexas (D2), ocorrendo também encostas retilíneas (D4) e côncava (D3). Esta unidade apresenta espessura que variam de 2m à 7m de material retrabalhado e perfis residuais pouco evoluídos com espessuras de material inconsolidado residual inferior a 2m.

## 5.2 CARTA DE DECLIVIDADE (ANEXO III)

A carta de declividade contém informações acerca da variação do relevo da região expressa em porcentagem, tendo sido obtida para este trabalho através da utilização dos programas AUTOCAD<sup>®</sup>, SURFER 7.0 e IDRISI32, procedendo de acordo com as etapas a seguir:

➤ No AUTOCAD<sup>®</sup>:

O mapa base foi digitalizado e georreferenciado numa área quadrada, extrapolando os limites da bacia para evitar problema na geração do modelo digital de terreno (MDT).

Exportaram-se as curvas de nível e os pontos de cota (com suas respectivas elevações) utilizando-se o comando *EXPORT* e salvando em \*.dxf (AUTOCAD R12/LT2DXF). A partir deste arquivo fez-se a conversão para o formato \*.dat através do programa conversor DXF2DAT.

➤ No SURFER 7.0:

O arquivo com extensão \*.dat foi inicialmente aberto para verificar a existência de curvas com elevação zero. Foram encontradas algumas, as quais foram corrigidas (dando-se o valor da elevação), voltando-se ao programa AUTOCAD 14 e refeito o procedimento acima descrito.

A partir do comando *GRID* → *DATA*, selecionou-se o arquivo \*.dat. Foram testados vários métodos de interpolação, sendo o que melhor se adaptou, tanto em rapidez, como em melhor representatividade foi o método de *Triangulação com Interpolação Linear*, adotando-se um espaçamento de 5x5 metros, devido a escala adotada para este trabalho ser de detalhe. Salvou-se o arquivo no formato GS ASCII (\*.grid).

➤ No IDRISI 32:

Importou-se o arquivo \*.grid utilizando-se os comandos *FILE* → *IMPORT* → *SOFTWARE* → *SPECIFIC FORMATS* → *SRFIDRIS*, criando um arquivo neste sistema. De posse deste arquivo gerou-se uma carta de declividade generalizada utilizando os comandos *ANALYSIS* → *CONTEXT OPERATOR* → *SURFACE* → *TOPOGRAPHIC VARIABLES* → *SLOPE*. A partir deste novo arquivo, fez-se a reclassificação através dos comandos *ANALYSIS* → *DATA BASE QUERY* → *RECLASS*.

A partir desta reclassificação gerou-se a carta de declividade para a área, sendo que a definição dos intervalos das classes foi feita baseando-se na melhor representatividade dos aspectos de variação topográfica da área, obtendo-se 7 classes de declividade (**Tabela 7**).

TABELA 7 – Classes de Declividades adotadas para a área da Bacia do Córrego Tuncum.

CLASSES DE DECLIVIDADE	PORCENTAGEM (%)
1	< 2%
2	2 – 5%
3	5 – 10%
4	10 – 20%
5	20 – 30%
6	30 – 50%
7	> 50%

A classe 1 apresenta terrenos planos ou ligeiramente planos, o que possibilita um escoamento superficial muito lento, não acarretando maiores problemas com relação à erosão. As classes 2 e 3 estão associadas a encostas com inclinações muito suaves, com escoamento superficial lento a médio, contudo, a classe 3 apresenta problemas erosivos, nas porções norte e leste da bacia, devido, principalmente, as características do material geológico presente, visto que nas outras áreas com estas declividades feições erosivas são praticamente inexistentes.

As classes 4, 5, 6 e 7 caracterizam-se por terrenos ligeiramente inclinado à inclinados, nos quais o escoamento superficial pode ocorrer de forma rápida, dificultando a infiltração, sendo que este fator associado a materiais altamente susceptíveis à erosão, como por exemplo aqueles situados na porção norte, facilita a formação de feições erosivas.

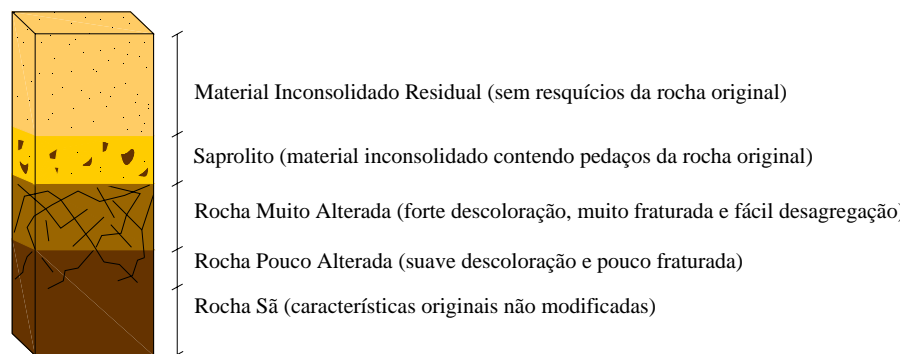
### 5.3 MAPA DE MATERIAIS INCONSOLIDADOS (ANEXO IV)

As unidades homogêneas que constituem o mapa de materiais inconsolidados foram divididas preliminarmente através da interpretação de fotografias aéreas e da delimitação dos *Landforms*. Nesta etapa se estabeleceu uma classificação genética separando os materiais em *residuais*, resultantes da decomposição da rocha e evoluídos *in situ*, e *retrabalhados*, materiais que sofreram algum tipo de transporte ou retrabalhamento após a decomposição da rocha fonte.

Posteriormente, utilizaram-se os dados obtidos no trabalho de campo e por meio dos resultados de ensaios de laboratório (**Tabela 8**), de infiltração e de erodibilidade,

classificando os materiais inconsolidados de acordo com seus aspectos texturais, genéticos e de diferentes espessuras.

Para os materiais inconsolidados residuais presentes na área adotou-se o perfil de alteração representado na **Figura 22**.



**FIGURA 22** - Perfil de alteração esquemático utilizado para caracterizar os materiais inconsolidados residuais.

Considerando este perfil, as unidades de material inconsolidado residual foram caracterizadas em:

- Residual pouco evoluído (Rsp) - pacote contendo rocha sã e/ ou rocha pouco ou moderadamente alterada;
- Residual medianamente evoluído (Rsm) – pacote contendo rocha muito alterada e/ou saprólito;
- Residual bem evoluído (Rsb) – pacote contendo rocha muito alterada, saprólito e material inconsolidado residual.

A partir da análise de todas as informações obtidas foram individualizadas onze unidades de materiais residuais e sete de materiais retrabalhados.



- ✧ **UNIDADE RSb1**: unidade localizada ao norte da bacia, sendo constituída por materiais residuais de textura arenosa, com predomínio da fração areia média e contendo menos de 20% de finos (teor de silte maior que de argila). Apresentam coloração que varia de róseo esbranquiçado a amarronzado, com espessuras entre 5 a maiores que 20m. Trata-se de materiais altamente susceptíveis aos processos erosivos e encontram-se instalados nas feições erosivas mais críticas presentes na área (B e D) (**Figura 23**). Sobre este se instala materiais retrabalhados pertencentes à unidade Rt1, sendo que entre estes se encontrou uma linha de seixo de aproximadamente 10cm de espessura e que se apresentava de forma descontínua ao longo da encosta.



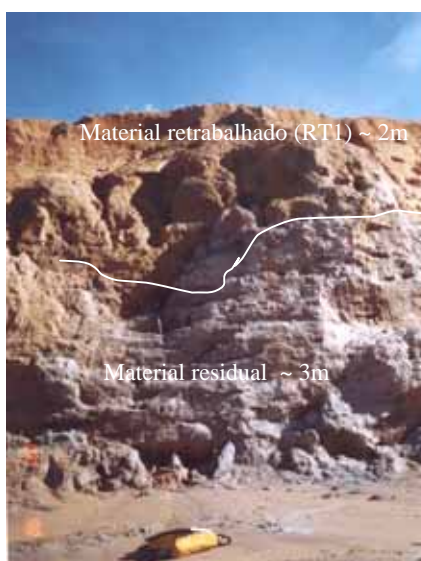
**FIGURA 23** - Materiais inconsolidados representativos das unidades Rsb1 e RT1 instalados na feição erosiva B (Ponto 56).

**TABELA 8 - Resultados dos ensaios laboratoriais**

UNIDADE	GRANULOMETRIA (%)						ÍNDICES FÍSICOS				AZUL DE METILENO					
	ARGILA	SILTE	AREIA			$\rho_s$ g/cm <sup>3</sup>	$\rho_d$ g/cm <sup>3</sup>	e	n %	VB (g/100g solo)	ACB (g/100g argila)	CTC (meq/100g)		SUPERFÍCIE ESPECÍFICA (m <sup>2</sup> /g argila)		
			F	M	G							Solo	Argila	Solo	Argila	
Rsb1	MIN	1,4	1,7	18,2	43,5	1,4	2,644	1,577	0,55	35	0,19	4,48	0,25	14,00	1,93	109,55
	MAX	7,3	9,7	39,0	75,3	7,8	2,710	1,681	0,69	41	0,52	5,63	1,62	<b>22,16</b>	12,66	173,42
Rsb2	MIN	1,8	0,4	30,0	45,0	3,3	2,615	1,559	0,45	31	0,08	2,46	0,24	7,68	1,87	60,09
	MAX	13,1	3,7	42,0	60,0	6,7	2,670	1,728	0,70	41	0,34	4,25	1,07	13,27	8,39	103,88
Rsb3	MIN	10,6	1,1	26,0	48,7	3,3	2,629	1,420	0,57	36	0,06	2,79	0,18	8,71	1,38	68,18
	MAX	13,5	1,8	32,9	88,3	6,7	2,678	1,655	0,85	46	0,38	4,33	1,18	13,54	9,20	105,97
Rsb4	*	5,5	1,2	48,3	45,0	0,0	2,674	-	-	-	0,19	3,41	0,39	10,65	4,59	83,38
Rsb5	*	17,5	4,5	55,0	22,4	0,6	2,674	1,432	0,87	46	1,18	6,72	3,68	21,02	28,79	164,51
Rsm1	*	18,2	3,1	55,7	23,0	0,0	2,695	1,597	0,69	41	1,88	10,33	5,88	32,29	46,0	252,75
Rsp2	*	11,6	4,9	44,5	37,9	1,1	2,674	1,674	0,58	36	1,67	14,36	5,21	44,90	40,77	351,46
Rt1	MIN	9,4	0,1	29,4	45,0	1,9	2,623	1,405	0,62	39	0,19	2,05	0,60	6,39	4,71	50,05
	MAX	15,0	3,7	40,5	54,4	5,0	2,700	1,617	0,75	48	0,42	3,08	1,30	9,63	10,18	75,39
Rt2	MIN	7,1	0,7	32,0	38,9	1,1	2,650	1,486	0,72	42	0,08	1,13	0,25	3,54	1,97	27,74
	MAX	11,6	1,6	49,0	54,0	4,0	2,706	1,572	0,79	44	0,19	2,45	0,60	7,65	4,69	59,90
Rt3	MIN	6,7	1,3	33,7	50,0	5,0	2,634	1,505	0,65	39	0,15	2,22	0,47	6,96	3,65	54,44
	MAX	7,7	3,5	33,8	53,0	5,0	2,715	1,596	0,80	45	0,18	2,30	0,55	7,20	4,34	56,34
Rt4	*	7,8	2,2	28,0	37,0	5,0	2,638	1,647	0,61	38	0,19	2,41	0,39	7,59	4,60	58,99
Rt5	MIN	10,6	0,6	45,7	39,3	0,7	2,665	1,513	0,59	37	0,19	1,78	0,59	5,56	4,61	43,51
	MAX	11,3	0,7	48,1	42,1	0,9	2,689	1,685	0,76	43	0,30	2,68	0,95	8,37	7,40	65,50
Rt6	*	19,8	2,4	52,8	25,0	0,0	2,647	1,465	0,84	45	0,98	4,95	3,06	15,47	23,97	121,07

\* Amostra única - Não foi coletada amostra para este ensaio

- ✧ **UNIDADE RSB2**: unidade representativa de uma pequena porção lateral da feição erosiva B e dentro da feição erosiva C. Material residual, apresentando textura arenosa (granulometria areia média), com pouca expressão de finos e coloração amarelo esbranquiçado. Na feição erosiva A, sua espessura é de aproximadamente 3m, enquanto na C, esta chega no máximo a 1,5m (**Figura 24**).



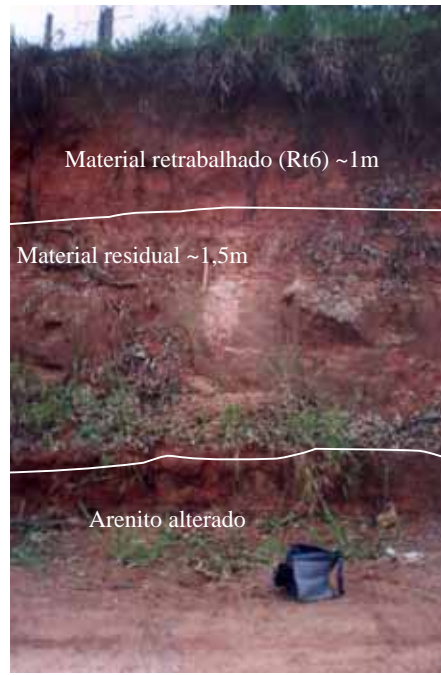
**FIGURA 24** - Materiais inconsolidados representativos das unidades Rsb2 e RT1 instalados na feição erosiva B à jusante (Ponto 03).

- ✧ **UNIDADE RSB3**: unidade presente à montante da feição erosiva C, sendo constituída por material residual muito arenoso, com predomínio da fração areia média e porcentagem de finos < 20% (teor de argila>silte). Apresenta coloração rósea esbranquiçada à amarronzada, com espessura aproximada de 20m (**Figura 25**).



**FIGURA 25** - Materiais inconsolidados representativos das unidades Rsb3 e RT1 instalados na feição erosiva C à montante (Ponto 10).

- ✧ **UNIDADE RSB4**: unidade presente na porção leste da bacia, constituída de material residual de textura arenosa (granulometria areia média), pouca expressão de finos e coloração roxo acinzentado. A espessura máxima encontrada para esta unidade foi 5,5m.
- ✧ **UNIDADE RSB5+RT6**: unidade situada ao sul da bacia, sendo constituída por material residual arenoso (granulometria areia fina predominante), porcentagem de finos significativa, sendo >20% com predomínio de argila sobre silte. Apresenta coloração avermelhada e espessuras que variam de 1,5 à 5m. Este material é recoberto por um material retrabalhado de textura arenosa (predomínio da fração areia fina), porcentagem de finos maior que 20%, com maior teor de argila. A coloração é vermelha escura e suas espessuras variam de 0,5m a 2m (**Figura 26**).



**FIGURA 26** - Materiais inconsolidados representativos das unidades Rsb5 e RT6 próximos a ao limite com a cidade de Águas de São Pedro (Ponto 42).

- ✧ **UNIDADE RSPI**: Corresponde a uma faixa situada na porção central da bacia, sendo constituída por arenito fino pouco alterado, de coloração alaranjada, com espessura que variam de 2 a 3m. Possivelmente fator de estagnação da feição erosiva B (**Figura 27**).



**FIGURA 27** – Arenito Pirambóia localizado a jusante da feição erosiva B (Ponto 59)

- ✧ **UNIDADES RSP2**: Unidade contendo arenito fino, pouco alterado, com estratificação plano paralela, apresentando coloração avermelhada e com espessuras variando entre 2 e 10m.
- ✧ **UNIDADES RSP3**: Unidade apresentando arenito fino moderadamente alterado, de coloração variando de vermelha a rósea esbranquiçada, possuindo espessuras pequenas, entre 0,5 e 1,5m.
- ✧ **UNIDADES RSP4**: Unidade apresentando o mesmo arenito da unidade Rsp3, porém mostrando tons amarelado na coloração e espessura que chegam aproximadamente a 15m .
- ✧ **UNIDADE RSM1**: unidade localizada da porção sudeste da bacia, sendo constituída por um saprólito contendo material arenoso (predominância da fração areia fina) com teor de argila em torno de 18%, de coloração acinzentada e espessura entre 2 e 7m.
- ✧ **UNIDADE RSM2**: unidade localizada da porção centro-sudeste da bacia, sendo constituída por um arenito bastante alterado, de textura arenosa fina e de coloração variando de róseo esbranquiçado a amarelado. A espessura máxima encontrada na área foi de 2m.
- ✧ **UNIDADE RT1**: unidade ocupando a parte nordeste, norte e noroeste da bacia, assumindo cerca de 15% desta, recobrando as unidades Rsb1, Rsb2 e Rsb3. Material retrabalhado de textura arenosa, com predomínio da fração areia média e porcentagem de fino ao redor de 20%. Apresenta coloração amarronzada e espessura variando de 2 a 10m (**Figuras 23, 24 e 25**).
- ✧ **UNIDADE RT2**: unidade ocupando a porção nordeste, sudoeste e sul da bacia , sendo a que apresenta maior expressividade na área, 25% desta. Trata-se de material retrabalhado apresentando textura arenosa (predomínio da fração areia fina), e com finos <20%. Possui coloração avermelhada e espessura variando de 0,8m à 7m. Recobre as unidades Rsp4 e Rsp5 (**Figura 28**).



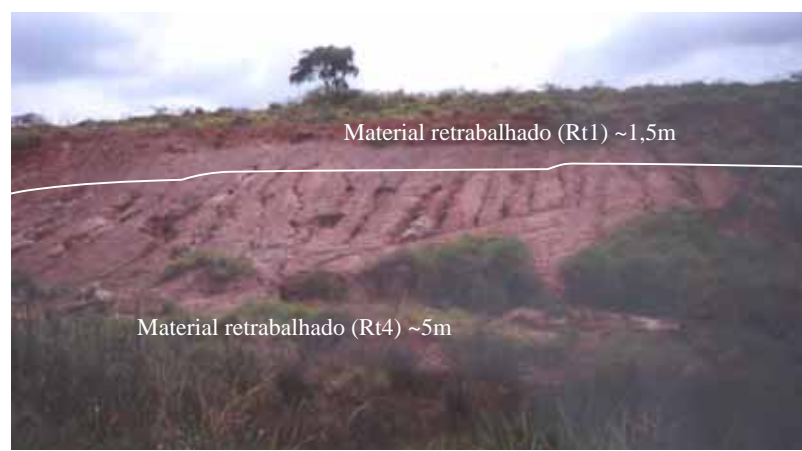
**FIGURA 28** – Material re trabalhado pertencente à unidade Rt2 (Ponto 02).

- ✧ **UNIDADE RT3**: unidade presente na porção centro-leste da bacia, ocupando cerca de 13% desta. É constituída por material re trabalhado de textura arenosa, com fração areia média predominante e porcentagem de finos ao redor de 10%. Possui coloração amarronzada e apresenta espessuras variando de 0,5 a 5m. Recobre as unidades Rsp1, Rsp2 e Rsp3 (**Figura 29**).



