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

*ESTUDOS DE MOVIMENTOS DE MASSA GRAVITACIONAIS,
PROCESSOS EROSIVOS E ÁREAS SUJEITAS A
INUNDAÇÕES NA ÁREA URBANA DE ANTONINA, LITORAL
DO PARANÁ - ESCALA 1:10.000*

VOLUME I

Rosângela Mara Tapia Lima

Serviço de Pós-Graduação EESC/USP
EXEMPLAR REVISADO
Data de entrada no Serviço: 21/12/01
Ass.: *Guilherme*

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Geotecnia.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Lázaro Valentin Zuquette

São Carlos

2001

DEDALUS - Acervo - EESC

31100036845

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidata: Geóloga **ROSANGELA MARA TAPIA LIMA**

Dissertação defendida e julgada em 03-12-2001 perante a Comissão Julgadora:

Prof. Assoc. **LÁZARO VALENTIN ZUQUETTE (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

Prof. Dr. **ADAIL RICARDO LEISTER GONÇALVES**
(Universidade Federal de São Carlos/UFSCar)

Profa. Dra. **TEREZINHA DE JESUS BONUCCELLI**
(Universidade Federal de Ouro Preto/UFOP)

JOSÉ CARLOS A. CINTRA
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Geotecnia
Presidente da Comissão de Pós-Graduação da EESC

*"Aos meus pais, Rozilda e Aurélio,
pelo amor, incentivo e apoio em
todos os momentos da minha vida".*

VOLUME I

SUMÁRIO:

LISTA DE FIGURAS:	IV
LISTA DE TABELAS:	X
AGRADECIMENTOS:	XII
RESUMO	XIII
ABSTRACT	XIV
I. INTRODUÇÃO:	2
II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA:	6
II. 1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS:	6
II. 2. MOVIMENTOS DE MASSA GRAVITACIONAIS:	6
II. 2.1. CLASSIFICAÇÕES:	6
II. 3. PROCESSOS EROSIVOS:	21
II. 3.1. CONCEITOS:	21
II. 3.2. FATORES NATURAIS E ANTRÓPICOS CONDICIONANTES DOS PROCESSOS:	25
II. 3.3. MODELAGEM DOS PROCESSOS EROSIVOS:	36
II. 4. INUNDAÇÃO:	39
II.4.1. DEFINIÇÕES:	41
II. 4.2. TIPOS DE INUNDAÇÕES:	42
II. 4.3. FATORES NATURAIS E ANTRÓPICOS CONDICIONANTES DOS PROCESSOS:	45
II.4.4. EFEITOS SOCIO-ECONÔMICOS:	52
II. 4.5. MEDIDAS DE PREVENÇÃO, CONTROLE E AVALIAÇÃO:	53
II. 4.6. FORMAS DE ESTUDO E ANÁLISE DOS RISCOS DE INUNDAÇÕES:	57

II. 5. RISCOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS:	63
II. 5.1. CONCEITOS BÁSICOS:	63
II. 5.2. MÉTODOS PARA ANÁLISE E AVALIAÇÃO DE RISCOS:	68
II. 5.3. ELABORAÇÃO DE CARTAS DE RISCO:	70
II. 5.4. PRINCIPAIS PROPOSTAS METODOLÓGICAS PARA ANÁLISE DE RISCOS E EVENTOS PERIGOSOS:	72
II.5.5. PROCEDIMENTOS PARA CÁLCULO DE RISCO:	85
II. 5.6. INVENTÁRIO:	87
III. MÉTODOS E MATERIAIS:	89
III. 1. ASPECTOS GERAIS:	89
III. 2. OBTENÇÃO DAS INFORMAÇÕES:	92
III.2.1. ETAPAS DE TRABALHO:	92
III.2.2. MATERIAIS UTILIZADOS:	97
IV. RESULTADOS E ANÁLISES	99
IV. 1. CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA:	99
IV. 1.1. LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO:	99
IV. 1.2. ASPECTOS CLIMÁTICOS:	99
IV. 1.3. GEOLOGIA REGIONAL:	100
IV. 1.4. PEDOLOGIA:	101
IV. 1.5. RECURSOS HÍDRICOS:	103
IV. 1.6. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS:	104
IV. 1.7. ASPECTOS AMBIENTAIS:	107
IV. 2. DOCUMENTOS CARTOGRÁFICOS ELABORADOS E ANÁLISES:	107
IV. 2.1. ANÁLISE DE MARÉS:	107
IV.2.2. ANÁLISE PLUVIOMÉTRICA:	110
IV. 2.3. MAPAS BÁSICOS:	114
IV.2.2. CARTAS DERIVADAS E INTERPRETATIVAS:	178
IV. 2.3. INDICAÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS PARA O PLANEJAMENTO	183
V. CONCLUSÕES:	185
VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:	188