**FIGURA 29** – Material re trabalhado próximo à estrada para Charqueada (Ponto 19).

- ✧ **UNIDADE RT4:** unidade instalada na feição erosiva C, contendo material de textura arenosa (granulometria areia média predominante), e porcentagem de finos <10%. Observa-se neste material a presença de pequenos pedaços de argilitos e siltitos. Possui coloração rósea esbranquiçada e espessura variando de 3 a 5m. Recobre parcialmente a unidade Rsb2 presente nesta porção (**Figura 30**).



**FIGURA 30** – Material retrabalhado situada na feição erosiva C (Ponto 08)

- ✧ **UNIDADE RT5:** corresponde a uma faixa situada no extremo leste da bacia, ocupando cerca de 5% da área desta, recobrimdo as unidades Rsb4 e Rsp3. Unidade constituída por material de textura muito arenosa (granulometria areia fina predominante) e porcentagem de finos inferior a 10%. Possui coloração avermelhada apresenta espessura em torno de 5m (**Figura 31**).





**FIGURA 31** – Material retrabalhado situado na fazenda São Sebastião (Ponto 49).

- ✧ **UNIDADE AL**: Corresponde aos materiais aluvionares que se estendem ao longo das margens dos rios. Apresenta textura muito arenosa, de coloração amarela esbranquiçada. A espessura máxima observada para este material foi de 2,5m a montante do córrego Tuncum.

## *Capítulo 6*

# **APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS DADOS DOS ENSAIOS DE ERODIBILIDADE E INFILTRAÇÃO**

---

## **6.1 ERODIBILIDADE DOS MATERIAIS INCONSOLIDADOS**

A erodibilidade dos materiais inconsolidados pode ser entendida como a propriedade que representa quantitativamente sua susceptibilidade aos processos erosivos, devido as suas próprias características. Este fato explica porque diferentes materiais perdem quantidades variáveis de massa quando os demais fatores que influem no processo erosivo são mantidos constantes.

Dentre os fatores que exercem importante influência no potencial de erodibilidade pode-se citar a capacidade de infiltração da água no solo e a destacabilidade e transporte das partículas sólidas pelo escoamento superficial.

Desse modo, o estudo da erodibilidade de materiais inconsolidados apresenta-se como um parâmetro importante tanto na previsão da erosão como no planejamento adequado do meio físico.

Para este trabalho foram amostrados 32 pontos, sendo coletados 3 anéis em cada um para a execução do ensaio de erodibilidade. Porém, alguns destes anéis tiveram problemas durante o transporte para o laboratório e mesmo durante o ensaio, tendo sido, por estes motivos descartados.

A **Tabela 9** apresenta os valores médios encontrados para cada amostra de material, com os respectivos valores de S, P e  $E_{40}$ .

TABELA 9 – Resultados dos ensaios de erodibilidade para os materiais inconsolidados.

Unidade		S	P (%)	E <sub>40</sub> – PEJON (1992)
Rsb1	P5 - Am05	0,7752	58,98	0,53
	P56 - Am22	1,6348	72,58	0,90
	P56 - Am23	1,4260	71,01	0,82
	P56 - Am24	0,4223	78,11	0,22
	P58 - Am32	0,8101	75,02	0,43
Rsb2	P3 - Am03	0,8767	71,73	0,49
	P3 - Am04	0,8662	75,60	0,46
	P9 - Am07	0,4738	84,82	0,22
	P9 - Am08	1,6367	74,86	0,88
Rsb3	P10 - Am26	1,1358	72,95	0,62
	P10 - Am27	1,7641	81,65	0,87
	P10 - Am28	0,8981	67,75	0,53
Rsb5	P45 - Am15	0,3644	6,16	2,35
Rsm1	P53 - Am20	0,3979	14,38	1,21
Rsp2	P57 - Am30	0,2112	0,87	9,64
Rt1	P2 - Am02	0,4738	84,82	0,22
	P5 - Am06	0,9309	80,84	0,46
	P11 - Am10	0,7388	74,41	0,40
	P56 - Am21	0,7922	53,18	0,59
	P10 - Am25	1,8651	74,49	1,00
	P9 - Am09	0,8099	75,57	0,42
Rt2	P1 - Am01	1,2600	73,84	0,68
	P14 - Am11	1,6909	71,65	0,94
	P55 - Am13	1,4724	81,15	0,73
	P39 - Am14	0,8231	45,35	0,75
Rt3	P18 - Am12	1,6628	71,98	0,94
	P58 - Am34	1,8653	76,60	0,98
Rt4	P8 - Am29	0,9749	76,36	0,51
Rt5	P49 - Am17	0,7959	37,86	0,85
	P51 - Am19	0,9366	40,84	0,92
Rt6	P45 - Am16	0,1188	1,79	2,66

### 6.1.1 MATERIAIS RESIDUAIS

Dentre estes materiais, aqueles associados às unidades Rsb5, Rsm1 e Rsp3 apresentaram valores de  $E_{40} > 1$ , caracterizando-os com baixa susceptibilidade à erosão. São materiais arenosos, com granulometria fina predominante e, que contém uma significativa porcentagem de argila em relação aos outros residuais ( $>15\%$ ), com índice de atividade (Acb) entre 6,72 e 14,36 g/100g de argila, sendo esta a maior variação encontrada para os materiais residuais. Por estas características e por se tratarem de materiais com boa coesão das partículas, o índice de absorção de água mostrou-se muito baixo, assim como a perda de massa por imersão.

Para as unidades Rsb1, Rsb2 e Rsb3 foram encontrados valores de  $E_{40} < 1$ , confirmando no laboratório as características observadas no campo de que os materiais destas unidades são altamente susceptíveis aos processos erosivos. Trata-se de materiais muito arenosos, com predominância de areia média e porcentagem de argila menor que 15%, e índice de atividade (Acb) entre 2,46 e 7,09g/100g de argila. São materiais que apresentam baixo índice de absorção de água e perda de massa por imersão superior a 58%. Contudo, cinco amostras apresentaram elevado índice de absorção com perdas de massa por imersão maior que 70%.

Não foi coletada amostra para a unidade Rsm2, pois a amostra não conseguiu se moldar nos anéis. Também não foi possível a coleta de amostra para as unidades Rsp1, Rsp3 e Rsp4 por apresentarem um arenito com grau de alteração muito baixo, dificultando a amostragem por anéis.

O gráfico da **Figura 32** mostra a distribuição das amostras de materiais residuais em função do índice de absorção de água e da perda de massa por imersão, sendo que as amostras acima do limite  $E_{40}$  são aquelas que apresentam caráter erodível, enquanto aquelas abaixo se mostram com baixa erodibilidade.

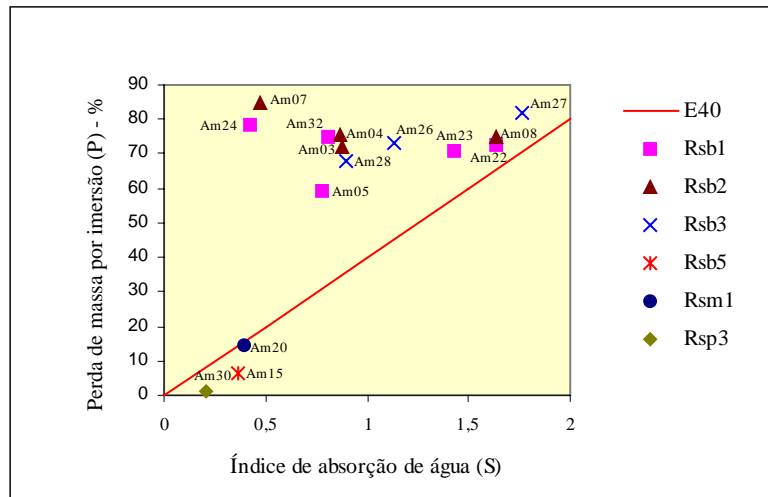


FIGURA 32 - Gráfico SxP para os materiais residuais da bacia do córrego Tuncum.

### 6.1.2 MATERIAIS RETRABALHADOS

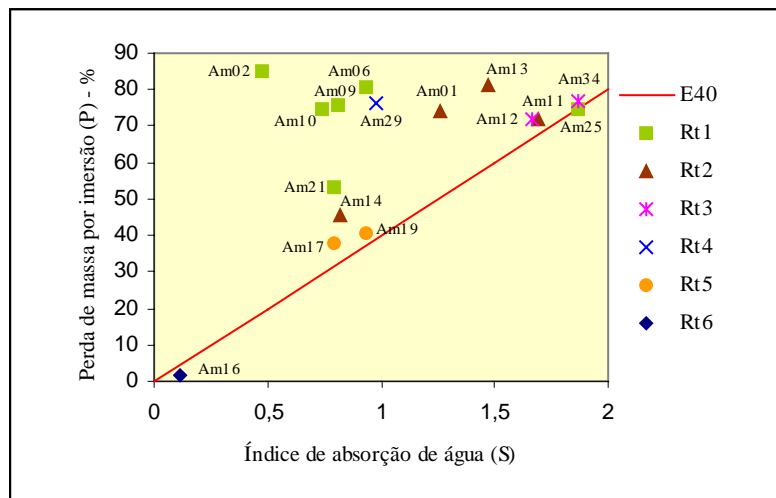
Das unidades constituídas por material retrabalhado, apenas a unidade Rt6 apresentou valor de  $E_{40} > 1$ , expondo seu caráter pouco erodível. Trata-se de um material arenoso de granulometria fina, contendo porcentagem de argila em torno de 20%, com índice de atividade ( $A_{cb}$ ) de 4,95g/100g de argila e mostrando-se bastante coeso, motivo pelo qual as amostras ensaiadas indicaram baixa absorção de água e pequena perda de massa por imersão.

As demais unidades (Rt1, Rt2, Rt3, Rt4 e Rt5) apresentaram valores baixos para o índice de erodibilidade, caracterizando comportamentos susceptíveis à erosão, fato já evidenciado no campo. São materiais muito arenosos, predominando areia média e pouca porcentagem de argila e silte (<15%), com índice de atividade ( $A_{cb}$ ) entre 1,13 e 3,08g/100g de argila. Contudo, seis amostras exibiram elevado índice de absorção de água, com perda de massa por imersão superior a 70%, relacionados principalmente às unidades Rt2 e Rt3. As prováveis justificativas para isto ter ocorrido encontram-se descritas a seguir:

- ✧ Problemas com a amostragem dos anéis;
- ✧ Por se tratarem de materiais muito arenosos, e que foram coletados em período muito seco na área, fez com que durante o ensaio de erodibilidade, estes tivessem

uma rápida e alta absorção de água e, como são facilmente desagregados, perderam bastante massa no ensaio de imersão.

O gráfico da **Figura 33** mostra a distribuição das amostras de materiais retrabalhados em função do índice de absorção de água e da perda de massa por imersão.



**FIGURA 33** - Gráfico SxP para os materiais retrabalhados da bacia do córrego Tuncum.

A partir da análise dos resultados, observou-se que os materiais inconsolidados presentes na área e que apresentam comportamento erodível são aqueles cuja granulometria predominante é areia média, com teor de argila menor que 15%, enquanto que para aqueles pouco erodíveis, a granulometria predominante é a areia fina, com porcentagem de argila maior que 15%.

## 6.2 MATERIAIS INCONSOLIDADOS E INFILTRAÇÃO

Foram realizados na área 4 ensaios de infiltração, com coleta de amostras indeformadas para a determinação da massa específica seca (4 amostras: na superfície a 25cm, 50cm e 1m) e deformadas (de 20 em 20cm) com auxílio de trado, geralmente a uma equidistância de 3m do local ensaiado, a fim de caracterizar a umidade natural. Ao término do ensaio, retiraram-se amostras (10 em 10cm) do ponto ensaiado (furo central do cilindro interno) para a determinação da umidade em condição saturada.

Os locais escolhidos foram aqueles onde os processo erosivos são mais atuantes, ou seja na porção norte da bacia, nas feições erosivas A, B e C, sobre os materiais pertencentes às unidades Rt1, Rt2, Rsb1 e Rsb2.

### 6.2.1 FEIÇÃO EROSIVA A – UNIDADE RT2

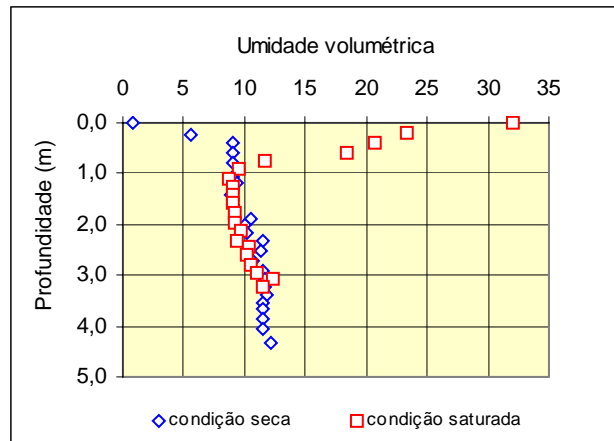
O local escolhido para a realização deste ensaio situa-se dentro do perímetro urbano, apresentando relevo suave com encostas, convexas e declividades entre 5 e 10%.

A execução do ensaio foi feita no canal da feição erosiva A, sobre materiais da unidade Rt2, com espessura local menor que 5m.

A retirada de amostras deformadas em condição natural foi feita até uma profundidade de 4,32m e em condição saturada a 3,24m, obtendo-se frente de molhamento a uma profundidade de 91cm (**Figura 34**). A realização do ensaio neste material durou aproximadamente 1h20min.

A condutividade hidráulica (k) obtida para os materiais da unidade Rt1 foi de  $6,64 \times 10^{-3}$  cm/seg, para uma porosidade máxima de 44%, com massa específica seca média de  $1,527 \text{g/cm}^3$ .

Apesar de se tratar de materiais permeáveis, situados em terrenos com encostas suaves (o que permitiria uma infiltração mais eficiente, pois o escoamento superficial seria mais lento), estes se mostram muito susceptíveis aos processos erosivos, principalmente, quando suas características geotécnicas se associam aos fatores climáticos e antrópicos.



**FIGURA 34** - Gráfico mostrando o comportamento da umidade volumétrica em relação à profundidade nas condições natural e saturada. A frente de molhamento para este material ocorreu a uma profundidade de 91cm.

### 6.2.2 FEIÇÃO EROSIVA B – MATERIAL COMPACTADO

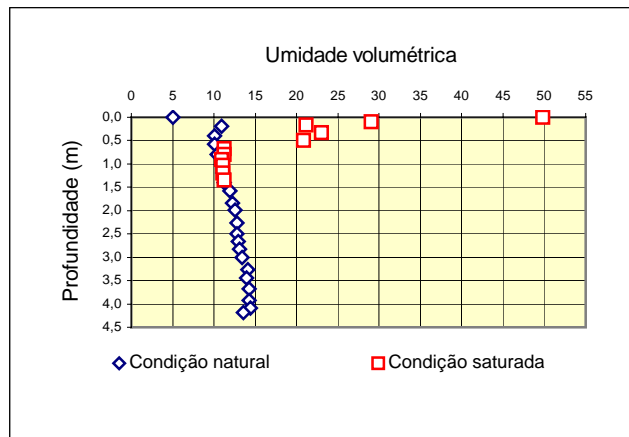
O segundo ensaio foi realizado sobre material compactado da feição erosiva B, próximo a sua montante, dentro do perímetro urbano. A espessura deste material apresentava-se menor que 2m, com material abaixo deste (unidade Rt1 e Rsb1) alcançando espessura maiores que 15m.

A duração do ensaio neste material foi de 2h05min, com tradagem em condição natural feita até uma profundidade de 4,19m, e em condição saturada 1,35m, obtendo-se frente de molhamento a uma profundidade de aproximadamente 80cm (**Figura 35**).

A condutividade hidráulica obtida foi de  $1,93 \times 10^{-3}$  cm/seg, com massa específica seca média de  $1,667$  g/cm<sup>3</sup>.

Apesar destes materiais terem sido bastante compactados por obras de controle desta feição (aterramento e retaludamento), estes se mostram ainda permeáveis, contudo as condições geomorfológicas (encostas convexas-retilíneas, apresentando declividades acentuadas) associadas ao material geológico presente sob este, possibilita uma menor infiltração das águas pluviais e maior escoamento superficial, removendo grande quantidade de material compactado e de materiais inconsolidados (retrabalhados e residuais), acarretando vários escorregamentos, principalmente neste lado da feição.





**FIGURA 35** - Comportamento da umidade volumétrica em relação à profundidade nas condições natural e saturada. A frente de molhamento para este material atingiu uma profundidade de aproximadamente 80cm.

### 6.2.3 FEIÇÃO EROSIVA B – UNIDADE RT1 e RSB1

O terceiro ensaio foi executado na mesma feição erosiva, porém no lado direito em relação a sua cabeceira, sobre materiais das unidades Rt1 e Rsb1, em encostas combinadas (côncavas-convexas-retílineas), com espessuras dos pacotes entre 5m e maiores que 15m.

A duração do ensaio neste material foi de 3h30min, com tradagem em condição natural feita até uma profundidade de 4,0m, e em condição saturada 2,24m, obtendo-se frente de molhamento a uma profundidade de 1,0m (**Figura 36**).

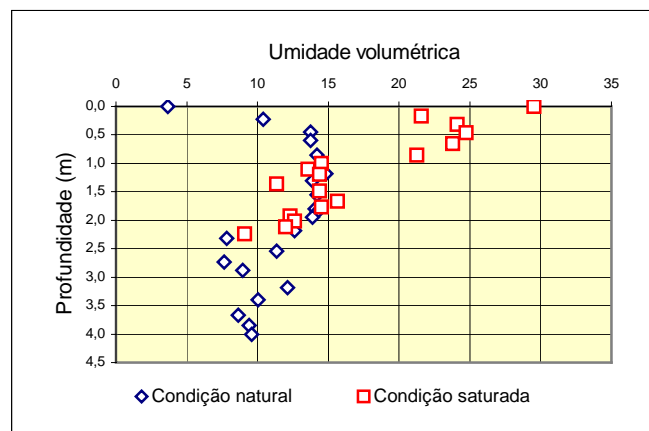
Durante as tradagens foram observadas as mudanças de material nas profundidades: 1,36m (material retrabalhado, de coloração marrom avermelhado, seguido de linha de seixos), 2,88m (material residual de coloração marrom variações de róseo esbranquiçado) e 3,67m (arenito muito alterado de coloração róseo esbranquiçado).

A condutividade hidráulica obtida para estes materiais foi de  $2,31 \times 10^{-3}$  cm/seg, com massa específica seca média de  $1,596 \text{ g/cm}^3$ , com porosidade para os materiais retrabalhados da unidade Rt1 em torno de 48% e para os materiais da unidade Rsb1 de 41%.

As características geotécnicas destes materiais fazem com que estes se apresentem susceptíveis aos processos erosivos, mesmo sendo permeáveis, devido, principalmente à sua associação com fatores geomorfológicos (encostas combinadas

com declividades acentuadas), climáticos e antrópicos (colocação de lixo na cabeceira e medidas de controle não eficientes). Contudo, observações de campo e colocação de estacas para supervisionamento das encostas mostram que este lado da feição sofre menos escorregamentos que no lado oposto, visto que ocorreram mais perdas de estacas por este processo do lado esquerdo da feição que neste.

Este lado da feição se encontra com mais vegetação e espessuras maiores de material retrabalhado e inconsolidado residual.