VOLUME II

ANEXOS:

ANEXO I - Mapa planialtimétrico

ANEXO II - Mapa de documentação

ANEXO III - Mapa de bacias hidrográficas

ANEXO IV - Mapa de landforms

ANEXO V - Mapa litológico

ANEXO VI - Mapa de materiais inconsolidados

ANEXO VII - Mapa de uso e ocupação atual do solo

ANEXO VIII - Carta de declividade

ANEXO IX - Carta de direção preferencial de fluxo superficial

ANEXO X - Carta das áreas com alta predisposição aos movimentos de massa gravitacionais, processos erosivos e áreas sujeitas a inundações

LISTA DE FIGURAS:

<i>Figura 1 - Tipos de movimentos de massa associados a algumas características básicas da classificação de VARNES (1978).....</i>	<i>8</i>
<i>Figura 2 - Movimentos gravitacionais de massa devido ao recuo em vale, apresentado por HUTCHINSON (1988).....</i>	<i>9</i>
<i>Figura 3 - Alguns dos tipos de ruptura de taludes considerados por HUTCHINSON (1988).....</i>	<i>9</i>
<i>Figura 4 - Alguns tipos de fraturas confinadas, rotacionais e escorregamentos compostos, HUTCHINSON(1998).....</i>	<i>10</i>
<i>Figura 5 - Alguns tipos de rupturas translacionais adotadas por HUTCHINSON (1998).....</i>	<i>10</i>
<i>Figura 6 - Alguns tipos de movimento de detritos em forma de fluxo caracterizados por HUTCHINSON (1998).....</i>	<i>11</i>
<i>Figura 7 - Alguns tipos de tombamentos e quedas adotados por HUTCHINSON (1998).....</i>	<i>11</i>
<i>Figura 8 - Formas das vertentes (S - Plana, V - Convexa e C - Côncava), segundo RUHE (1975) apud MICHELL (1991).....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 9 - Componentes esquemáticos do balanço hidrológico próximo à superfície. Modificado de CARSON & KIRKBY (1975).....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 10 A e B - Histograma representando uma cheia comum e uma cheia de repique, respectivamente.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 11 - Causas de inundações e fatores intensificantes SMITH & WARD (1998).....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 12- Figura esquemática do canal de drenagem apresentando diferentes tipos de contribuições de águas (COCH, 1995).....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 13 - Seção apresentando os efeitos de chuvas intensas, e construção de um canal aumentando o pico de vazão da drenagem (COCH, 1995).....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 14 - Hidrograma apresentando diferentes áreas naturais e áreas ocupadas: a) rio com área vegetada (antes da urbanização); b) depois da urbanização (COCH, 1995).....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 15 - As variações do potencial humano diante de riscos de inundação (SMITH & WARD, 1998).....</i>	<i>56</i>

Figura 16 - Hidrograma resultante de uma chuva (SMITH & WARD, 1998).....	58
Figura 17 - Variáveis usadas para descrever as drenagens (observa mudanças na largura (w) e na profundidade (d) com aumento da vazão) (COCH, 1995).....	59
Figura 18 - Exemplo de uma curva de frequência de inundação (KELLER, 1992).....	61
Figura 19 - Relações entre os elementos de risco (HAYS, 1991).....	68
Figura 20 - Diferentes componentes para a avaliação do risco (LEROI, 1996).....	69
Figura 21 - Procedimentos e recursos que podem ser utilizados para o mapeamento de risco em diferentes escalas (LEROI, 1996).....	70
Figura 22 - Fluxograma da metodologia ZERMOS, adaptado de ZUQUETTE et al.(modificado)....	73
Figura 23 - Zoneamento por periculosidade de acordo com o nível e velocidade das águas (LENZI 1987).....	74
Figura 24 - Fluxograma das etapas envolvidas na metodologia GASP (1979). (adaptado de BRAND, 1988).....	77
Figura 25- Fluxograma básico para todas as metodologias, principalmente as qualitativas (RODRIGUES, 1998).....	79
Figura 26 - Fluxograma das etapas desenvolvidas durante o estudo.....	90
Figura 27 - Ficha utilizada nos trabalhos de campo	96
Figura 28 - Articulação das folhas topográficas do PROJETO PARANÁ-CIDADE (1996).....	97
Figura 29 - Mapa de localização de Antonina.....	100
Figura 30 - Mapa pedológico, elaborado pelo IAPAR (1994).....	102
Figura 31 - Mapa de compartimentação geomorfológica do Estado do Paraná (MINEROPAR,1993)	106
Figura 32 - Esboço geológico-geomorfológico da região de Antonina (modificado MINEROPAR,1993).....	106
Figura 33 - Registro do nível do mar típico observado no Porto de Antonina, PR no dia 27/01/98. Em abcissa estão indicadas as horas, e em ordenadas, as alturas de marés (m)	108
Figura 34 - Gráfico mostrando relação entre maré máxima e mínima anual. Média: 3,072822 (máx.) e 1,137178 (min) e Desvio Padrão: 0,273638(máx.) e 0,347109 (min).....	108
Figura 35 - Gráfico representado as características da maré em períodos de quadratura (lua crescente ou minguante).....	109
Figura 36 - Variações do nível de maré em Antonina (a - Nível da maré no final do dia e b- nível de maré de manhã).....	109
Figura 37 - Gráfico representando a variação mensal das marés para o mês de janeiro de 1999. (Fases lunares: 01 e 31/01/99 - Nova, 09/01 - Crescente, 17/01 Cheia e 25/01 - Minguante).....	110

<i>Figura 38 - Média das precipitações anuais em Antonina/PR, no período de 1947 - 1998</i>	<i>111</i>
<i>Figura 39 - Média das precipitações mensais em de Antonina/PR, no período de 1947 - 1998</i>	<i>112</i>
<i>Figura 40 - Gráfico representando o mês e a intensidade de chuva acumulada (1948 - 1998). 1) 601 (01/97) / 647,8 mm; 2) 624 (12/98) / 217,1 mm e 3) 535 (08/91) / 10,5 mm.....</i>	<i>112</i>
<i>Figura 41- Gráfico representando a probabilidade de ocorrer uma chuva de determinada intensidade de chuva. 1) 0,017%; 2) 46,77% e 3) 94,45%</i>	<i>114</i>
<i>Figura 42 - Classificação de drenagens segundo STHALER (1952).....</i>	<i>116</i>
<i>Figura 43 - Aplicação da Técnica de Avaliação do Terreno, modificado de COOKE & DOORNKAMP (1990, apud LOLLO, 1995).....</i>	<i>119</i>
<i>Figura 44 - Ficha auxiliar para a classificação dos landforms (Baseada em LOLLO, 1996).....</i>	<i>121</i>
<i>Figura 45 - Exemplo de Landform típico do Sistema A</i>	<i>122</i>
<i>Figura 46 - Feição típica do Sistema B ao fundo e à frente. Ao meio observa-se superfície plana, típica do Sistema C.....</i>	<i>124</i>
<i>Figura 47 - Região típica do Sistema C, com áreas de declividade baixa.....</i>	<i>125</i>
<i>Figura 48 - Afloramento de migmatito na Ponta da Pita</i>	<i>127</i>
<i>Figura 49 - Afloramento de matacões de granito de anatexia.....</i>	<i>127</i>
<i>Figura 50 - Afloramento de quartzito encontrado na Ponta do Rangel.....</i>	<i>127</i>
<i>Figura 51 - Sedimentos de mangue na região da Ponta da Pita.....</i>	<i>129</i>
<i>Figura 52 - Classificação da atividade das argilas adotadas (LAUTRIN, 1989 apud PEJON, 1992)</i>	<i>133</i>
<i>Figura 53 - Mangue, com sedimentos argilosos, ricos em matéria orgânica, sobrepostos a argilas silto-arenosas de origem flúvio-marinhas, vegetação típica.....</i>	<i>135</i>
<i>Figura 54 - Aterro não compactado nas áreas de mangues.....</i>	<i>135</i>
<i>Figura 55 - Aterro sobre mangues.....</i>	<i>136</i>
<i>Figura 56 - Material coluvionar com tamanhos diferentes, presença de blocos de migmatito e sulcos.....</i>	<i>137</i>
<i>Figura 57 - Curvas granulométricas com defloculante (argila arenosa, com 21,2% de areia e 63,5% de argila) e sem defloculante (silte arenoso, com 64,4% de silte e 31,1% de areia) para representar os diferentes comportamentos do material analisado</i>	<i>138</i>
<i>Figura 58 - Curvas granulométricas com defloculante (silte argiloso com 64,7% de silte e 33,1% de argila) e sem defloculante (silte com 97,6% de silte) para representar os diferentes comportamentos do material analisado</i>	<i>138</i>
<i>Figura 59 - Perfil observado em uma drenagem.....</i>	<i>140</i>
<i>Figura 60 - Tálus constituído por materiais de tamanhos e formas diversas, incluindo matacões. A rocha original é o migmatito (MI - 05 A).....</i>	<i>141</i>