**FIGURA 36** - Comportamento da umidade volumétrica em relação à profundidade nas condições natural e saturada. A frente de saturação para os materiais das unidades Rt1 e Rsb1 atingiu profundidade 1,0m.

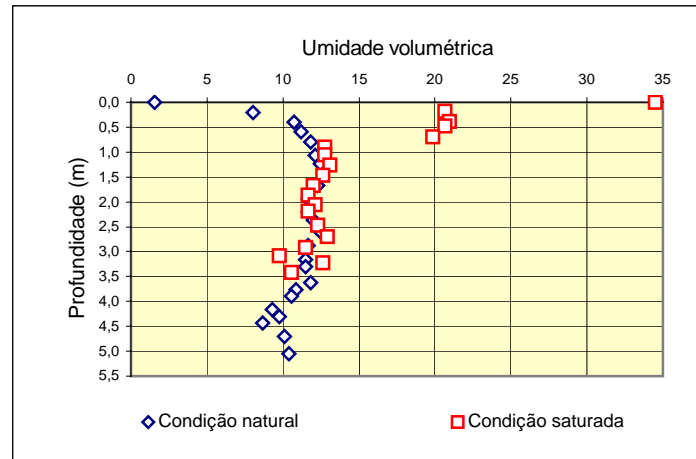
#### 6.2.4 FEIÇÃO EROSIVA C – UNIDADE Rt1 e RSB2

Este ensaio foi realizado na feição erosiva C, situada em relevo contendo encostas convexas e sobre materiais das unidades Rt1 e Rsb2, com espessura máxima de 10m.

A tradagem em condição natural foi feita até uma profundidade de 5,05m enquanto para a condição saturada foi 3,42m, ambas atravessaram materiais das duas unidades presentes neste local, atingindo frente de molhamento de 90cm (**Figura 37**), com duração do ensaio de 1h20min.

A condutividade hidráulica obtida para estes materiais foi de  $3,77 \times 10^{-3}$  cm/seg, apresentando massa específica seca média de  $1,575 \text{ g/cm}^3$ , com porosidade para os materiais retrabalhados da unidade Rt1 em torno de 48% e para os materiais da unidade Rsb2 de 41%.

A condutividade hidráulica encontrada para este terreno favorece a infiltração, contudo, pela declividade apresentada, ocorre também um grande escoamento superficial, fazendo com que haja remoção de materiais principalmente nas margens desta feição.



**FIGURA 37** - Comportamento da umidade volumétrica em relação à profundidade nas condições natural e saturada. A frente de molhamento para os materiais deste local (feição erosiva C) atingiu uma profundidade 90cm.

## Capítulo 7

# CARTA DE SUSCEPTIBILIDADE À EROSÃO

---

A avaliação de áreas com susceptibilidade aos processos erosivos é uma importante etapa para definição de medidas de planejamento e uso adequado do meio físico, principalmente, quando se dispõem desta informação sob a forma de um documento cartográfico, como a carta de susceptibilidade à erosão.

## 7.1 ELABORAÇÃO DA CARTA DE SUSCEPTIBILIDADE À EROSÃO

Para a obtenção desta carta foram utilizadas as informações contidas no mapa de *landforms*, mapa de materiais inconsolidados e carta de declividade, sendo que cada produto cartográfico foi avaliado individualmente, atribuindo-se pesos a cada unidade deste, de acordo com a potencialidade de seus atributos frente aos processos erosivos.

Assim, quanto à declividade pôde-se avaliar que quanto maior o grau de inclinação do terreno, maior será o escoamento superficial, aumentando sua influência na instalação dos processos erosivos. Com relação aos *landforms*, propôs uma avaliação que levasse em conta o tipo de elemento presente, grau de inclinação e o material geológico constituinte deste. Para o mapa de materiais inconsolidados, a ponderação das unidades levou em consideração a origem do material, textura, espessura e índice de erodibilidade.

A **Tabela 10** apresenta o grau de influência adotado para a susceptibilidade à erosão e na **Tabela 11** encontra-se a reclassificação dos mapas de *landform* e materiais inconsolidados e da carta de declividade, com seus respectivos pesos. A carta de susceptibilidade à erosão foi gerada, com auxílio das ferramentas do geoprocessamento, utilizando os programas AUTOCAD<sup>®</sup> e IDRISI32, de acordo com as seguintes etapas:

➤ No AUTOCAD®:

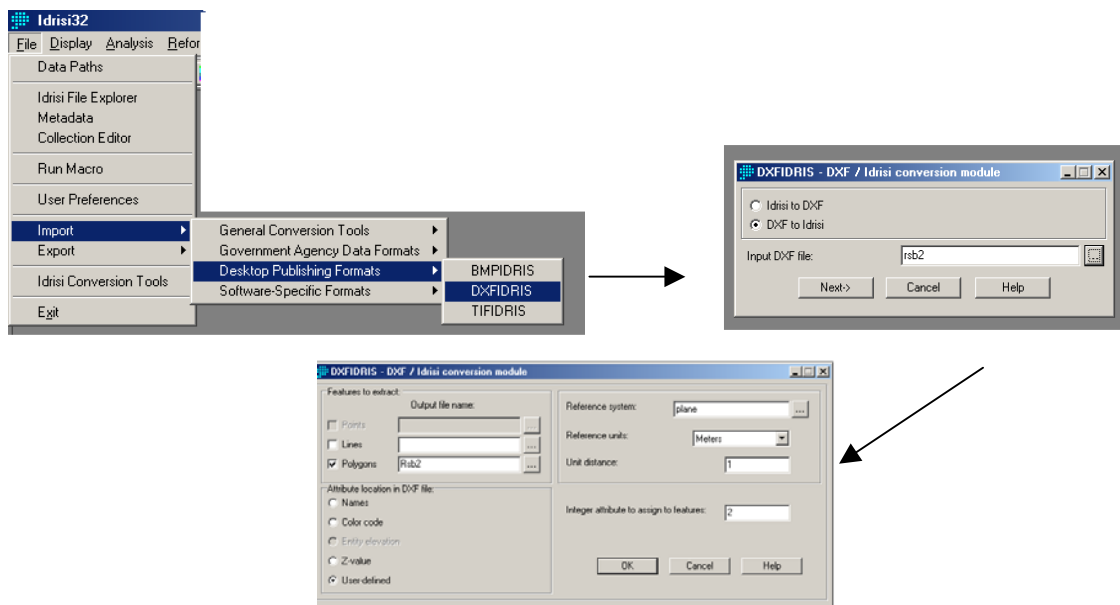
Exportou-se cada unidade de material inconsolidado e elemento de terreno em arquivo no formato \*.dxf (R12/Lt2DXF).

**TABELA 10** - Grau de influência adotado para susceptibilidade à erosão.

CARACTERÍSTICA	PESO
<i>Muito Baixa</i>	1
<i>Baixa</i>	2
<i>Moderada</i>	3
<i>Alta</i>	4
<i>Muito Alta</i>	5

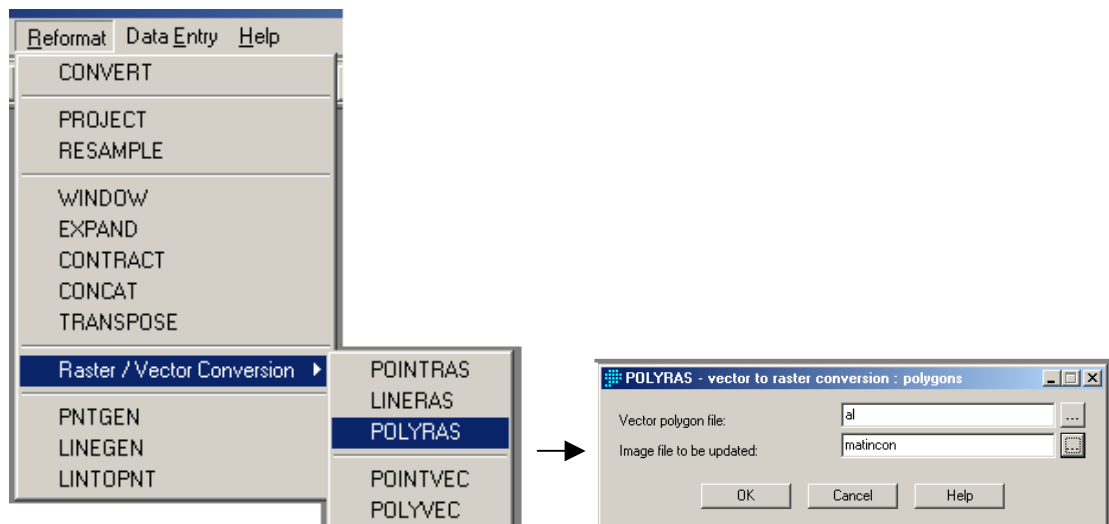
➤ No IDRISI32:

Os arquivos em \*.dxf foram importados de acordo com os comandos esquematizado na **Figura 38**.



**FIGURA 38** – Importação dos arquivos \*. dxf para o Idrisi

Para a distribuição de pesos e disposição das unidades numa só base utilizou-se os comandos *REFORMAT* ⇨ *RASTER/VECTOR CONVERSION* ⇨ *POLYRAS*, como mostrado na **Figura 39**.



**FIGURA 39** – Transformação de vetor para raster.

Após este procedimento fez-se a reclassificação das unidades de cada mapa de acordo com a escala adotada na tabela 10, usando os comandos *ANALYSIS* ⇨ *DATA BASE QUERY* ⇨ *RECLASS*. Os identificadores de cada unidade e seus valores correspondentes de importância podem ser obtidos através dos comandos *DATA ENTRY* ⇨ *EDIT*.

Depois da atribuição de pesos, normalizaram-se as unidades, assumindo uma padronização dos valores de cada uma, por intermédio do comando *STRETCH*, onde cada imagem mostrou-se representativa dentro de um intervalo padrão que varia de 0 a 255, para que pudessem ser confrontadas posteriormente. A partir deste procedimento, cruzaram-se as informações com o uso dos comandos *ANALYSIS* ⇨ *DECISION SUPPORT* ⇨ *MCE*, através do método de combinação linear ponderada. Criou-se uma matriz de correlação, comparando-se a importância relativa de cada atributo em relação ao processo erosivo.

**TABELA 11** - Reclassificação dos documentos cartográficos para geração da carta de susceptibilidade à erosão.

DOCUMENTO CARTOGRÁFICO	UNIDADE	PESO ATRIBUÍDO
Mapa de <i>Landforms</i>	A1	2
	A2	1
	A3	4
	A4	3
	A5	1
	B	1
	C1	5
	C2	4
	C3	4
	C4	3
	C5	4
	C6	3
	D1	2
	D1	3
	D3	4
D4	4	
D5	2	
Carta de Declividade	1 (2%)	1
	2 (2-5%)	1
	3 (5-10%)	2
	4 (10-20%)	3
	5 (20-30%)	4
	6 (30-50%)	4
	7 (>50%)	5
Mapa de Materiais inconsolidados	Rsb1	5
	Rsb2	4
	Rsb3	4
	Rsb4	3
	Rsb5+Rt6	2
	Rsm1	2
	Rsm2	2
	Rsp1	1
	Rsp2	1
	Rsp3	3
	Rsp4	4
	Rt1	5
	Rt2	4
	Rt3	3
	Rt4	4
Rt5	4	
Al	1	

Após a elaboração desta matriz, obtiveram-se os pesos individuais dos documentos cartográficos analisados e a taxa de consistência de ponderação, usando os comandos *ANALYSIS* ⇨ *DECISION SUPPORT* ⇨ *WEIGHT*. Estes pesos foram utilizados para a obtenção da carta de susceptibilidade através dos comandos *ANALYSIS* ⇨ *DECISION SUPPORT* ⇨ *MCE* (**Tabela 12**).

**TABELA 12** – Matriz de correlação e pesos obtidos para cruzamento dos documentos cartográficos individuais.

	<i>Landforms</i>	Declividades	Materiais Inconsolidados
<i>Landforms</i>	1		
Declividades	1	1	
Materiais Inconsolidados	1.5	1.5	1
Fator		Peso	
<i>Landforms</i>		0,2857	
Declividades		0,2857	
Materiais inconsolidados		0,4286	
Taxa de consistência: 0,000			

Para a área foram estabelecidas 5 classes, escolhidas em função do potencial de cada atribuído aos processos erosivos, para melhor compreensão deste fenômeno na bacia.

Os terrenos muito pouco susceptíveis a erosão estão associados a áreas de inundação, correspondendo a unidade A1 dos materiais inconsolidados e a unidade B dos *landforms*.

As áreas poucos susceptíveis estão relacionadas a terrenos com declividades baixas (menores que 10%), concentrando-se na porção centro-leste e sul da bacia. Correspondem as unidades Rt3, Rsb5+Rt6 e porções da unidade Rsp2.

As áreas moderadamente susceptíveis à erosão têm uma grande representatividade na bacia. Estão associadas a declividades que variam de 2 a 30%, abrangendo partes de quase todas as unidades de materiais inconsolidados da área.



Algumas feições erosivas foram observadas ao norte e leste da bacia, principalmente relacionadas a material transportado.

As áreas que apresentam alta susceptibilidade à erosão estão concentradas em encostas convexas ou combinadas, com declividades em torno de 30%, correspondendo a parte das unidades Rt1, Rt2 e Rt3.

As áreas apresentando susceptibilidade muito alta concentram-se na porção norte da bacia englobando as unidades Rsb1, Rsb2, Rsb3 e Rt4, em declividades maiores que 30% associadas a encostas combinadas (côncava-convexas-retilíneas). Nesta porção foram observadas as feições erosivas mais críticas da área.

## *Capítulo 8*

# **EVOLUÇÃO DOS PROCESSOS EROSIVOS NA BACIA**

---

As áreas urbanas em expansão, através da abertura de novos loteamentos, exigem para a sua implantação, grande movimentação e exposição de materiais inconsolidados, facilitando o surgimento de processos erosivos. A ocupação correta deve adequar-se à declividade do terreno, ao sistema natural de drenagem, condições naturais de estabilidade dos taludes naturais ou artificiais, entre outros fatores (LORANDI *et al* 2001).

O município de São Pedro surgiu por volta do século XVIII, com a abertura de um caminho que ligaria São Paulo ao rio Paraná, pelos campos de Araraquara, rumo às minas de Cuiabá. Seu desenvolvimento foi lento até meados do século XX, quando se descobriram as águas medicinais e com a introdução de bordados, tornando o município uma atração turística.

O núcleo urbano foi fixado em um terreno plano ou ligeiramente plano, com declividades baixas (<2%). Durante o processo de urbanização, passa a ocorrer uma segregação social, onde a população de baixa renda começou a ocupar as áreas mais periféricas, como as encostas convexas e próximas à cabeceira do córrego Tuncum, em terrenos cuja resistência aos processos erosivos são muito baixas.

A partir de dados obtidos com as fotografias aéreas em três datas diferentes, 1972 (escala 1:25.000), 1995 (escala 1:25.000) e 2000 (1:30.000), delimitando as feições erosivas e a expansão urbana, associados a informações obtidas no campo, na literatura e com populares, o que contribuiu para uma melhor análise da evolução dos processos erosivos na bacia.

As feições erosivas presentes na área são lineares, do tipo voçorocas, originadas provavelmente a partir da concentração de fluxo de águas pluviais nas cabeceiras de drenagem.

A porção norte da bacia caracteriza-se por sérios problemas relacionados aos processos erosivos, estabelecendo cinco feições erosivas de grande porte. Nas outras partes da bacia, o processo erosivo encontra-se controlado, fato observado no campo, nas feições erosivas situadas na fazenda São Sebastião (Ponto 49), que sofreram aterramento, tendo sido posteriormente implantada a vegetação e com resultados satisfatórios. Na estrada em direção ao município de Águas de São Pedro, próximo ao aeroporto (Ponto 39 – **Figura 40**), a feição erosiva apresenta-se também controlada, devido ao crescimento de vegetação no seu canal e encostas.



**FIGURA 40** - Feição erosiva controlada próxima ao aeroporto (Ponto 39).

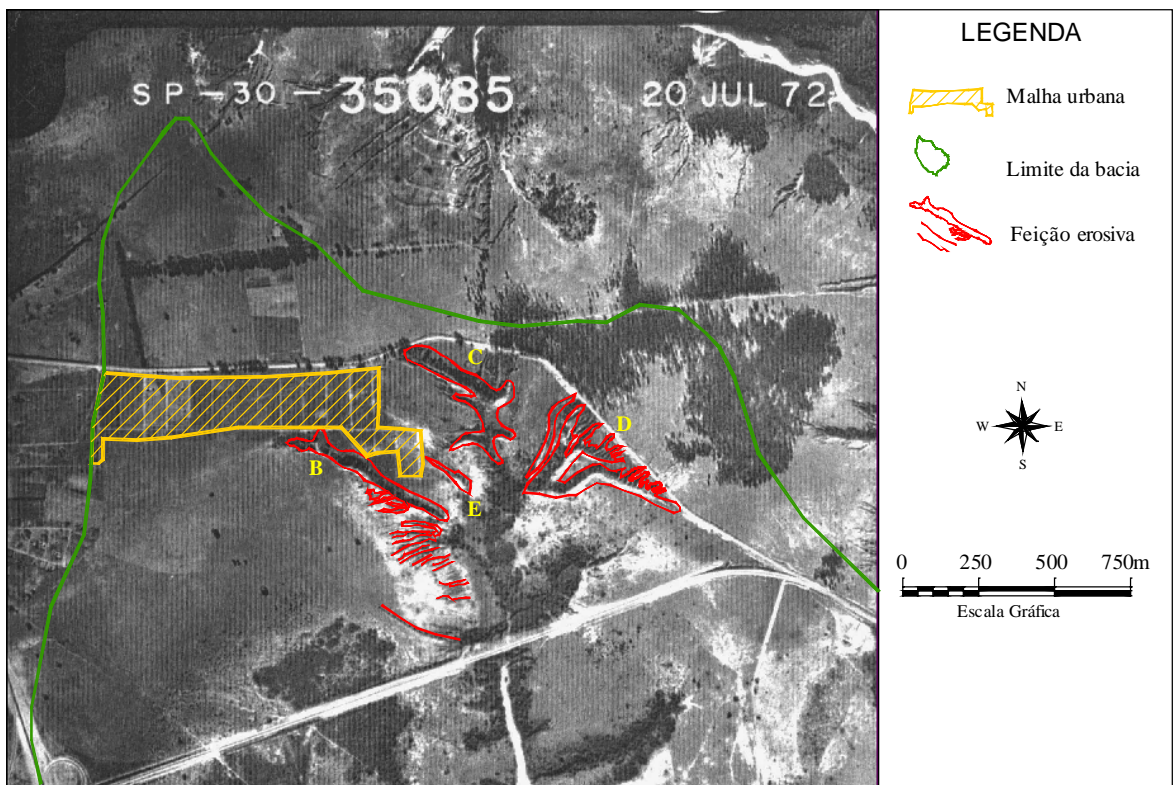
## 8.1 FEIÇÕES EROSIVAS EM 1972

Em 1972, a área urbana ocupada no perímetro da bacia era muito pequena, porém já havia desenvolvimento de feições erosivas (**Figura 41**), cujos fatores desencadeadores estão relacionados a esta ocupação e a fatores climáticos associados ao tipo de material geológico presente e a geomorfologia.