<i>Figura 61 - Tálus constituído por materiais de origem granítica, com grande variação de formas e tamanhos. Pode ser observada uma grande concentração de matacões (MI - 05 B)...</i>	<i>141</i>
<i>Figura 62 - Tálus constituído de material de diferentes granulometrias (argilas a matacões) de diabásio (MI - 05 C).....</i>	<i>141</i>
<i>Figura 63 - Região característica de sedimento de baía.....</i>	<i>142</i>
<i>Figura 64 - Quartzito altamente fraturado e lavra desativada.....</i>	<i>142</i>
<i>Figura 65 - Curvas granulométricas com defloculante (areia siltosa, com 57% de areia e 27% de silte) e sem defloculante (areia siltosa, com 52,2% de areia e 41% de silte) para representar os diferentes comportamentos do material analisado.....</i>	<i>143</i>
<i>Figura 66 - Perfil de alteração do granito, onde se podem observar, da base para o topo, a camada de material orgânico, o material residual e o saprolítico.....</i>	<i>144</i>
<i>Figura 67 - Curvas granulométricas com defloculante (argila arenosa, com 63,7% de argila e 22,5% de areia) e sem defloculante (silte arenoso, com 68% de silte e 31,3 de areia), de solo orgânico (subunidade 1).....</i>	<i>145</i>
<i>Figura 68 - Curvas granulométricas com defloculante (areia siltosa, com 50% de areia e 45% de silte) e sem defloculante (silte arenoso, com 55,5% de silte e 44,2% de areia (subunidade 2).....</i>	<i>146</i>
<i>Figura 69 - Curvas granulométricas com defloculante (areia siltosa, com 51,5% de areia e 40,5% de silte) e sem defloculante (silte arenoso, com 45,4% de silte e 42,3% de areia) (subunidade 3).....</i>	<i>146</i>
<i>Figura 70 - Perfil de alteração representante da unidade MI - 09, onde se pode observar que o material predominante é o saprólito</i>	<i>147</i>
<i>Figura 71 - Curvas granulométricas com defloculante (argila arenosa, com 40% de argila e 36,9% de areia) e sem defloculante (silte arenoso, com 55% de silte e 35,7% de areia). Este ensaio corresponde ao ponto 19 (subunidade 1).....</i>	<i>148</i>
<i>Figura 72 - Curvas granulométricas com defloculante (silte arenosa, com 38% de silte e 30% de areia) e sem defloculante (silte arenoso, com 50% de silte e 35% de areia). Ensaio correspondente ao ponto 19 a (subunidade 2).....</i>	<i>149</i>
<i>Figura 73 - Curvas granulométricas com defloculante (silte arenoso, com 44,5% de silte e 35,72% de areia) e sem defloculante (silte arenoso, com 62,2% de silte e 35,1% de areia). Ensaio correspondente ao ponto 48 e camada de material residual. (subunidade 1)...</i>	<i>150</i>
<i>Figura 74 - Curvas granulométricas com defloculante (areia siltosa, com 48,6% de areia e 45,4% de areia) e sem defloculante (areia siltosa, com 54% de areia e 401% de silte). Ensaio correspondente ao ponto 48 e à camada moderadamente alterada (Classe I).....</i>	<i>151</i>
<i>Figura 75 - Solo residual do migmatito 2.....</i>	<i>152</i>

Figura 76 - Curvas granulométricas com defloculante (silte argiloso, com 58,8% de silte e 26,2% de argila) e sem defloculante (silte arenoso, com 85,2% de silte e 14,8% de areia). Corresponde ao topo do ponto 08 (subunidade 1).....	153
Figura 77 - Curvas granulométricas com defloculante (silte argiloso, com 47,5% de silte e 25% de argila) e sem defloculante (silte arenoso, com 73,6% de silte e 26,4% de areia). Ensaio correspondente ao ponto 08 (subunidade 1).....	154
Figura 78 - Curvas granulométricas com defloculante (silte argiloso, com 46,3% de silte e 29,0% de argila) e sem defloculante (silte arenoso, com 81,1% de silte e 18,9% de areia), (subunidade 3).....	154
Figura 79 - Curvas granulométricas com defloculante (silte argiloso, com 54,8% de silte e 26,7% de argila) e sem defloculante (silte arenoso, com 80% de silte e 20% de areia). Ensaio correspondente ao ponto 09 (nível basal) (subunidade 3 A).....	155
Figura 80 - Solo residual do diabásio, com presença de blocos.....	156
Figura 81 - Curvas granulométricas com defloculante (argila siltosa, com 57,4% de argila e 26,6% de silte) e sem defloculante (silte arenoso, com 74% de silte e 26% de areia). Corresponde ao ponto 11.....	157
Figura 82 - Vista parcial da área urbana (mirante do Morro do Bom Brinquedo).....	158
Figura 83 - Sambaqui, constituído por conchas, cerâmicas e ossos (Margens do Rio Nhundiaquara)	159
Figura 84 - Exemplo de aterro sobre mangue.....	160
Figura 85 - Visão lateral de uma casa construída com parte de suas fundações diretamente no mangue e outra parte em aterro sobre o mangue.....	161
Figura 86 - Casa apresentada na figura anterior vista de frente (observar inclinação da parede junto ao muro).....	161
Figura 87 - Esgoto lançado diretamente sobre o mangue.....	161
Figura 88 - Localização de depósito de lixo atual ("lixão") em encosta de um morro com intensa vegetação ao redor.....	162
Figura 89 - Depósito de lixo ("Lixão"), presença de vetores e contaminação de drenagem.....	163
Figura 90 - Presença de água contaminada por chorume em drenagem próxima ao depósito de lixo	163
Figura 91 - Rolamento de blocos de granito no Morro do Bom Brinquedo.....	168
Figura 92 - Rolamento de blocos de diabásio no Morro da Caixa d'água.....	168
Figura 93 - Desenho esquemático de deslizamentos e queda de blocos em encostas.....	169
Figura 94 - Escorregamento em encosta associado a cortes inadequados no Morro da Caixa d'água. Observar "obra de contenção" improvisada.....	169

<i>Figura 95 - Escorregamento associado a corte de talude.....</i>	<i>170</i>
<i>Figura 96 - Casa construída em encosta, onde foram observadas fendas e movimentação do solo</i>	<i>170</i>
<i>Figura 97 - Sulcos e ravinamentos</i>	<i>172</i>
<i>Figura 98 - Voçoroca, observada em antiga área de retirada de terra.....</i>	<i>172</i>
<i>Figura 99 - Erosão em virtude de abertura de estrada (ponto 48).....</i>	<i>173</i>
<i>Figura 100 - Erosão associada à estrada.....</i>	<i>173</i>
<i>Figura 101 - Fendas observadas na erosão apresentada na Figura 104 (vista do alto).....</i>	<i>173</i>
<i>Figura 102 - Mapa de feições de movimentos de massa gravitacionais e feições erosivas</i>	<i>174</i>
<i>Figura 103 - Área ocupada inadequadamente que sofre influência direta de marés.....</i>	<i>176</i>
<i>Figura 104 - Área ocupada inadequadamente que sofre influência direta de marés (observar lançamento de esgoto diretamente nas águas)</i>	<i>176</i>
<i>Figura 105 - Carta de predisposição a inundações.....</i>	<i>177</i>

LISTA DE TABELAS:

<i>Tabela 1 - Principais tipos e subtipos da classificação de VARNES (1978).....</i>	<i>7</i>
<i>Tabela 2 - Classificação dos movimentos de massa subaéreos, proposta por HUTCHINSON (1988).....</i>	<i>8</i>
<i>Tabela 3 - Classificação dos movimentos de massa gravitacionais proposta por FREIRE (1965)....</i>	<i>12</i>
<i>Tabela 4 - Agentes/causas dos escorregamentos e processos correlatos, segundo GUIDICINI e NIEBLE (1976).....</i>	<i>13</i>
<i>Tabela 5 - Classificação dos processos de instabilização de encostas típicas da Serra do Mar, segundo WOLLE (1988).....</i>	<i>14</i>
<i>Tabela 6 - Características principais dos grandes grupos de processos de escorregamento no "lato sensu" AUGUSTO FILHO (1994).....</i>	<i>15</i>
<i>Tabela 7 - Classificação de Voçorocas, segundo FENDRICH (1997).....</i>	<i>24</i>
<i>Tabela 8 - Processos de inundações (FORNASARI FILHO, 1972).....</i>	<i>47</i>
<i>Tabela 9 - Resumo dos mapas resultantes e os fatores considerados na metodologia de EINSTEIN (1988).....</i>	<i>78</i>
<i>Tabela 10 - Resultado da análise das metodologias (RODRIGUES, 1998).....</i>	<i>79</i>
<i>Tabela 11 - Atributos que são relacionados aos movimentos de massa gravitacionais.....</i>	<i>81</i>
<i>Tabela 12 - Atributos que devem ser levantados nos processo de mapeamento geotécnico global, a partir dos quais podem ser elaboradas cartas interpretativas e derivadas (Modificado de ZUQUETTE, 1993).....</i>	<i>83</i>
<i>Tabela 13 - Fotoíndice da área de estudo, escala 1:10.000/ 1991 (PROJETO PARANACIDADE (Antigo FAMEPAR)).....</i>	<i>98</i>
<i>Tabela 14 - Caracterização das bacias quanto à ordem e à área.....</i>	<i>117</i>
<i>Tabela 15 - Termos utilizados para a descrição de unidades de terreno e seus critérios de descrição. Modificado de LOLLO (1996).....</i>	<i>120</i>
<i>Tabela 16 - Unidades litológicas e principais litologias caracterizadas na área.....</i>	<i>126</i>
<i>Tabela 17 - Terminologia para a descrição de alteração do material rochoso (ISRM, 1993).....</i>	<i>130</i>