Algumas feições também estavam presentes nas encostas convexas, tanto ao norte (onde atualmente se encontra a feição erosiva A) quanto à leste e sudoeste da bacia.

A feição erosiva B já se encontrava desenvolvida em encostas combinadas (côncava-convexa-retilínea), com declividades variando 20 a maiores que 50% e contendo pequenos ramos em ambas as margens. Apresentava-se bastante profunda (de acordo com o SANTORO (1991), esta profundidade atingia aproximadamente 60m), com largura média de 30m e extensão em torno de 620m, sendo que, possivelmente, nenhuma medida de controle tenha sido implantada para minimizar seu progresso.

A feição erosiva C desenvolveu-se em encostas convexas, apresentando-se pouco profunda, porém, com muitos ramos laterais de larguras variando de 13 a 84m, e extensão do ramo principal de 520m.



**FIGURA 41** - Fotografia aérea de 1972 mostrando a delimitação feições erosivas críticas da área e a ocupação urbana.

A feição erosiva D estabeleceu-se em encostas côncavas-convexas, com declividades entre 10 a maiores que 50%. Apresentava-se profunda e continha ramificações bem pronunciadas. Sua largura média ficava em torno de 72m e comprimento em relação aos dois ramos principais de aproximadamente 670m.

A feição E apresentava-se como a menor desta parte da bacia, sem constituição de ramos e contendo 17 e 187m de largura e extensão respectivamente.

O córrego Tuncum já apresentava problemas com relação ao assoreamento de seu canal, devido ao trabalho de mineradoras que se instalaram na região para extração de areia, mudando o equilíbrio hídrico da bacia, podendo ter sido estas uma das causas do surgimento destas feições na área.

## 8.2 FEIÇÕES EROSIVAS EM 1995

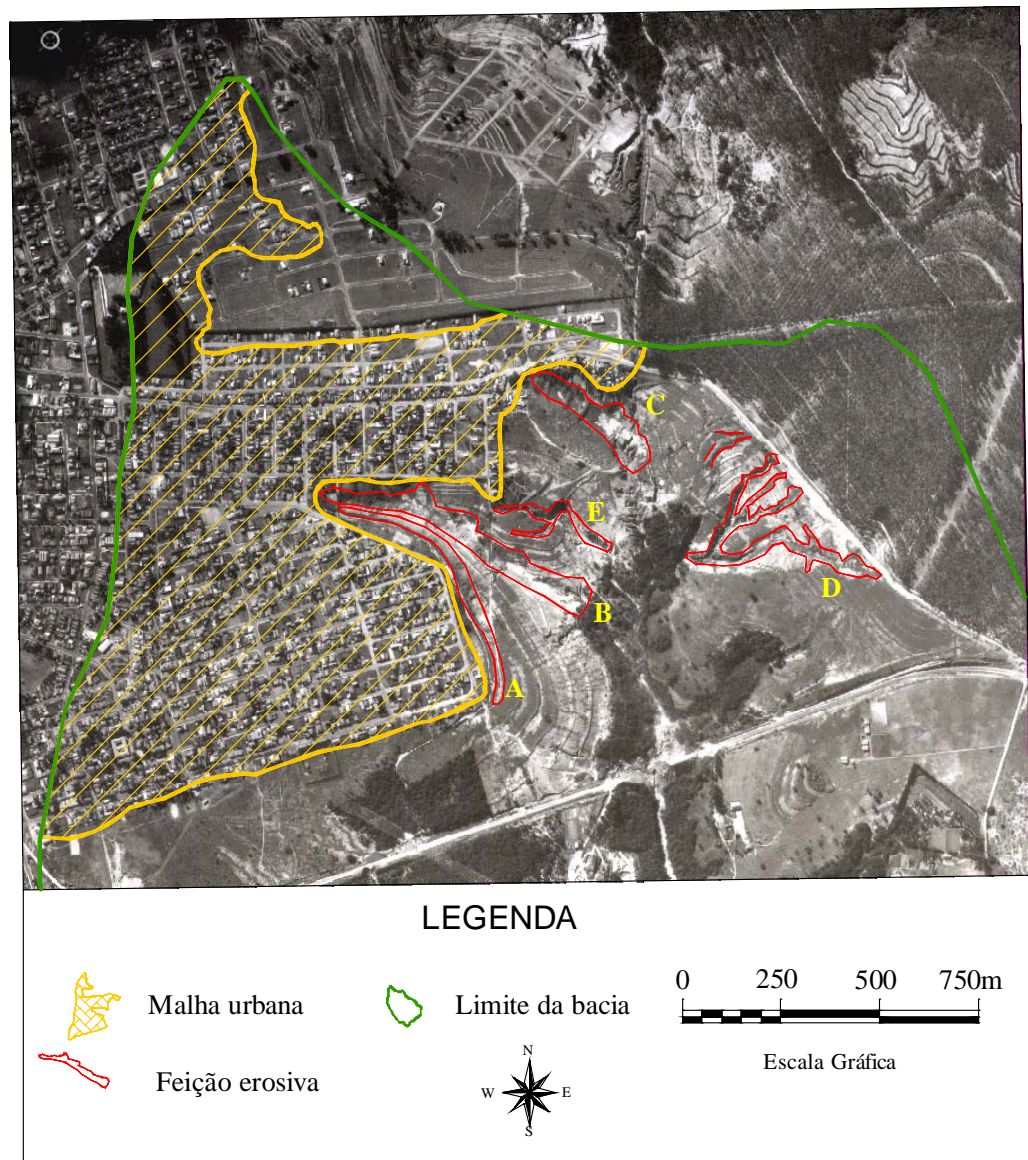
O município de São Pedro experimentou um rápido processo de expansão urbana nas duas últimas décadas, com crescimento em torno de 80% em relação a 1972, o que pode ser evidenciado na fotografia aérea apresentada na **Figura 42**.

Este período apresentou altos índices pluviométricos, como observado na tabela 6, com chuva acumulada anual de 1839,5mm, o que associado ao material geológico de alta susceptibilidade a erosão e com a implantação de loteamentos e conjuntos habitacionais em locais não apropriados e com um sistema de drenagem de águas pluviais e servidas deficientes, fez com que houvesse uma maior aceleração dos processos erosivos e modificações das feições erosivas próximas ao perímetro urbano.

As pequenas feições da porção norte não foram observadas na fotografia de 1995, contudo em seu lugar apareceu a feição erosiva A, que já se apresentava bem extensa, alargada e sem ramificações.

Para SANTORO (1991), os loteamentos sem infraestruturas, com obras terminais de drenagens executadas de forma inadequada, com conseqüente concentração do escoamento superficial em direção a feição A foram as causas principais das modificações ocorridas nesta, como aumento de sua largura e extensão em relação a 1972.

De acordo com o relatório do IPT (1993), nesta feição foram realizadas terraplanagem, aterramento e retaludamento, sendo que este último foi feito de modo inadequado, havendo acúmulo de águas pluviais e conseqüentemente rompimentos. Também foi feito um dique marginal próximo da cabeceira, com resultado parcialmente satisfatório, visto que não houve ocorrência de ramos na faixa protegida por este, porém a erosão ainda encontrava-se em estado ativo e acelerado.



**FIGURA 42** - Fotografia aérea de 1995 mostrando a delimitação das principais feições erosivas da área e a ocupação urbana.

A feição erosiva C apresentou-se sem ramificações e foi temporariamente controlada, através de medidas como retaludamento e pequenas obras de macro e micro drenagem. Suas margens sofreram alargamento e sua extensão diminuiu em relação a 1972, também não foram observadas as ramificações presentes anteriormente.

A feição erosiva D mostrou-se menos extensa e larga do que em 1972, com poucas ramificações, porém mais profundas que no período anterior. Também houve redução de sua largura.

Morfologicamente, a feição E, assim como A, foi a que apresentou maiores modificações, com alargamento de suas margens e aumento de sua extensão, com surgimento de novos ramos.

O córrego Tuncum se encontrava bastante assoreado e com margens alargadas, visto que a retirada de material de forma incontrolada fez com que houvesse um significativo aumento na vazão natural do canal, levando a uma maior quantidade de material transportado.

### **8.3 FEIÇÕES EROSIVAS EM 2000**

A ocupação urbana entre 1995 e 2000 teve um crescimento de aproximadamente 14% na área onde a bacia do Tuncum está inserida. Neste período foram observadas algumas medidas de controle para minimizar os problemas causados pelas feições erosivas presentes. Algumas destas surtiram efeito, outras precisam ser reavaliadas levando-se em consideração principalmente o tipo de material presente e ao uso que está sendo dado a estas feições.

As principais mudanças neste período são mostradas na **Figura 43**. Dentre estas se pode citar a Feição A que ameaçava derrubar casas e destruir ruas do bairro, encontra-se atualmente controlada devido o crescimento de vegetação ao longo de seu canal. Suas margens haviam sofrido um alargamento pequeno e sua extensão foi reduzida em relação a 1995. Observações de campo mostraram que a mesma foi aterrada a partir de sua cabeceira, porém sem nenhuma outra medida minimizadora.



**FIGURA 43** - Fotografia aérea de 2000 mostrando a delimitação das principais feições erosivas da área e a ocupação urbana.

As **Figuras 44a** e **44b** mostram como esta feição se apresentava em 2001 e em 2003.





(a)



(b)

**FIGURA 44** - (a) Feição erosiva A em out/ 2001; (b) Feição erosiva A com crescimento de vegetação em seu canal (Jan/ 2003).

A feição erosiva B, ainda apresenta-se em estado crítico e acelerado, com constantes escorregamentos de seus taludes, lençol freático aflorante (**Figuras 45a e 45b**) e “*piping*”.

Algumas medidas foram realizadas para tentar controlar o processo erosivo nesta feição, tais como novo retaludamento, barragens de terra, colocação de drenos e tubos galvanizados para o escoamento subsuperficial, canaletas e caixas dissipadoras para o escoamento superficial (**Figura 46a e 46b**). No último período chuvoso na região houve vários escorregamentos, principalmente nas encostas do lado direito (a partir da cabeceira), com nova abertura de ramos.

Morfológicamente, esta feição se mostra com suas margens mais alargadas e com surgimento de ramificações, causadas principalmente pelos escorregamentos. A profundidade observada no campo fica em torno de 30m, com extensão de aproximadamente 600m.



**FIGURA 45** - (a) Feição erosiva B apresentando lençol freático aflorante e a barragem de terra utilizada como medida de controle; (b) Escorregamentos de taludes provocado no último período chuvoso na região (jan/2003).

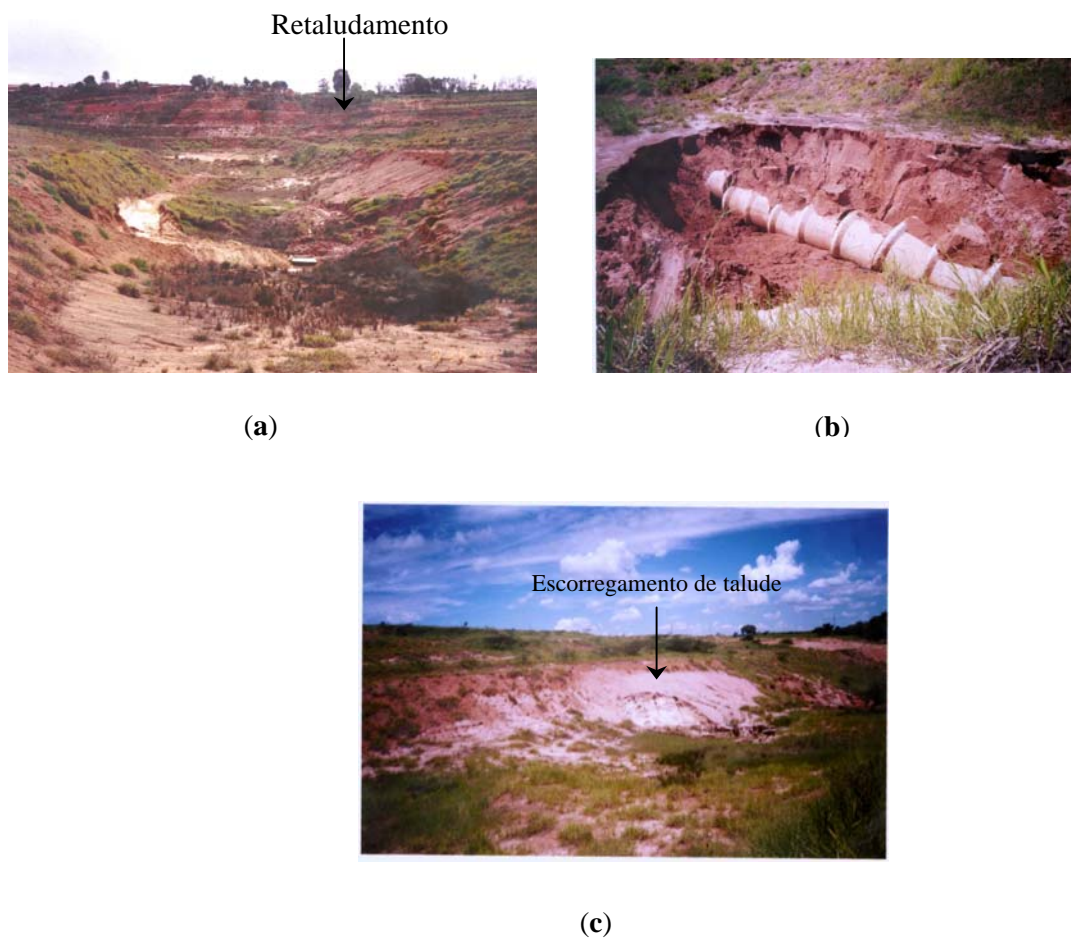


**FIGURA 46** - (a) Medidas de controle para minimizar o progresso da feição B, retaludamento e colocação de drenos (Dez/2001); (b) construção de canaletas para o escoamento das águas pluviais (jan/2003).

A fotografia aérea de 2000 indica mudanças com relação à forma da feição erosiva C, pois a implantação de medidas controladoras em anos anteriores fez com que esta não apresentasse novas ramificações, reduzindo sua largura e extensão e mantendo sua profundidade em cerca de 10m.

De agosto de 2001 a dezembro de 2002, esta se mantinha com vegetação no canal e nas suas encostas, demonstrando estar controlada, porém, em decorrência das chuvas na região (Jan/2003), houve escorregamento de talude e abertura no seu canal, conseqüentemente destruindo as obras de micro e macro drenagem implantadas para redução de seus efeitos.

As **Figuras 47a, 47b e 47c** apresentam a feição erosiva C em caráter controlado e as condições encontradas nestas atualmente.



**FIGURA 47** - (a) Feição erosiva C, detalhe do retaludamento feito em anos anteriores; (b) destruição das obras de macrodrenagens (jan/2003); (c) escorregamentos de talude (jan/2003).

A modificação ocorrida com a feição erosiva D está relacionada principalmente a um pequeno aumento na sua largura e redução de sua extensão associada aos seus dois ramos, com profundidade de aproximadamente 15m. As ramificações existentes em 1995 não foram observadas, possivelmente sofreram aterramento.

Até início de 2002, esta feição era usada como depósito de lixo da cidade como mostrado na **Figura 48**. A acumulação destes lixos pode ser um foco de contaminação ou um excelente meio para o desenvolvimento de insetos e roedores. Além disso, destroem a paisagem, podendo ainda contribuir para a contaminação das águas superficiais e subterrâneas, através da águas da chuva, principalmente por apresentarem materiais inconsolidados permeáveis.



**FIGURA 48** - Feição erosiva D, detalhe para o lixo jogado nas encostas (out/2002).

A feição E não se encontra presente neste período, provavelmente desapareceu em virtude dos vários aterramentos e retaludamento executados na área.

A **Tabela 13** apresenta as principais características encontradas para as feições erosivas da porção norte da bacia, com dados retirados a partir das suas delimitações em fotografias aéreas georreferenciadas.

**TABELA 13** – Características das principais feições erosivas da bacia do córrego Tuncum.

<i>Feição</i>	<i>1972</i>	<i>1995</i>	<i>2000</i>	<i>% (1972-1995)</i>	<i>% (1995-2000)</i>	
<b>A</b>	Largura (m)	-	28,8	30,6	-	5,8% (+)
	Extensão (m)	-	1470,0	1057,7	-	28,2% (-)
	Área (m <sup>2</sup> )	-	17976,6	14649,5	-	22% (-)
<b>B</b>	Largura (m)	24,2	70,3	57,2	65,6% (+)	18,6% (-)
	Extensão (m)	622,0	1671,9	612,5	62% (+)	63,4% (-)
	Área (m <sup>2</sup> )	23633,6	49583,6	29357,7	52% (+)	40% (-)
<b>C</b>	Largura (m)	55,5	62,1	44,9	10,6% (+)	27,6% (-)
	Extensão (m)	520,1	370,3	252,1	28,8% (-)	31,9% (-)
	Área (m <sup>2</sup> )	34034,0	23390,2	11324,0	31,3% (-)	51,6% (-)
<b>D</b>	Largura (m)	71,9	24,3	25,7	66,3%(-)	5,6% (+)
	Extensão (m)	669,4	616,9	513,9	7,8% (-)	16,7% (-)
	Área (m <sup>2</sup> )	46834,7	32082,2	16834,5	31,5% (-)	47,5%(-)
<b>E</b>	Largura (m)	22,8	36,1	-	36,6% (+)	-
	Extensão (m)	187,2	309,0	-	39,4% (+)	-
	Área (m <sup>2</sup> )	3712,7	9972,6	-	62,7% (+)	-

(-) Redução; (+) Aumento; - Feição erosiva não existente no período.

O canal do córrego Tuncum se apresenta muito mais meandrante e assoreado que em 1995. Isto também pode ser visto na **Figura 49a**, onde o córrego, a partir de sua montante, apresenta-se assoreado e com materiais (tubos e drenos) provenientes de obras feitas de modo inadequado para o controle da feição erosiva B. A jusante (**Figura 49b**) observa-se que o canal está muito mais meandrante e que suas margens vem sofrendo solapamentos.

**(a)****(b)**

**FIGURA 49** - (a) Córrego Tuncum à montante: bastante assoreado; (b) córrego Tuncum em direção a jusante: canal mais meandrante.

## *Capítulo 9*

# **PROGNÓSTICO AO DESENVOLVIMENTO DE EROSÕES LINEARES NA BACIA**

---

A carta de prognóstico é um documento importante para implementação de medidas corretivas e preventivas relacionadas aos processos erosivos, dando suporte à tomada de decisão.

A partir da análise da carta de susceptibilidade elaborada para a área e da evolução das feições erosivas, estabeleceu-se um prognóstico ao desenvolvimento de erosões lineares para três diferentes cenários (área urbana, área periférica e área rural), em concordância com as condições atuais de cada um.

## **9.1 ELABORAÇÃO DA CARTA DE PROGNÓSTICO**

Para a elaboração da carta de prognóstico fez-se no IDRISI32, a reclassificação da carta de susceptibilidade de acordo com as condições estabelecidas para a área. Posteriormente, transferiu-se a delimitação dos cenários (feita com auxílio da fotografia aérea de 2000) para o AUTOCAD<sup>®</sup> e para o IDRISI32, seguindo as mesmas etapas apresentadas para a geração da carta de susceptibilidade.

As informações da carta de susceptibilidade reclassificada e da delimitação dos cenários foram somadas (sem atribuição de pesos), levando-se em conta os parâmetros previamente estabelecidos para cada cenário de acordo com a evolução dos processos erosivos na área.

Dessa forma, elaborou-se a carta de prognóstico ao desenvolvimento de erosões do tipo linear, de acordo com três classes: *baixa, média e alta possibilidades de ocorrência*. A partir destas possibilidades pode-se avaliar o prognóstico dos processos erosivos frente aos três cenários escolhidos, os quais encontram-se descritos a seguir:

➤ **CENÁRIO 1**

Representa a área urbana consolidada que se caracteriza por ser densamente ocupada situada em relevo planos a ligeiramente plano, com declividades menores que 10%, o que ocasiona um melhor disciplinamento do escoamento superficial. Por apresentar disponibilidade de infra-estrutura básica (saneamento de água, esgotos, pavimentação das ruas, canalização de águas pluviais, etc.), esta área foi classificada como sendo de baixa possibilidade de ocorrência de erosões, apesar de apresentar alta e média susceptibilidade à erosão.

➤ **CENÁRIO 2**

Representa a área periférica ou urbana não consolidada, com densidade de ocupação média/baixa. A parte norte/nordeste desta área é caracterizada por loteamentos em implantação, apresentando infra-estrutura precária ou ausente, o que acarreta uma maior concentração das águas pluviais e servidas, acrescentada à alta e média susceptibilidade que o material inconsolidado presente tem aos processos erosivos faz com que a possibilidade de ocorrência de erosões seja alta. As feições erosivas presentes tendem a progredir, caso não haja uma manutenção constante das obras implementadas para o seu controle, podendo ocorrer aberturas de novos ramos laterais, principalmente durante os períodos chuvosos, ameaçando seriamente estes loteamentos.

A zona oeste da área concentra uma baixa densidade populacional, com a presença de um pequeno loteamento, chácaras e mineração para extração de areia. Esta zona foi classificada com média possibilidade de ocorrência de erosões devido a moderada susceptibilidade à erosão encontrada para os materiais inconsolidados e a presença de vegetação ao longo das encostas. Contudo, se não houver um melhor planejamento ocupacional, esta poderá apresentar sérios problemas erosivos, visto que fatores desencadeadores e condicionantes estão presente nesta região.

Em direção ao centro da área, observa-se uma faixa caracterizada com alta possibilidade de ocorrência de erosão, devido, principalmente, a associação entre declividades elevadas e a alta susceptibilidade que o material geológico apresenta aos processos erosivos, porém, esta área se mostra vegetada, o que dificultaria, a princípio, a ocorrência de erosões.

A zona de baixa possibilidade de ocorrência está associadas a áreas de drenagem circundadas por mata ciliar, em áreas com muito baixa/ baixa susceptibilidade à erosão.

### ➤ *CENÁRIO 3*

Representa a área rural, com uso para pastagem (predomínio espacial) e cultivo de cana-de-açúcar (extremo leste e uma pequena porção a sudoeste). A presença de feições erosivas é incipiente, geralmente associadas a trilhas de gado ou materiais inconsolidados altamente suscetíveis aos processos erosivos, como o que ocorre à leste da área, na Fazenda São Sebastião e em pequenas faixas na parte central e a oeste da área, sendo que nesta última a declividade elevada é mais um fator a ser considerado. Estas características permitiram a classificação destas zonas com alta possibilidade de ocorrência de erosões.

As zonas com média possibilidade se estabelecem principalmente em áreas utilizadas para pastagem, com declividades inferiores a 20% e materiais apresentando moderada susceptibilidade à erosão. São áreas bem vegetadas e com poucos problemas relacionados aos processos erosivos.

As áreas com baixa possibilidade de ocorrência estão concentradas ao longo da rede de drenagem e em terrenos com baixa declividade, ou com altas (a sudeste da bacia) que apresentam pouca interferência antrópica, tratando-se de material rochoso em estado pouco alterado e/ou materiais inconsolidados com baixa/muito baixa susceptibilidade à erosão.



## **CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

---

### **10.1 CONCLUSÕES**

A bacia do córrego Tuncum, no município de São Pedro apresenta sérios problemas relacionados aos processos erosivos, principalmente na porção mais ao norte, onde se situam as feições erosivas mais críticas.

As informações obtidas durante a pesquisa, somadas as observações de campo, aos resultados obtidos com os ensaios de caracterização geotécnica dos materiais geológicos da área permitiram chegar as seguintes conclusões:

- ✧ Os materiais inconsolidados constituintes da bacia apresentam caráter extremamente arenoso, com variações de granulométrica de média a fina, com porosidades em torno de 40%, valores relativamente elevados dos índices de vazio e baixa resistência à erosão;
- ✧ Os materiais inconsolidados que apresentam comportamento erodível são aqueles com predominância de granulometria areia média e teor de argila menor que 15% e, os pouco erodíveis apresentam granulometria areia fina predominante e teor de argila maior que 15%;
- ✧ Os principais materiais inconsolidados que geram sérios problemas erosivos são aqueles pertencentes às unidades Rt1, Rt2, Rt4, Rt5, Rsb1, Rsb2 e Rsb3, a maior parte destas situadas na porção norte da bacia;

- ✧ Os ensaios de infiltração realizados nas feições A, B e C indicaram que condutividade hidráulica variando de  $1,93 \times 10^{-3}$  cm/s a  $6,64 \times 10^{-3}$  cm/s para os materiais inconsolidados das unidades Rt1, Rt2, Rsb1 e Rsb2, com frentes de saturação iguais ou inferiores a 1m, caracterizando estes materiais com boa permeabilidade, porém, aliado a outros fatores estas unidades se mostram altamente suscetíveis aos processos erosivos;
- ✧ Associado ao tipo de material, as áreas que apresentam alta susceptibilidade à erosão situam-se em *landforms*, cujas unidades de terreno consistiam em encostas combinadas (côncava-convexas-retílineas) com declividades que variam de 10% a maiores que 50% , facilitando o escoamento superficial e conseqüente remoção de material inconsolidado;
- ✧ As feições erosivas da área são lineares, do tipo voçorocas, originadas provavelmente a partir da concentração de fluxo de águas pluviais nas cabeceiras de drenagem.
- ✧ A evolução dos processos erosivos não está relacionada apenas ao tipo de material geológico presente, mas também, a fatores climáticos e antrópicos;
- ✧ As feições erosivas A, B, C e D apresentaram entre 1972 e 2000, modificações morfológicas significativas, tanto de caráter progressivo e acelerado (B e D) quanto no sentido de estabilização através de técnicas de controle;
- ✧ A não existência de infra-estrutura na área periférica (cenário 2) como obra de adução e captação de águas pluviais, somada a ocupação urbana que vem ocorrendo e ao material geológico susceptível à erosão faz com que está seja a área com maior possibilidade de ocorrência de erosões;
- ✧ Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) proporcionaram um tratamento qualificado às informações adquiridas, permitindo a elaboração de importantes documentos cartográficos;

## 10.2 RECOMENDAÇÕES

A partir das observações feitas ao longo da pesquisa podem ser formuladas as seguintes recomendações:

- ✧ Implementação de medidas de controle com monitoramento constante, principalmente nas feições erosivas B e D que apresentam rápido progresso, acelerado por fatores climáticos e antrópicos, como por exemplo, o lançamento de lixo na cabeceira (B) e encostas (D);
- ✧ Como ação emergencial, é preciso remover as famílias cujas moradias estejam em risco, próximas à feição erosiva B;
- ✧ É necessário a instalação de uma infra-estrutura nas áreas periféricas, com uma eficiente rede de drenagem (para a dissipação da energia das águas pluviais e servidas), construção de guias, sarjeta e asfaltamento de ruas, visto que mesmo para materiais com alta susceptibilidade aos processos erosivos estas condições são as ideais para se evitar a ocorrência de erosões;
- ✧ Os documentos cartográficos elaborados para a área podem servir de auxílio para planejadores, principalmente na definição de áreas de ocupação e na tomada de medidas preventivas.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

---

**ABNT-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1984)** - Norma: Determinação da Massa Específica do Solo: Terminologia (NBR 6508/84).

**ABNT-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1984)** - Norma: Solo- Análise granulométrica: Terminologia (NBR 7181/84).

**AGUIAR, R. L. (1989)** – Mapeamento Geotécnico da Área de Expansão Urbana de São Carlos (SP). Dissertação de Mestrado. EESC/USP. São Carlos – SP.

**AITCHISON, G. D. & GRANT, K (1976)** – The Puce program of terrain description evaluation and interpretation of engineering purposes. In Regionl Conference of Africa on soil Mechanics and Foundation Engineering, 14. Cape Town. Proceedings.

**ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (1988)** – Standard Test Method for InfiltrationRate of Soils in Field Using Double-Ring Infiltrometers. Designation: D 3385/88.

**ALBUQUERQUE, A. W., LOMBARDI NETO, F., CATANEO, A. & SRINIVASAN, V. S. (1998)** – Parâmetros erosividade da chuva e da enxurrada correlacionados com as perdas de solo de um solo Bruno não-cálcico vértico em Sumé (PB). *In: Revista Brasileira de Ciência do Solo*. Viçosa. Nº 22. p 743-749.

**ALMEIDA FILHO, G. S. (1998)** – Prevenção de erosão em áreas urbanas. *In: VI Simpósio Nacional de Controle de Erosão*. ABGE. Presidente Prudente-SP. Anais... (CD ROOM).

**AKABASSI, L. (1999)** – Estudo teórico – experimental do processo erosivo em áreas de encosta. Tese de Doutorado. EESC/USP. São Carlos – SP.

**ALMOROX, J., DE ANTONIO, R., SAA, A., DÍAZ, M. C. & GASCÓ, J. M. (1994)** – Metodos de Estimación de la Erosion Hídrica. Editorial Agrícola Española. 152p. Madrid – España.

**ALVES, L. M. (1993)** – Sistemas de Informações Geográficas como Instrumentos para o Planejamento de Uso da Terra, em Bacias Hidrográficas. Viçosa: UFV. 112p.

**ANTOINE, P. (1975)** – Carte Zermos. Géologie de l'aménagement du territoire. Paris: BR GN – SGN.

**ARAÚJO, D. E. (1995)** – Considerações sobre as obras de controle de erosão do solo urbano no estado de São Paulo. *In*: 5º Simpósio Nacional de Controle de Erosão. ABGE/UNESP. Bauru-SP. V2. p 63-68.

**BACHION, M. L. (1997)** – Mapeamento Geotécnico da Área Urbana e de Expansão da Região Metropolitana de Campinas, Escala 1: 25000. Dissertação de Mestrado. EESC/USP. São Carlos -SP.

**BARBOSA, C. C. F (1997)** – Álgebras de mapas e suas aplicações em sensoriamento remoto e geoprocessamento. Dissertação de Mestrado. INPE/São José dos Campos-SP.

**BATTANY, M. C. & GRISMER, M. E. (2000)** – Rainfall runoff and erosion in Napa Valley vineyards: effects of slope cover and surface roughness. *Hydrological Process.* Nº 14. p 1289-1304.

**BERTEN, J. (1999)** – Hydrological and soil erosion models. Project Proposal Jurjen Bertens. Appendix 2. *In*: [http://www.citimac.unican.es/gets/personal/prop\\_app.pdf](http://www.citimac.unican.es/gets/personal/prop_app.pdf).

**BERTOL, J., BEUTLER, J. F., LEITE, D. & BATISTA, O. (2001)** – Propriedades físicas de um cambissolo húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. *In*: *Scientia Agrícola.* V58. Nº 3. p 555-560.

**BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. (1999)** – Conservação do Solo. 4ª Edição. 355p. Editora Ícone. São Paulo – SP.

**BIGARELLA, J. J. & MAZUCHOWSKI, J. Z. (1985)** – Visão Integrada da Problemática da Erosão. *In: ABGE/ADEA, Maringá.* 332p.

**BOTTERWEG, P., LEEK, R., ROMSTAD, E. & VATN, A. (1998)** – The EUROSEM-GRIDSEM modeling system for erosion analyses under different natural and economic conditions. *Ecological Modelling.* N° 108. p 115-129.

**BRAGAGNOLO, N. (1992)** – Uso dos Solos Altamente Suscetíveis à Erosão. *In: PEREIRA, V. P., FERREIRA, M. E & CRUZ, M. C. P (eds).* Solos altamente suscetíveis à erosão. FCAV – UNESP/ SBCS. p 3-16. Jaboticabal.

**BRASIL (1960)** – Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado de São Paulo. Ministério da Agricultura/Serviço Nacional de Pesquisa Agrônômica. Rio de Janeiro. Boletim 12, 534p.

**BRASIL (1983)** – Manejo e conservação do solo e da água: informações técnica. Ministério da Agricultura/Secretária Nacional de Produção Agropecuária/Secretária de Recursos Naturais/ Coordenadoria de conservação do solo. Brasília. DF.66p.

**BRYAN, R. B. (2000)** – Soil erodibility and process of water erosion on hillslope. *Geomorphology.* Elsevier. N° 32. p 385-415.

**CANIL, K., IWASA, O. Y., SILVA, W. S. & ALMEIDA, L. E. G. (1995)** – Mapa de Feições Erosivas Lineares do estado de São Paulo: Uma Análise Qualitativa e Quantitativa. *In: 5º Simpósio Nacional de Controle de Erosão.* ABGE/UNES. Bauru–SP. V5. p 249-251.

**CANIL, K. (2001)** – Proposta metodológica para elaboração de cartas geotécnicas voltadas à prevenção de erosão. *In: VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão.* ABGE. Goiânia-GO. Anais... (CD ROOM).

**CARVALHO, J. & MORTARI, D. (1995)** – Formação e contenção de voçorocas no Distrito Federal. *In: 5º Simpósio Nacional de Controle de Erosão.* ABGE/UNES. Bauru–SP. V2. p 73-76.

**CARVALHO, J. C., LIMA, M. C & MORTARI, D. (2001)** – Considerações sobre prevenção e controle de voçorocas. *In: VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão*. ABGE. Goiânia-GO. Anais... (CD-ROOM).

**CATANEO, A & ZIMBACK, C. R. L. (1998)** - Definição de classes de solos susceptíveis à erosão por métodos multivariados. *In: VI Simpósio Nacional de Controle de Erosão*. CD-ROOM. 7p.

**CAVALIERI, A., HAMADA, E. & ROCHA, J. (1997)** – Estudo de Degradação do Solo com o uso do SIG-IDRISI. Caderno de Informações Georreferenciadas. V1. Nº 2. Nota Técnica 4.

**CERRI, L. E. S., SILVA, J. A. F. & SANTOS, P. H. P. (1997)** – Erosão do Solo: Aspectos Conceituais. *Revista Universidade Guarulhos. Geociências*, II (6): p 92-98.

**CERRI, C. E. P. (1999)** – Mapeamento das Áreas de Risco de Erosão dos Solos da Bacia do rio Piracicaba, utilizando Geoprocessamento. Dissertação de Mestrado. ESALQ. Piracicaba –SP.

**CHAVES, H. M. L. (1992)** – Novidades sobre o Water Erosion Prediction Project-WEPP. *In: PEREIRA, V. P., FERREIRA, M. E & CRUZ, M. C. P (eds)*. Solos altamente susceptíveis à erosão. FCAV – UNESP/ SBCS. p 207-242. Jaboticabal.

**CHAVES, H. M. L. (1995)** – Aplicação de Modelos na Previsão da Erosão. *In: 5º Simpósio Nacional de Controle de Erosão*. ABGE/UNESP. Bauru-SP. V2. p 49-54.

**CHAVES, H. M. L., SILVA, P. A. & CARLOS, R. J. (1995)** – Aplicação da USLE e SGI na predição da erosão atual e potencial a nível regional: o caso do Vale do São Francisco. *In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo*. Viçosa. 1961-1963.

**COSTA, T. C. D. (1996)** - Mapeamento Geotécnico da Porção NE de Campinas – SP, Escala 1:25.000. Dissertação de Mestrado. EESC/USP. São Carlos – SP.

**DAEE (1980)** – A atuação do departamento de águas e energia elétrica no combate à erosão urbana do Estado de São Paulo. Diretoria de Obras do Departamento de Águas e Energia Elétrica. *In : Simpósio sobre o Controle de Erosão*. ABGE. Curitiba-PR. p 05-34.

**DAEE. (1990).** Controle de erosão: bases conceituais e técnicas, diretrizes para planejamento urbano e regional; orientação para o controle de boçorocas urbanas. 2. ed. São Paulo: DAEE/IPT. 92 p.

**D'AGOSTINI, L. R. (1999)** - Erosão: o Problema mais que o Processo. Editora da UFSC. 131p. Florianópolis – SC.

**DALLA ROSA, A. (1981)** – Práticas mecânicas e culturais na recuperação de características físicas de solos degradados pelo cultivo no solo Santo Ângelo (Latosolos roxo distrófico). Dissertação de Mestrado. Faculdade de Agronomia/UFRGS. Porto Alegre – RS.

**DEARMAN, W. R. & MATULA, M. (1976)** - Environmental Aspects of Engineering Geological Mapping. Bulletin of the International Association of Engineering Geology. Nº 14. p 141-146. Krefeld.

**DE ROO, A.P.J. (1993)** - Hydrological and soil erosion models. *In:* <http://www.feweb.vu.nl/gis/research/gets/ResearchCenter/DemoContabria/appendix2.htm>

**DE ROO, A.P.J., WESSELING, C.G., CREMERS, N.H.D.T. & OFFERMANS, R.J.E. (1994)** - Lisem: a physically-based hydrological and soil erosion model incorporated in GIS. *In:* <http://www.odyssey.ursus.maine.edu/gisweb/spatdb/egis/eg94023.html>.

**EVANS, R. (1993)** – Sensivity of British Landscape to Erosion. *In:* Landscape Sensivity. John Wiley and Sons Corp. Chinchester/New York/Brisbane/Toronto/Singapore.

**FIORI, O. C. & SOARES, P. C. (1976)** – Aspectos Evolutivos das Voçorocas. Notícias Geomorfológicas. Campinas. V16. Nº 32. p 114-124.

**FONTES, S. B. (1998)** - Mapeamento Geológico com Ênfase em Erosão. Seminários Gerais em Geotecnia – SGS- 833, EESC/USP. São Carlos – SP.

**FOX, D. M. & BRYAN, R. B. (1999)** – The relationship of soil loss by interrill erosion to slope gradient. Catena. Nº 38. p 211-222. Elsevier.



**FRANCICANI, E. M. (1995)** – Influência da estrutura e tectônica no desenvolvimento das boçorocas da região de São Pedro (SP): Proposta de reabilitação e aspectos jurídicos-institucionais correlatos. Dissertação de mestrado. UNESP/Rio Claro.124p.

**FREIRE, O., GODOY, M. C. T. F. & CARVALHO, W. A. (1992)** – Erodibilidade de alguns solos do oeste do Estado de São Paulo. Revista de Geografia. São Paulo. V11. p 77-87.

**GABRIELS, D. (1999)** – The effect of slope length on the amount and size distribution of eroded silt loam soil: short slope laboratory experiments on interrill erosion. Geomorphology. Elsevier. Nº 28. p 169-172.