<i>Tabela 18 - Composição mineralógica da fração fina dos materiais (PEJON, 1992).....</i>	<i>133</i>
<i>Tabela 19 - Caracterização textural da unidade MI-03 (com e sem defloculante).....</i>	<i>137</i>
<i>Tabela 20 - Caracterização dos índices físicos da unidade MI-03.....</i>	<i>139</i>
<i>Tabela 21 - Caracterização da fração fina do solo pelo método de adsorção do azul de metileno da Unidade MI-03.....</i>	<i>139</i>
<i>Tabela 22 - Caracterização textural da unidade MI-07 (com e sem defloculante).....</i>	<i>143</i>
<i>Tabela 23 - Caracterização da fração fina do solo pelo método de adsorção do azul de metileno da Unidade MI-07.....</i>	<i>144</i>
<i>Tabela 24 - Caracterização textural da unidade MI-08 (com e sem defloculante).....</i>	<i>145</i>
<i>Tabela 25 - Caracterização dos índices físicos da unidade MI-08.....</i>	<i>147</i>
<i>Tabela 26 - Caracterização da fração fina do solo pelo método de adsorção do azul de metileno da Unidade MI-08.....</i>	<i>147</i>
<i>Tabela 27 - Caracterização textural da unidade MI-09 (com e sem defloculante).....</i>	<i>148</i>
<i>Tabela 28 - Caracterização dos índices físicos da unidade MI-09.....</i>	<i>149</i>
<i>Tabela 29 - Caracterização da fração fina do solo pelo método de adsorção do azul de metileno da Unidade MI-09.....</i>	<i>149</i>
<i>Tabela 30 - Caracterização textural da unidade MI-10 (com e sem defloculante).....</i>	<i>150</i>
<i>Tabela 31 - Caracterização dos índices físicos da unidade MI-09.....</i>	<i>151</i>
<i>Tabela 32 - Caracterização da fração fina do solo pelo método de adsorção do azul de metileno da Unidade MI-09.....</i>	<i>151</i>
<i>Tabela 33 - Caracterização textural da unidade MI-11 (com e sem defloculante).....</i>	<i>153</i>
<i>Tabela 34 - Caracterização dos índices físicos da unidade MI-11.....</i>	<i>155</i>
<i>Tabela 35 - Caracterização da fração fina do solo pelo método de adsorção do azul de metileno da Unidade MI-11.....</i>	<i>155</i>
<i>Tabela 36 - Caracterização textural da unidade MI-12 (com e sem defloculante).....</i>	<i>156</i>
<i>Tabela 37 - Caracterização dos índices físicos da unidade MI-12.....</i>	<i>157</i>
<i>Tabela 38 - Caracterização da fração fina do solo pelo método de adsorção do azul de metileno da Unidade MI-12.....</i>	<i>157</i>
<i>Tabela 39 - Resultado geral do cadastro das feições.....</i>	<i>164</i>
<i>Tabela 40 - Cadastro de feições de movimento de massa e erosivas.....</i>	<i>165</i>
<i>Tabela 41 - Classes de declividade utilizadas na área estudada com seus respectivos limites de intervalos, ângulos de inclinação, área ocupada por cada classe (%) e justificativa (adaptação de LEPSCH, 1983 e MINEROPAR, 1993).....</i>	<i>180</i>

AGRADECIMENTOS:

Ao Prof. Dr. Lázaro Valentin Zuquette pela orientação, apoio, paciência e dedicação a este trabalho.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pela bolsa de mestrado concedida e reserva técnica.

Aos professores e funcionários do Departamento de Geotecnia da EESC/USP, pela formação acadêmica e disponibilização da infra-estrutura fornecida durante a execução do trabalho.

Ao Prof. Msc. Renato Eugenio de Lima, por todo o apoio e incentivo durante a formação acadêmica e por despertar o interesse por questões ambientais.

À Prefeitura de Antonina/PR, pelas informações fornecidas e pela atenção dispensada.

Ao DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica) do Paraná e a SANEPAR (Companhia de Saneamento do Paraná), ao CEM (Centro de Estudos do Mar - UFPR), pelos dados fornecidos.

Ao PROJEJO PARANÁ CIDADE pelos mapas e fotos cedidos.

Ao Sr. Genésio, técnico da MINEROPAR, pelo auxílio na coleta de amostras no campo.

À equipe de socorro ao "Plotter": Osni, Gilberto e Herivelto.

Ao André, pela compreensão e companhia durante o período.

Aos amigos, pela troca de conselhos, incentivos e companhia recebidos durante o desenvolvimento do trabalho.

E a todos aqueles que colaboraram direta ou indiretamente para o êxito deste trabalho.

RESUMO

LIMA, R. M. T. Estudos de movimentos de massa gravitacionais, processos erosivos e áreas sujeitas a inundações na área urbana de Antonina, litoral do Paraná - Brasil. São Carlos, 2001.2v. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Apresentam-se neste trabalho os resultados obtidos no estudo de movimentos de massa gravitacionais, processos erosivos e áreas sujeitas a inundações na área urbana de Antonina, litoral do Paraná.

Inicialmente são apresentadas as principais classificações e metodologias para a identificação dos processos de movimentos de massa gravitacionais, processos erosivos e áreas sujeitas a inundações e elaboração de documentos.

Na área foram mapeadas 85 feições, entre movimentos de massa gravitacionais e feições erosivas com características geológico-geotécnicas diversas e também foram selecionadas áreas sujeitas a inundações.

Os documentos cartográficos elaborados foram os seguintes: mapa altimétrico, mapa de documentação, mapa de bacias hidrográficas, mapa litológico, mapa de materiais inconsolidados, mapa de landforms, mapa de uso e ocupação do solo, mapa de feições de movimentos de massa gravitacionais e processos erosivos (inventário), carta de declividade, carta de direção preferencial de fluxo de águas superficiais. E por fim, a carta das áreas com alta predisposição aos movimentos de massa gravitacionais, aos processos erosivos e inundações, que apresenta a distribuição dos processos na área. Todos estes documentos foram elaborados na escala 1:10.000.

Palavras chaves: Movimentos de massa gravitacionais, processos erosivos, inundações, Antonina e Paraná.

ABSTRACT

LIMA, R. M. T. Studies of gravitational mass movements, erosive processes and flooded areas in the urban area of Antonina, coast of Paraná - Brazil. São Carlos, 2001.2v. Dissertation - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

This research focuses on the gravitational mass movements, erosive processes and flooded areas in the urban area of Antonina, coast of Paraná, Brazil.

The main classifications for the identification of gravitational mass movements and erosive processes as well as areas subject to floods and elaboration of documents are presented initially.

In the area 85 features of erosion and gravitational mass movements with different geological-geotechnical characteristics were mapped and flooded zones were delimited.

The cartographic documents elaborated are: topographical map, documentation map, hydrographic basin map, lithologic map, unconsolidated materials map, landform map, soil use and occupation map, gravitational mass movements and erosive processes features map (inventory map), slope chart and surface water flow chart. Finally the gravitational mass movements, erosive processes and flooded predisposition zone high chart are presented with the distribution of the processes in the area studied. All these documents were elaborated at scale 1:10,000.

Key words: Gravitational mass movements, erosive processes, flood, Antonina, Paraná, Brazil.

I. INTRODUÇÃO:

Os movimentos de massa gravitacionais, processos erosivos e as inundações fazem parte da evolução natural do meio físico e da alteração do relevo; muitas vezes a interferência antrópica, provoca uma aceleração desses processos naturais do meio ambiente. Condições socioeconômicas e intensa urbanização são alguns fatores que contribuem para a instalação de situações de risco em áreas urbanas.

Acidentes em áreas urbanas associados à enchente/inundação são os mais frequentes e, provavelmente, os que acarretam maiores prejuízos econômicos e os escorregamentos são os que têm provocado maior número de vítimas fatais.

De acordo com RODRIGUES (1998), o primeiro passo para tentar solucionar ou minimizar os problemas relacionados à ocorrência dos movimentos de massa gravitacionais e os processos associados deve ser a caracterização desses processos e dos atributos do meio físico que neles influenciam. A partir destes dados, deve-se verificar a relação entre os tipos de processos e atributo, de modo que seja possível, posteriormente, estabelecer modelos de comportamento e hierarquização das áreas submetidas à ocorrência desses fenômenos, e assim permitir uma previsão de futuros problemas e intervenções.

Segundo RODRIGUES (1998), os movimentos de massa gravitacionais em regiões montanhosas e outros fenômenos associados, principalmente erosões, fazem parte da evolução natural do meio físico e alteração do relevo.