**GALERANI, C. A. (1995)** – Descrição das ações de controle de erosão urbana no noroeste do estado do Paraná. *In*: 5º Simpósio Nacional de Controle de Erosão. ABGE/UNESP. Bauru-SP. V2. p 69-71.

**GANDOLFI, N. (1991)** - Mapeamento Geotécnico – Perspectivas Atuais. Revista Escola de Minas. V. 44. Nº 2/3. p 273-282.

**GARCÍA-RUIZ, J. M., LASANTA, T. & ALBERTO, F. (1997)** – Soil erosion by piping in irrigated fields. Geomorphology. Elsevier. Nº 20. p 269-278.

**GUERRA, A. J. T. & CUNHA, S. B. (1995)** – Geomorfologia: Uma Atualização de Bases e Conceitos. 2ª Edição. Editora Bertrand Brasil. Rio de Janeiro – RJ.

**HUMBERT, M. (1977)** – La cartographie en France des zones exposée a des risques liee aux mouvements du sol: Cartes Zermos. Bull. IAEG. Nº 16. p 80-81.

**IPT-INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (1980)** – Cartas geotécnicas dos morros de Santos e São Vicente. *In*: Relatório 28975. V3.São Paulo.

**IPT-INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (1989)** – Controle de Erosão: Bases Conceituais e Técnicas, Diretrizes para o Planejamento Urbano e Regional. Orientação para o Controle de Boçorocas Urbanas. Instituto De Pesquisas Tecnológicas. São Paulo.

**IPT-INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (1993)** – Diagnóstico e recomendações sobre a boçoroca do córrego Tuncum, município de São Pedro, SP. Relatório nº 31675. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. São Paulo.

**IPT-INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (1994)** – Carta geotécnica do Estado de São Paulo. São Paulo. Escala 1:500.000. 2v (IPT – publicações, 2089).

**IWASA, O. Y & PRANDINI, F. L. (1980)** – Diagnóstico da Origem e Evolução das Boçorocas: condição fundamental para a preservação e correção. *In* Simpósio sobre o Controle de Erosão. ABGE. p 05-34. Curitiba-PR.

**KAIHURA, F. B. S., KULLAYA. I. K., KILASARA, M. AUNE, J. B, SINGH, B. R. & LAL, R. (1999)** – Soil quality effects of accelerated erosion and management systems in three eco-regions of Tanzania. *Soil & Tillage Research*. Elsevier. Nº 53. p 59-70.

**KINNELL, P. I. A. (2001)** - The Effect of Slope Length on Sediment Concentrations Associated with Side-Slope Erosion. *Soil Science Society of American Journal*. V 64. p 1004-1008.

**KINNELL, P. I. A. (2000)** – Particle travel distances and bed and sediment compositions associated with rain-impacted flows. *Earth Surface Processes and Landforms*. Nº 26. p 749-758.

**KIRKBY, M. J. (1980)** – Modelling water erosion process. *In* KIRKBY, M. J. and MORGAN, R. P. C. (eds). *Soil Erosion*. John Wiley & Sons.

**KRUMBEIN, W. C. & GRAYBILL, F. A. (1965)** – An introduction to statistical models in geology. McGraw Hill. 475p.

**KUNTSCHIK, G. (1996)** – Aplicação da Equação Universal de Perdas de Solo na Microbacia do Ribeirão das Araras, através de Técnicas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento. Dissertação de Mestrado. INPE. São José dos Campos-SP.

**LAL, R. (1990)** – Soil erosion in the tropics: principles and management. McGraw-Hill. New York. 580 pg.

**LAL, R. (1998)** – Soil erosion impact on agronomic productivity and environment quality. *Critical Rev. Plant. Science*. N° 17. p 319-464.

**LAL, R. (2001)** – Soil degradation by erosion. *Land degradation & development*. N° 12. p.519-539.

**LAN, T. N. (1977)** – Un nouvel essai d'identification de sols: l'essai au bleu de méthylène. *Bull. Liaison Labo. P. et ch.*, 88, mars-avr. pp 136-137.

**LEAL, M. R. L. V. (1996)** – Conservação do Solo. Projeto BRA/96/631. *CENBIO Notícias*. Ano 03. N° 8.

**LIMA, J.M., CURI, N., RESENDE, M & SANTANA, D. P (1990)**- Dispersão do material de solo em água para avaliação indireta da erodibilidade de latossolos. *Ver. Brasileira de Ciência do Solo*, 14:85-90.

**LINDSLEY, B. A. & MARDER, A. R. (1999)** – The effect of velocity on the solid particle erosion rate of alloys. *Wear* 225-229. Elsevier. p. 510-516.

**LOLLO, J. A . (1996)** – O uso de técnicas de avaliação do terreno no processo de elaboração do mapeamento geotécnico: sistematização e aplicação na quadrícula de Campinas. Tese de Doutorado. EESC/USP. São Carlos.

**LÓPEZ, T. M., AIDE, T. M. & SCATENA, F. N. (1998)** – The Effect of Land Use on Soil Erosion in the Guaduaña Watershed in Puerto Rico. *Caribbean Journal of Science*. V 34. N° 3-4. p 298-307.

**LORANDI, R., TAKEMOTO, F., SALVADOR, N. N. B. & TORRESAN, F. E. (2001)** – Carta de potencial a erosão laminar da parte superior da bacia do córrego do Monjolinho (São carlos-SP). *Revista Brasileira de Cartografia*. N° 53. p111-117.

**MACIEL FILHO, C. L. (1994)** – Introdução a Geologia de Engenharia. Santa Maria. Editora da UFSM. 284p.

**MACHADO, L. (1995)** – As estruturas em gabiões na prevenção e combate à erosão. *In: 5º Simpósio Nacional de Controle de Erosão*. ABGE/UNESP. Bauru-SP. V2. p 119-121.

**MAGALHÃES, R. A. (2001)** – Erosão: definições, tipos e formas de controle. *In*: VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão. ABGE. Goiânia-GO. Anais... (CD ROOM).

**MARQUES, J. J. G. S. M., ALVARENGA, R. C., CURI, N., SANTANA, D. P. & SILVA, M. L. N. (1997)** – Índices de erosividade da chuva, perdas de solo e fator erodibilidade para dois solos da região dos cerrados – primeira aproximação. *In*: Revista Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa. Nº 21. p427-434.

**MATULA, M. (1974)** -. Engineering geological in country and urban planning. *In*: International Congress of the International Association of Engineering Geology. Proceedings. v1. p 1-20.

**MATHEWSON, C. C. & FONT, R. G. (1973)** -. Geologic Environment: Forgotten Aspect in the Land Use Planning Process. *In* Boletim Informativo da Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. Suplemento Técnico 1. Dezembro de 1980.

**MENEGUETTE, A. (2000)** – Introdução ao Geoprocessamento. Courseware em Ciências Cartográficas UNESP/Campus de Presidente Prudente.

**MERTEN, G. H., BORGES, A. L. DE O., CASSOL, E. A. & BRAIDA, J. A. (1998)** -. Análise do uso de equações de transporte de sedimentos em modelos de previsão de erosão. *In*: VI Simpósio Nacional de Controle de Erosão. Presidente Prudente – SP. CD-ROOM. 9pg.

**MORGAN, R. P. C. (1986)** – Soil erosion and conservation. Longman Group. Inglaterra. 289p.

**NEARING, M. A. (1998)** – Why soil erosion models over-predict small soil losses and under-predict large soil losses. *Catena*. Elsevier. Nº 32. p 15-22.

**NISHIAMA, L. (1995)** – Erosão do Solo: uma visão integrada dos fatores e processos que condicionam o seu desenvolvimento. Seminários Gerais em Geotecnia – SGS- 833, EESC/USP. São Carlos – SP.

**NISHIAMA, L. (1998)** – Procedimento de Mapeamento geotécnico como base para Análises e Avaliações Ambientais do Meio Físico, em escala 1: 100.000 : Aplicação no Município de Uberlândia. Tese de Doutorado. EESC/USP. São Carlos – SP.

**NOGAMI, J. S. & VILLIBOR, D. F. (1979)** – Soil characterization of mapping units for highway purposes in a tropical area. *Bulletin of International Association of Engineering Geology*. 19. pp. 196-199.

**ODURO-AFRIYIE, K. (1996)** – Rainfall erosivity map of Ghana. *Geoderma*. Nº 74. Elsevier. p 161-166.

**OLIVEIRA, A. M. S., PONÇANO, W. L., SALOMÃO, F. X. T., DONZELI, P. L., ROCHA, G. A. & VALÉRIO FILHO, M. (1987)** – Questões metodológicas em diagnósticos regionais de erosão: a experiência pioneira da Bacia do Peixe Paranapanema – SP. *In: Anais do 4º Simpósio de Controle de Erosão*. Marília-SP.

**OVUKA, M. (2000)** – More people, more erosion? Land use, soil erosion and soil productivity in Muranga District, Kenya. *Land degradation & development*. Nº 11. p 111-124.

**OWOPUTI, L. O. & STOLTE, W. J. (2001)** – The role of seepage in erodibility. *Hydrological Process*. Elsevier. Nº 15. p 13-22.

**PEJON, O. J. (1992)** - Mapeamento Geotécnico Regional da Folha de Piracicaba–SP (Escala 1: 100.000): Estudo de Aspectos Metodológicos, de Caracterização e de Apresentação de Atributos. Tese de Doutorado: EESC/USP. São Carlos – SP.

**PEREIRA, A. R. (2001)** – Controle e recuperação de processos erosivos com técnicas de bioengenharia. *In: VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão*. ABGE. Goiânia-GO. Anais... (CD ROOM).

**PICHLER, E. (1953)**. Boçorocas. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia - SBG*, 2 (1): p.3-16.

**PINTO, J. P. Q. (2001)** – Erosão dos solos tropicais e seu controle: exemplo do Estado de São Paulo. *In: VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão*. ABGE. Goiânia-Go. Anais... (CD ROOM).

**PONÇANO, W. L. & PRANDINI, F. L. (1987)** – Boçorocas no Estado de São Paulo: Uma Revisão. *In: Anais do 4º Simpósio Nacional de Controle de Erosão*. Marília – SP. p 149-175.

**POU ROYO, A. (1988)** – La Erosion. Madrid: Ministério de Obras Públicas y Urbanismo. Centro de Publicaciones. Universidades Temáticas Ambientales/Dirección General Del Médio Ambiente. 121pg.

**PRANDINI, F. L., NAKAZAWA, V. A & FREITAS, C. G. L . de (1991)** – A cartografia geotécnica nos planos diretores regionais e municipais. São Paulo. IPT (Apostila do curso de geologia aplicada a problemas ambientais).

**RANIERI, S. B. L. (1996)** – Avaliação de métodos e escalas de trabalho para determinação de risco de erosão em bacia hidrográfica utilizando sistema de informação geográfica (SIG). Dissertação de Mestrado. , EESC/USP. São Carlos – SP.

**REGO, J. J. V. DO (1987)** – Erosão Superficial em taludes de corte em solo residual de gnaiss. Dissertação de Mestrado. UFRJ. Rio de Janeiro-RJ. 125pg.

**RIBEIRO, R. P. (2000)** – O Estudos da Erosão em Bacias Hidrográficas. Seminários Gerais em Geotecnia – SGS- 833, EESC/USP. São Carlos – SP.

**RODRIGUES, J. E. (1982)** - Estudos de Fenômenos Erosivos Acelerados – Boçoroca. Tese de Doutorado: EESC/USP. São Carlos – SP.

**RODRIGUES, J. E. & VILAR, O. M. (1984)** - Estudos da erosão interna em boçorocas através da teoria do carreamento. *In*: 4º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia. Belo Horizonte. Anais, v2. ABGE. p 163-169.

**RODRIGUES, M. (1990)** – Introdução ao Geoprocessamento. *In*: Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento. São Paulo, USP. Escola Politécnica. p.1-26.

**RODRIGUES, B. B. (1998)** - Inventário e Análise de Susceptibilidade aos movimentos de Massa Gravitacionais e Erosões na Região de Águas de Lindóia – SP – Escala 1: 10.000. Tese de Mestrado: EESC/USP. São Carlos – SP.

**RODRIGUES, R. (1995)** – Erosão em rodovias: problema a ser resolvido. *In*: 5º Simpósio Nacional de Controle de Erosão. ABGE/UNESP. Bauru-SP. V2. p 93-94.

**ROSSI, M. & PFEIFER, R. M. (1999)** – Remoção de Material erodido dos solos de pequenas Bacias Hidrográficas no Parque Estadual da Serra do Mar em Cubatão (SP). *Bragantia*, Campinas. N° 58. p 141-156.

**SÁ, C. A. (2001)** – Mapeamento de Declividades voltado para o Controle de Processos Erosivos em Sítios Florestais. Monografia de Especialização. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte - MG.

**SALOMÃO, F. X. T. (1992)** – Solos do Arenito Bauru. *In: PEREIRA, V. P., FERREIRA, M. E & CRUZ, M. C. P* (eds). Solos altamente suscetíveis à erosão. FCAV – UNESP/ SBCS. Jaboticabal. p 50-68.

**SANEJOUAND, R. (1972)** – La cartographie géotechnique en France. Paris: Laboratoire Central Ponts et Chaussées.

**SANTORO, J. (1991)** – Fenômenos Erosivos acelerados região de São Pedro-SP. Estudo da fenomenologia com ênfase geotécnica. Dissertação de Mestrado. IGCE – UNESP. Rio Claro. 139p.

**SANTORO, J. (2000)** – Análise da ocorrência de processos erosivos no município de Campinas (SP), a partir da interação entre a suscetibilidade natural à erosão hídrica e o uso e ocupação do solo. Tese de Doutorado. UNESP. Rio Claro – SP.

**SANTOS, A. R. DOS, PASTORE, E. L., AUGUSTO JÚNIOR, S. & CUNHA, M. A. (1988)** – Estradas vicinais de terra: manual técnico para conservação e recuperação. IPT. São Paulo. 125p.

**SCHMIDT, J., WERNER, M. & MICHAEL, A. (1999)** – Application of the EROSION 3D model to the CATSOP watershed, The Netherlands. *Catena*. N° 37. p 449-456. Elsevier.

**SELBY, M. J. (1993)** – Hillslope Material and Process. Oxford University Press. Second Edition. Oxford.

**SIDORCHUK, A. (1999)** – Dynamic and static models of gully erosion. *Catena*, N° 37. p 104 -414. Elsevier.

**SIGRH – SISTEMAS INTEGRADO DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DE SÃO PAULO (2002)** – Banco de dados pluviométricos do estado de São Paulo. In: <http://www.sigrh.sp.gov.br/cgi-bin/daenet.exe>.

**SOTO, B. & DÍAZ-FIERROS, F. (1998)** – Runoff soil erosion from areas of burnt scrub: comparison of experimental results with those predicted by WEPP model. *Catena*, N° 31. p 257-270. Elsevier.

**SOUZA, M. L. de (2000)** – Proposta de um Sistema de Classificação de Feições Erosivas voltados à Estudos de Procedimentos de Análises de Decisões quanto a Medidas Corretivas, Mitigadoras e Preventivas: Aplicação no Município de Umuarama (PR). Tese de Doutorado. UNESP. Rio Claro– SP.

**STEIN, D. P. (1995)** – Diagnóstico de Erosão. In: 5° Simpósio Nacional de Controle da Erosão. ABGE/UNESP. Bauru-SP. V5. p 55-57.

**TUCCI, C. E. M. (1993)** – Hidrologia. Ciência e Aplicação. Ed. Universidade/UFRGS: ABRH. 2° edição. Porto Alegre.

**UDESC (1997)** – Geoprocessamento. Departamento de Engenharia Rural. Universidade Estadual de Santa Catarina. Florianópolis- SC.

**VAZ, J. C. (1997)** – Geoprocessamento. Ação Administrativa. BNDES. Dicas, n° 94. 4p.

**VERTAMATTI, E. & ARAÚJO, F. A. R DE (1990)** – Critérios para previsão do potencial erosivo dos solos tropicais. In: 24ª Reunião Anual de Pavimentação. Belém – PA. p 327–347.

**VIDAL, I. G. (1995)** – Geogrelha e hidrossemeadura no controle de erosão. In: 5° Simpósio Nacional de Controle de Erosão. ABGE/UNESP. Bauru-SP. V2. p 131-133.

**VALÉRIO FILHO, M. & ARAÚJO JÚNIOR, G. J. L (1995)** – Técnicas de geoprocessamento e modelagem aplicadas no monitoramento de áreas submetidas aos processos de erosão no solo. In: 5° Simpósio Nacional de Controle de Erosão. ABGE/UNESP. Bauru-SP. V2. p 279-282.



**VEIHE, A., REY, J., QUINTON, J. N., STRAUSS, P., SANCHO, F. M. & SOMARRIBA, M. (2001)** – Modelling of event-based soil erosion in Costa Rica, Nicaragua and Mexico: evaluation of the EUROSEM model. *Catena*. Elsevier. N° 44. p 187-203.

**VILAR, O. M. (1987)** – Formulação de um Modelo Matemático para Erosão dos Solos pela Chuva. Tese de Doutorado. EESC/USP. São Carlos – SP.

**YOON, J. (1996)** – Watershed-Scale Nonpoint Source Pollution Modeling and Decision Support System Based on a Model-GIS-RDBMS Linkage. AWRA Symposium on GIS and Water Resources. Ft. Lauderdale.

**WEEGEL, J.R & RUSTOM, R. (1992)** – Soil erosion by rainfall and runoff state of the art. *Geotextiles and Geomembranes*. V11. p.551-572.

**WISCHMEIER, W.H. AND D.D. SMITH (1958)** - Rainfall energy and Its relation to soil loss. *Trans. Amer. Geoph. Union*. 34:2, pp.285-291.

**WISCHMEIER, W.H. AND D.D. SMITH (1978)** - Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Handbook No.537.

**WILSON, N. B. (2001)** – Development of fundamentally based detachment model. *Transaction of the ASAE*. V36. N° 4. p 1105-1114.

**ZACHAR, D. (1982)** - Soil Erosion. Brastlava, Elsevier Scientific Public. Co. 547p.

**ZUQUETTE, L. V. (1987)** - Análise Crítica da Cartografia Geotécnica e Proposta Metodológica para as Condições Brasileiras. Tese de Doutorado: EESC/USP. São Carlos (SP).

**ZUQUETTE, L.V. & GANDOLFI, N. (1988)** -.Mapeamento: Análise das Metodologias e Sistemáticas Mais Utilizadas. In: VII Congresso Latino-Americano de Geologia. V1. Belém – PA.

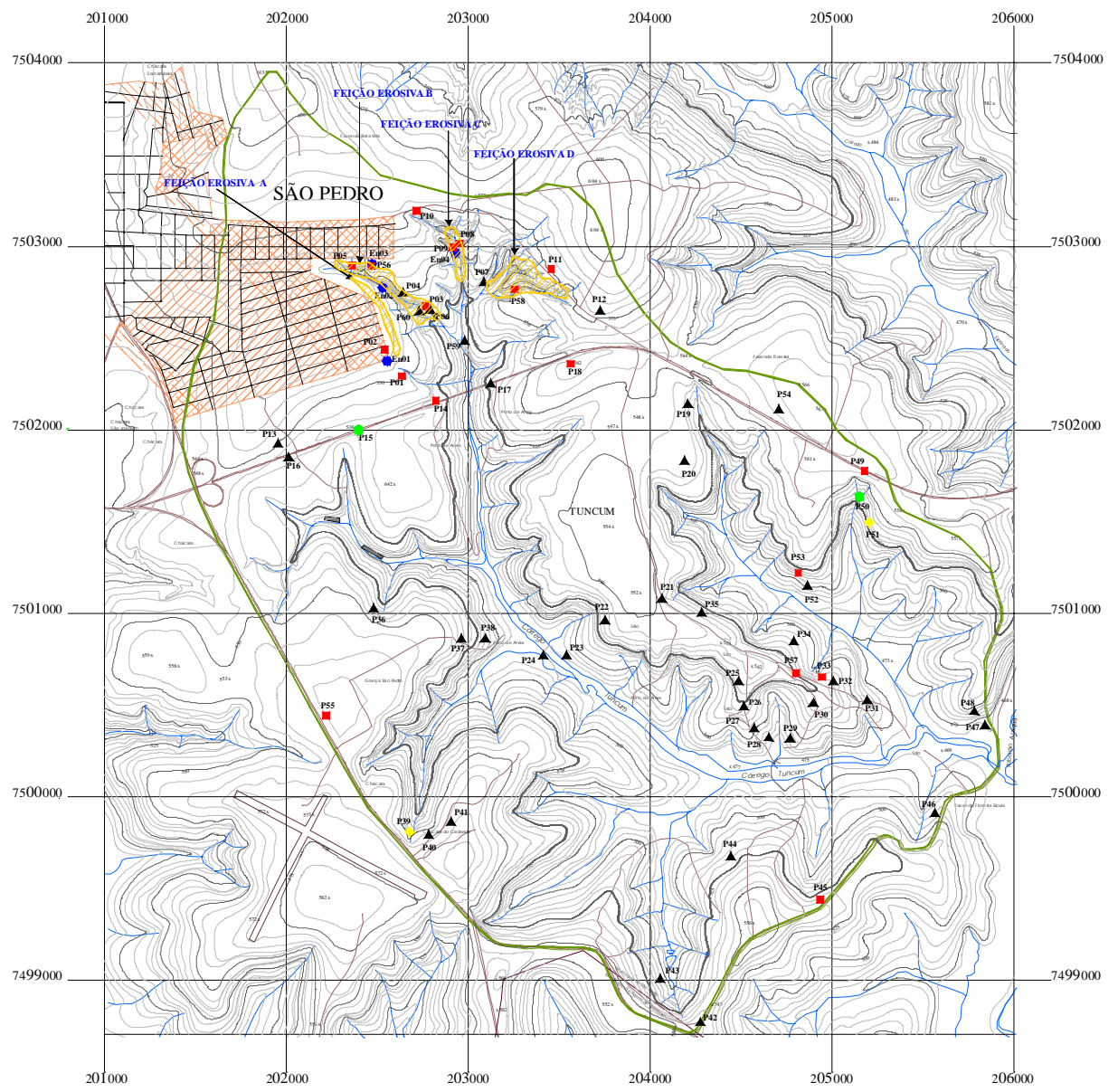
**ZUQUETTE, L.V. & GANDOLFI, N. (1991)** -.Metodologia de mapeamento Geotécnico para Áreas Municipais. In: VI Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia., IV. Belo Horizonte, ABGE. V2.

**ZUQUETTE, L. V. (1993)** – Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio físico: fundamentos e guia de elaboração. São Carlos, 2v. Tese (livre Docência)- EESC/USP.(SP).

**ZUQUETTE, L.V. & NAKAZAWA, V. A. (1998)** – Cartas de Geologia de Engenharia. *In*: Geologia de Engenharia (ABGE). Edição histórica. P 283-300. São Paulo.

ANEXO I

MAPA DE DOCUMENTAÇÃO



### LEGENDA

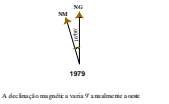
#### DADOS PRODUZIDOS

- ▲ PONTOS DE OBSERVAÇÃO/DESCRIÇÃO
- PONTOS DE AMOSTRAGEM
- ENSAIO DE INFILTRAÇÃO
- PONTO DE OCORRÊNCIA DE FEIÇÃO EROSIVA
- ◆ PONTO DE OCORRÊNCIA DE FEIÇÃO EROSIVA E AMOSTRAGEM

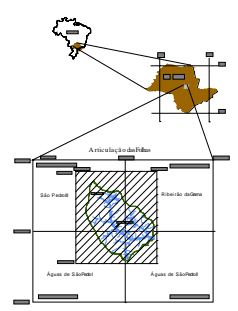
#### CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- PERÍMETRO URBANO
- ESTRADA PAVIMENTADA
- ESTRADA NÃO PAVIMENTADA
- LIMITE DA BACIA
- FEIÇÃO EROSIVA
- CURVAS DE NÍVEL COM EQUIDISTÂNCIA DE 5M
- DRENAGEM
- AEROPORTO

#### DECLINAÇÃO MAGNÉTICA



#### LOCALIZAÇÃO DA ÁREA



PROJEÇÃO UTM (UNIVERSAL TRANSVERSAL MERCATOR)  
 REFERÊNCIA HORIZONTAL - CÔRREGO ALEGRE, MG  
 REFERÊNCIA VERTICAL - MARIÓGRAFO DE IMBITUBA, SC  
 ELLIPSOIDE DE REFERÊNCIA SAD69  
 COEFICIENTE DE DEFORMAÇÃO LINEAR = 1,000000  
 MERIDIANO CENTRAL: 48° ZONA 23 SUL



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
 ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS  
 DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA



### ANEXO I

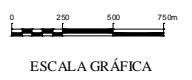
## MAPA DE DOCUMENTAÇÃO

ESCALA 1:10.000

"MAPEAMENTO GEOTÉCNICO E ANÁLISE DOS PROCESSOS EROSIVOS NA BACIA DO CÔRREGO TUNCUM, SÃO PEDRO-SP. ESCALA 1:10.000"

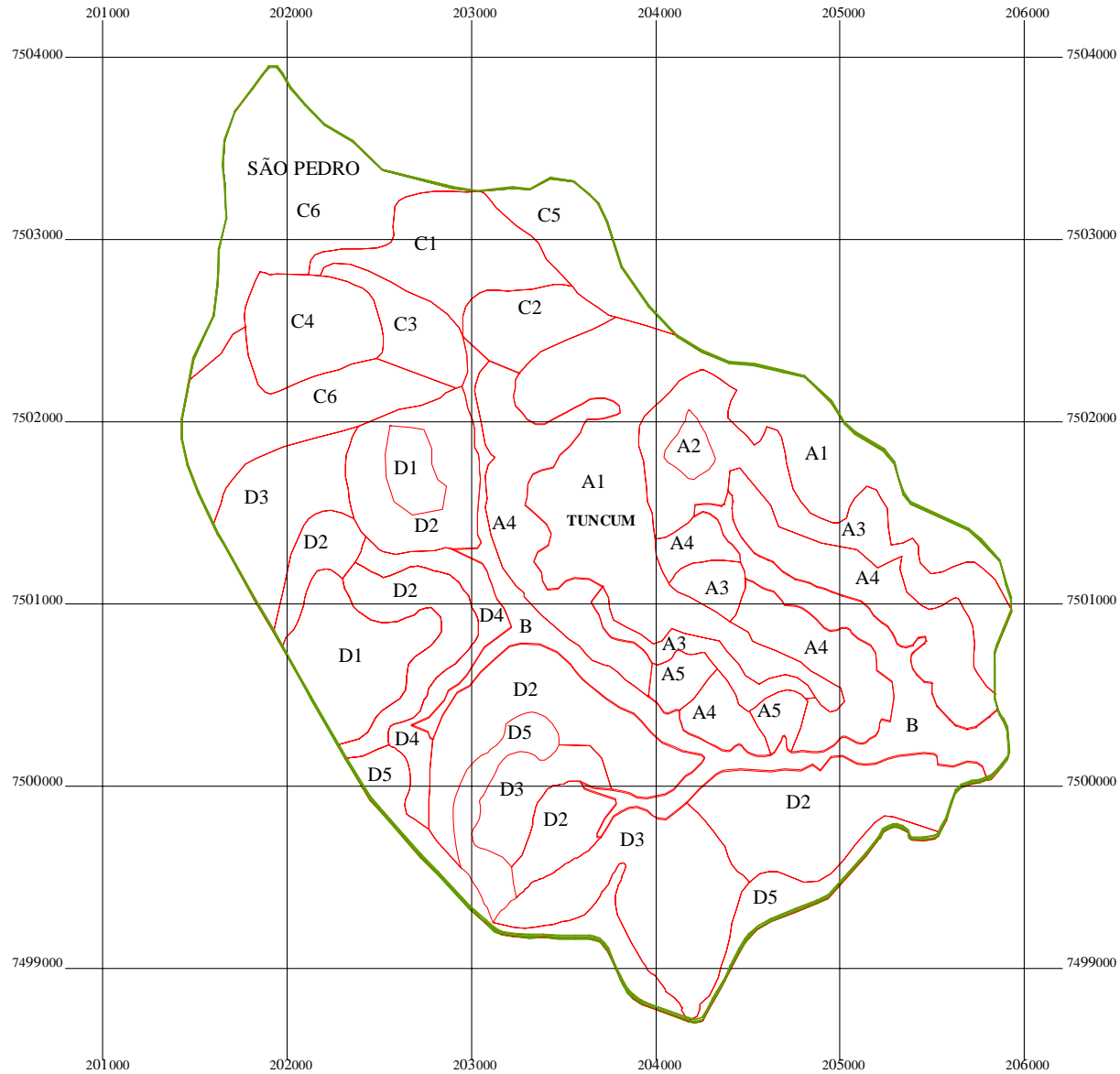
AUTOR: A. Góti. ARISTOTELINA FERREIRA DASEVA  
 ORIENTADOR: Prof. Dr. OSNI JOSÉ PEIXO

SÃO CARLOS/SP  
 2003



ANEXO II

MAPA DE *LANDFORMS*



ESCALA GRÁFICA



## LEGENDA

<b>Unidade A</b>	Unidade representada por um relevo suave sob a forma de colinas médias, com topos plano e alongados (A1) e topos angulosos (A2), apresentando encostas predominantemente convexas (A4). Ocorrem também encostas côncavas (A3) e côncavas-convexas (A5). Nesta unidade observou-se a presença de espesso pacote de material retrabalhado e perfis residuais pouco evoluídos, porém com grande espessura.
<b>Unidade B</b>	Vales abertos contendo fundo aplainado com média frequência de canais, com presença de sedimentos aluviais de pequena espessura.
<b>Unidade C</b>	Unidade representada sob a forma de colinas médias, com topos aplainados (C4), predominando encostas mistas (côncava-convexas-retilíneas) bastante dissecadas (C1), seguidas de encostas convexas-retilíneas (C2). Também, ocorrem encostas convexas (C2), côncavas-convexas (C5) e côncavas (C6). Esta unidade apresenta pacote espesso de materiais inconsolidados retrabalhados e residuais, sendo estes último com perfis bem evoluídos. Nesta unidade ocorrem os maiores problemas relacionados à erosão, situando-se nesta as feições erosivas mais críticas da bacia.
<b>Unidade D</b>	Unidade representada por colinas médias, com predomínio de topos subangulosos e alongados (D5) e topos plano (D1) em menor proporção. As encostas são predominantemente convexas (D2), ocorrendo também encostas retilíneas (D4) e côncavas (D3). Os materiais retrabalhados apresentam espessuras que variam de 2 a 7m e perfis residuais pouco evoluídos, com espessura que chegam até 15m.



## CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

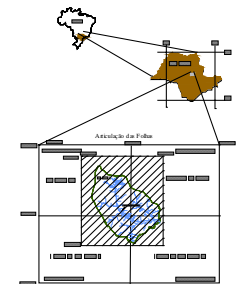
### DECLINAÇÃO MAGNÉTICA



A declinação magnética varia 9' anualmente a oeste

PROJEÇÃO UTM UNIVERSAL TRANSVERSAL MERCATOR;  
 REFERÊNCIA HORIZONTAL: CÔRREGO ALBERTO;  
 REFERÊNCIA VERTICAL: MALIBRAGO DE BUBURAC;  
 ELIPSOIDE DE REFERÊNCIA: SAD69;  
 COEFICIENTE DE DEFORMAÇÃO LINEAR: 1:1000000;  
 MÉRIDIANO CENTRAL: 45° ZONA 23 SUL

### LOCALIZAÇÃO DA ÁREA



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
 ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS  
 DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA



## ANEXO II

## MAPA DE LANDFORMS

ESCALA 1:10.000

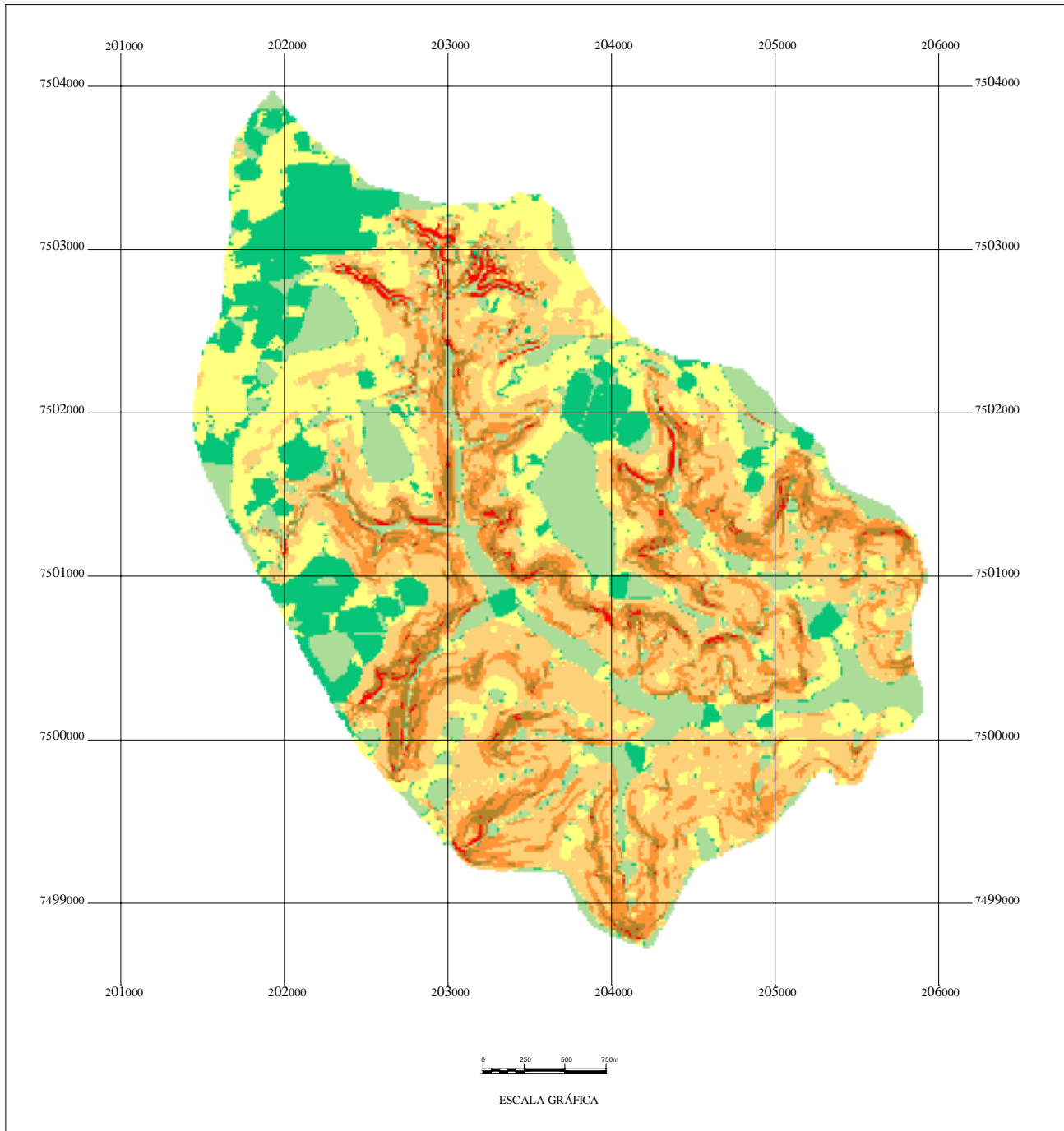
"MAPEAMENTO GEOTÉCNICO E ANÁLISE DOS PROCESSOS EROSIVOS NA BACIA DO CÔRREGO TUNCUM, SÃO PEDRO-SP, ESCALA 1:10.000"

AUTORA: Geól. ARISTOTELINA FERREIRA DA SILVA  
 ORIENTADOR: Prof. Dr. OSNI JOSÉ PEÇON

SÃO CARLOS  
 2008

ANEXO III

CARTA DE DECLIVIDADE



**LEGENDA**

- < 2%
- 2 - 5%
- 5 - 10%
- 10 - 20%
- 20 - 30%
- 30 - 50%
- > 50%

**CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS**

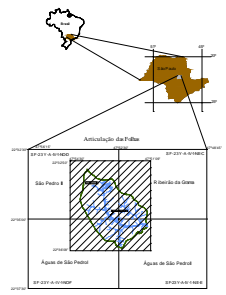
**DECLINAÇÃO MAGNÉTICA**



A declinação magnética varia 9' anualmente com

PROJEÇÃO UTM (UNIVERSAL TRANSVERSAL MERCATOR)  
 REFERÊNCIA HORIZONTAL: CÔRREGO ALZÉIR, MG  
 REFERÊNCIA VERTICAL: MARÉGRAFIA DE IMBITUBA, SC  
 ELLIPSOIDE DE REFERÊNCIA: SAD69  
 COEFICIENTE DE DEFORMAÇÃO LINEAR:  $\lambda = 1,000000$   
 MERIDIANO CENTRAL: 48° ZONA 23 SUL

**LOCALIZAÇÃO DA ÁREA**



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
 ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS  
 DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA



**ANEXO III**  
**CARTA DE DECLIVIDADE**

ESCALA 1:10.000

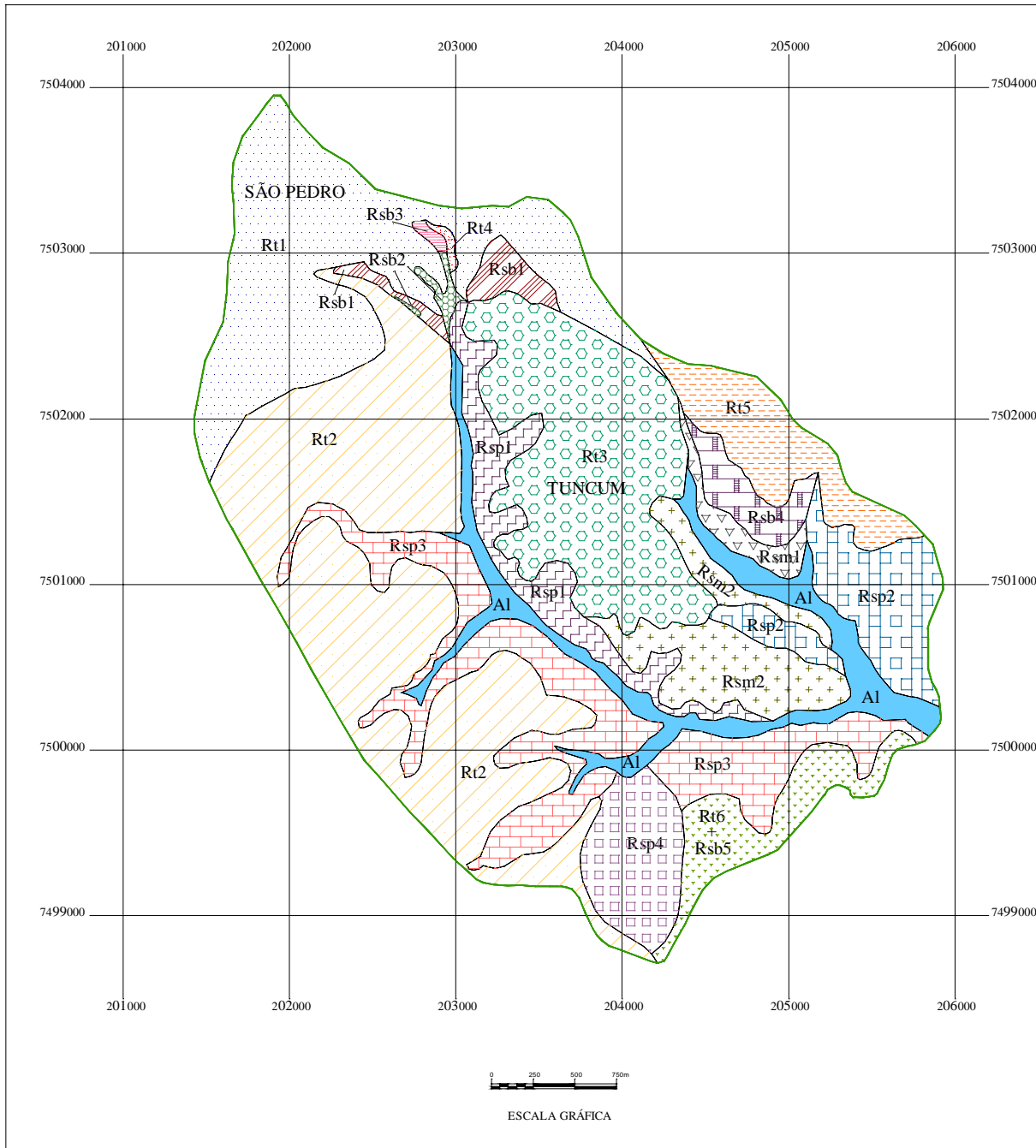
"MAPEAMENTO GEOTÉCNICO E ANÁLISE DOS PROCESSOS EROSIVOS NA BACIA DO CÔRREGO TUNCUM, SÃO PEDRO-SP, ESCALA 1:10.000"

AUTORA: Geól. ARISTOTELINA FERREIRA DA SILVA  
 ORIENTADOR: Prof. Dr. OSNI JOSÉ PEZON



## ANEXO IV

# MAPA DE MATERIAIS INCONSOLIDADOS



**LEGENDA**

	Material residual de textura arenosa, com predomínio da fração areia média, conteúdo de 20 % de finos, de coloração variando de róseo esbranquiçado a amarelado e espessura entre 5 e maiores que 20m. Material altamente susceptível à erosão constituído nos depósitos Rsb1-D.
	Material residual de textura arenosa, com predomínio da fração areia média, com pouca expressão de finos, de coloração amarelado esbranquiçado e espessura variando de 1,5 a 3m.
	Material altamente susceptível à erosão e constituído como papagaio porção arenosa de origem eólica, com conteúdo de finos menor que 20 % de coloração róseo esbranquiçado a amarelado e espessura aproximada 20m.
	Unidade presente na porção teste da bacia, constituída de material residual de textura arenosa, com predomínio de areia média, pouca expressão de finos, de coloração róseo acinzentado e espessura menor que 5,5m.
	Unidade constituída por saprolito, com textura arenosa (predomínio de areia fina) teor de argila em torno de 18 %, de coloração acinzentada e espessura entre 2 e 7m.
	Unidade constituída por arenito fino, bastante alterado, com variações de coloração entre róseo esbranquiçado a amarelado e espessura menor que 2m.
	Unidade constituída por arenito fino, pouco alterado, de coloração alaranjada, com espessuras que variam de 2 a 3m. Corresponde a uma das fácies do arenito Piratuba, sendo provavelmente fase de estagnação do depósitos Rsb.
	Unidade constituída por arenito fino e pouco alterado, apresentando estratificação plana paralela de coloração amarelado e espessura entre 2 a 3m.
	Unidade constituída por arenito fino e moderadamente alterado, de coloração variando de amarelo a róseo esbranquiçado e espessura entre 0,5 e 1,5m.
	Unidade constituída pelo mesmo arenito da unidade Rsp3, porém com espessura de aproximadamente 15m.
	Material trabalhado de textura arenosa, com predomínio da fração areia média e percentagem de finos no order de 20 %, de coloração avermelhada e espessura variando de 2 a 30m.
	Material altamente susceptível à erosão, recolhido na unidade Rsb1-Rsb5.
	Material trabalhado de textura arenosa, com predomínio da fração areia fina e percentagem de finos menor que 20 %, de coloração avermelhada e espessura variando de 0,5 a 7m.
	Material susceptível à erosão, recolhido na unidade Rsp1-Rsp4.
	Material trabalhado de textura arenosa, com predomínio da fração areia média e percentagem de finos inferior a 10 %, de coloração amarelada e espessura variando de 0,5 a 5m.
	Material susceptível à erosão, recolhido na unidade Rsp1-Rsp4.
	Unidade de material trabalhado constituída na fração arenosa C, apresentando textura arenosa, com predomínio da fração areia média e percentagem de finos menor que 20 %, contendo pequenos pedaços de argilitos e silícios. Apresenta coloração róseo esbranquiçado e espessura variando de 3 a 5m. Material susceptível aos efeitos mecânicos Rsb.
	Material trabalhado de textura arenosa, com predomínio da fração areia fina e percentagem de finos inferior a 10 %, pouca coloração avermelhada e espessura entre 0,5 e 7m.
	Unidade constituída por material residual muito arenoso, com fração areia fina e percentagem de finos menor que 20 %, de coloração avermelhada e espessura entre 1,5 e 5m. É recoberto por um material trabalhado de textura arenosa (fração areia fina) predominantemente de finos superior a 20 %, sua coloração é avermelhada e espessura variando de 0,5 a 2m.
	Traço de materiais altamente muito arenosos, de coloração amarelado esbranquiçado a róseo esbranquiçado e espessura com máximo espessura em torno de 2m.

**CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS**

**DECLINAÇÃO MAGNÉTICA**

A declinação magnética varia 9° anualmente com o tempo.

**LOCALIZAÇÃO DA ÁREA**

Mapa de localização da área de estudo no estado de São Paulo.

**PROJEÇÃO UTM (UNIVERSAL TRANSVERSAL MERCATOR)**

REFERÊNCIA HORIZONTAL - CÔRREGO ALEGRE, MG

REFERÊNCIA VERTICAL - MARÉGRAFOS DE IBIUITABA, SC

ELIPSÓIDE DE REFERÊNCIA - SAD 69

CORFICIENTE DE DEFORMAÇÃO LINEAR 1: 1.000.000

MERIDIANO CENTRAL - 45° ZONA 23SUL

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
 ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS  
 DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

**ANEXO IV**

**MAPA DE MATERIAIS INCONSOLIDADOS**

ESCALA 1:10.000

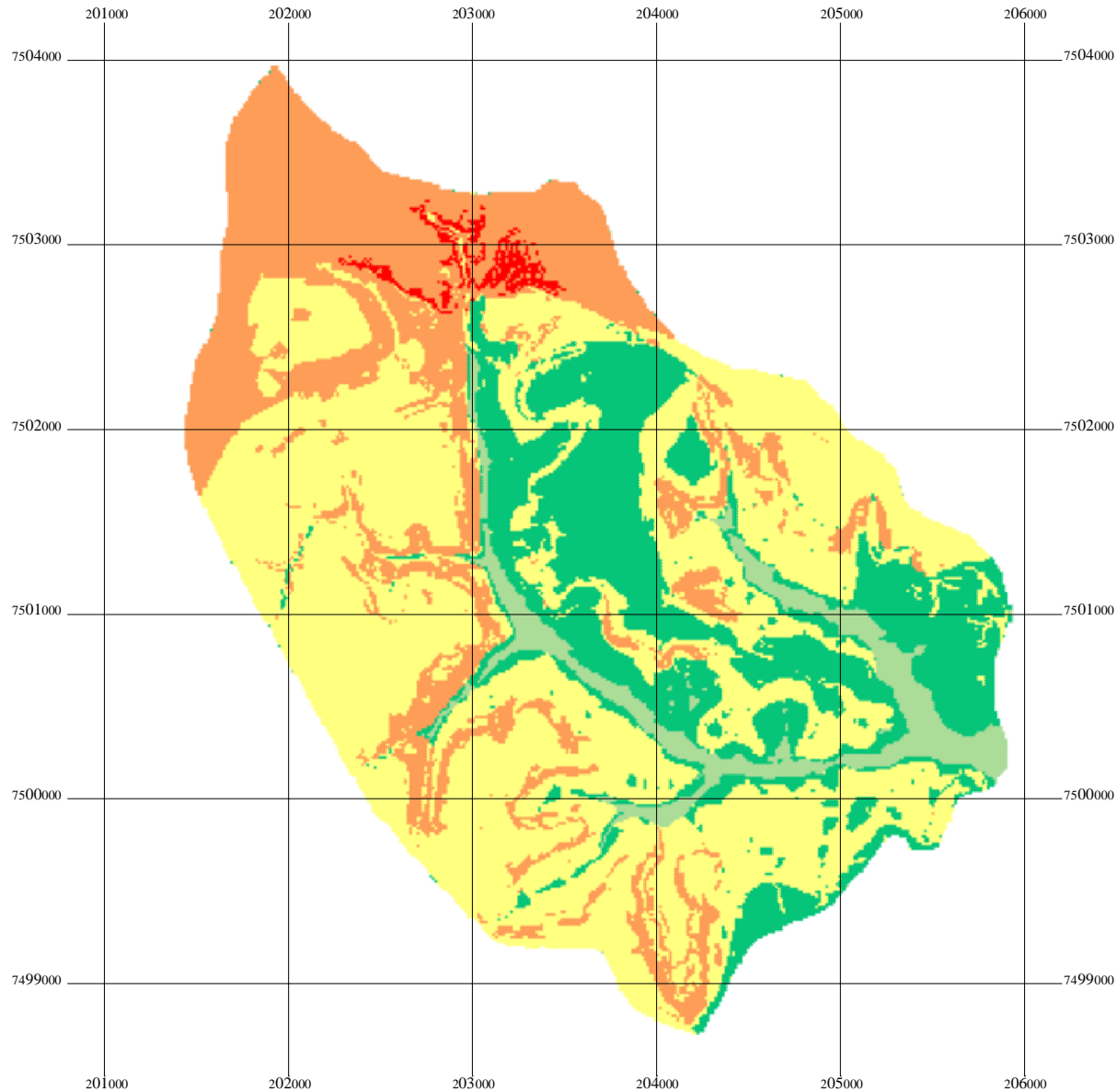
"MAPEAMENTO GEOTÉCNICO E ANÁLISE DOS PROCESSOS EROSIVOS NA BACIA DO CÔRREGO TUNCUM, SÃO PEDRO-SP, ESCALA 1:10.000"

AUTORA: Geol. ARISTO TELMA FERREIRA DA SILVA  
 ORIENTADOR: Prof. Dr. OSNI JOSÉ PERON

SÃO CARLOS-SP  
 2001

ANEXO V






CARTA DE SUSCEPTIBILIDADE À EROSÃO



ESCALA GRÁFICA

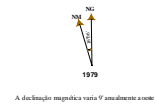


## LEGENDA

-  SUSCEPTIBILIDADE MUITO BAIXA
-  SUSCEPTIBILIDADE BAIXA
-  SUSCEPTIBILIDADE MODERADA
-  SUSCEPTIBILIDADE ALTA
-  SUSCEPTIBILIDADE MUITO ALTA

## CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

### DECLINAÇÃO MAGNÉTICA



PROJEÇÃO UTM UNIVERSAL TRANSVERSAL MERCATOR

REFERÊNCIA HORIZONTAL - CÔRREGO ALBERTO, MG

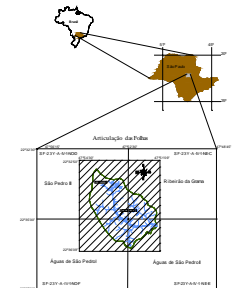
REFERÊNCIA VERTICAL - MAREGRÃO DE BARRUDA, SC

ELIPSOIDE DE REFERÊNCIA - SAD 69

COEFICIENTE DE DEFORMAÇÃO LINEAR - 1:100000

MERIDIANO CENTRAL - 47° ZONA 18S/ML

### LOCALIZAÇÃO DA ÁREA



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS  
DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA



## ANEXO V

# CARTA DE SUSCEPTIBILIDADE À EROSIÃO

ESCALA 1:10.000

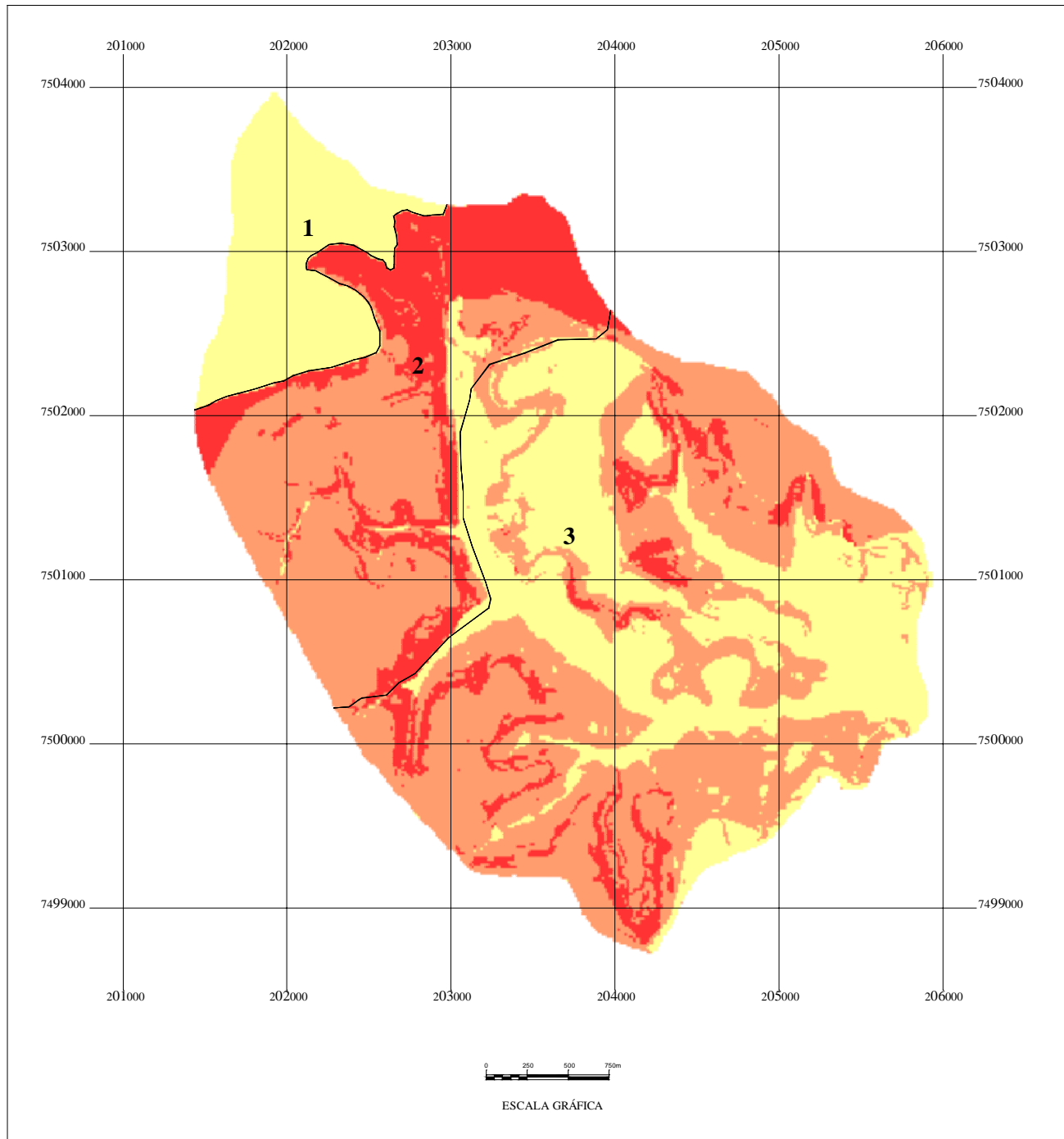
"MAPEAMENTO GEOTÉCNICO E ANÁLISE DOS PROCESSOS EROSIVOS NA BACIA DO CÔRREGO TUNCUM, SÃO PEDRO-SP, ESCALA 1:10.000"

AUTORA: Geól. ARISTOTELENA FERREIRA DA SILVA  
ORIENTADOR: Prof. Dr. OSNI JOSÉ PEÇON

SÃO CARLOS-SP  
2003

ANEXO VI

CARTA DE PROGNÓSTICO AO  
DESENVOLVIMENTO DE EROSÕES LINEARES



**LEGENDA**

**POSSIBILIDADE DE OCORRÊNCIA DE EROSÕES**

- BAIXA
- MÉDIA
- ALTA

**CENÁRIO**

- 1 ÁREA URBANA CONSOLIDADA
- 2 ÁREAS PERIFÉRICAS OU URBANA NÃO CONSOLIDADA
- 3 ÁREA RURAL

LIMITE ENTRE CENÁRIOS

**CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS**

**DECLINAÇÃO MAGNÉTICA**

A declinação magnética varia 9' anualmente a oeste

PROJEÇÃO UTM UNIVERSAL TRANSVERSAL MERCATOR  
REFERÊNCIA HORIZONTAL AL. CÔRREGO ALEGRE, MG  
REFERÊNCIA VERTICAL: MARGRAFO DE IMBITUBA, SC  
ELIPSOIDE DE REFERÊNCIA: SAD 69  
COEFICIENTE DE DEFORMAÇÃO LINEAR k: 1,000000  
MERIDIANO CENTRAL: 45° ZONA 23 SUL

**LOCALIZAÇÃO DA ÁREA**

Antevisão do Rio Tuncum

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS  
DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

**ANEXO VI**

**CARTA DE PROGNÓSTICO AO DESENVOLVIMENTO DE EROSÕES LINEARES**

ESCALA 1:10.000

"MAPEAMENTO GEOTÉCNICO E ANÁLISE DOS PROCESSOS EROSIVOS NA BACIA DO CÔRREGO TUNCUM, SÃO PEDRO-SP, ESCALA 1:10.000"

AUTORA: Geól. ARISTOTELINA FERREIRA DA SILVA  
ORIENTADOR: Prof. Dr. OSNI JOSÉ PEIXON

SÃO CARLOS-SP  
2008