A aceleração desses processos naturais, muitas vezes, é provocada pela interferência do Homem na alteração do meio ambiente. A exploração dos recursos naturais sem muito critério e a ocupação desordenada do meio físico podem ser observadas nas principais cidades do Brasil e são alguns exemplos dessas ações antrópicas.

A ONU (Organização das Nações Unidas) promoveu a década de 1990-2000, como a Década Internacional de Redução de Desastres Naturais (CRUDEN *et al.*,

1994). Para os movimentos de massa gravitacionais foi criado o comitê ou grupo de trabalho para auxiliar a UNESCO (United Nations Education, Scientific and Cultural Organization) e a UNDRO (United Nations Disaster Relief Organization) no levantamento e entendimento dos diversos movimentos gravitacionais de massa que ocorrem no mundo todo. Os membros desse comitê são técnicos de diferentes países, indicados pelas associações internacionais, IAEG (International Association of Engineering Geology), ISRM (International Society of Rock Mechanics) e ISSMFE (International Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering) e USGS (United States Geological Survey). O objetivo deste comitê é a elaboração do "World Landslides Inventory", com a colaboração de técnicos de todos os países que apresentam regiões submetidas a esses fenômenos, por meio do levantamento dos tipos de movimentos, fatores causadores, aspectos geológicos, atividade, etc. Outro objetivo é a realização de encontros técnicos regionais, nacionais e internacionais, para o estudo, divulgação e discussão do problema (RODRIGUES, 1998).

→ A ocupação desordenada ao longo das encostas, a disposição de diversos tipos de rejeitos e resíduos, a contaminação de mananciais que geralmente abastecem as regiões ocupadas, a retirada da cobertura vegetal e outras situações de degradação ambiental, pela expansão urbana nestas áreas, prejudicam a qualidade de vida da população. Estes problemas estão relacionados a questões sociais, econômicas e culturais no país (SOUZA, 1996).

Os acidentes geológicos no Brasil, em geral, estão relacionados com a dinâmica externa da Terra (escorregamentos, erosões aceleradas, enchentes etc.) (SOUZA, 1996).

Segundo SOLOMATINE (1987), as inundações estão classificadas entre os mais desastrosos fenômenos naturais. As inundações são particularmente destrutivas nas planícies de inundações e em terreno de nível baixo, requerendo, nestes casos, os mais extremados sistemas de mitigação. As medidas de prevenção podem ser de ordem local, ou podem exigir trabalhos de engenharia por toda a bacia de um determinado rio. Segundo dados da UNDRO, de todos os desastres naturais, são as inundações as que mais perdas têm trazido à humanidade (não de vidas humanas, mas, sim, socioeconômicas). E paradoxalmente, de todos os fenômenos naturais, são elas que mais

possuem possibilidades de previsão: senão "quando" o fenômeno vai ocorrer (pois não existem ainda meios eficientes de muita antecipação), com precisão quase absoluta pode-se dizer "onde" o fenômeno vai acontecer.

→ ZUQUETTE (1993) enfatiza que o mapeamento geotécnico tem se destacado, desde o início deste século, como um conjunto de procedimentos para a obtenção, análise e apresentação das informações sobre o meio físico em diferentes países e diz também que a importância do processo de planejamento para um determinado local, que pode ser regional (>500 km²), englobando diferentes tipos de ocupação (rural, urbana e regional) com a execução de mapeamento nas escalas 1:25.000, 1:100.000 e 1:50.000, ou urbano, abrangendo os centros urbanos com as suas zonas de expansão, nas escalas de mapeamento 1:25.000, 1:10.000, 1:5.000 e >1:2.000, que são consideradas mais adequadas.

A cidade de Antonina, localizada no litoral do estado do Paraná, apesar de ser uma cidade com densidade populacional baixa, foi escolhida para este trabalho por apresentar uma tendência de crescimento em virtude do avanço turístico da região e da atual reativação do Porto Barão de Tefé e da abertura de uma nova estrada, que ligará o porto a BR277.

A região ocupa as margens da baía de Antonina, constituída por áreas planas e morros com encostas íngremes. A retirada da vegetação e da ocupação desordenada podem gerar condições muito favoráveis aos processos em análise. A ocorrência de movimentos de massa favorece o assoreamento dos canais e da zona do píer do porto, influenciando a ocorrência de inundações e dificultando o movimento de embarcações no porto. Além disso, devido à falta de estudos específicos, falta de fiscalização por parte dos órgãos de planejamento e de repasse das informações para a população no que diz respeito ao uso e ocupação do solo e suas consequências, esta expansão ocorre sem considerar situações onde os processos poderão instalar-se. Outro aspecto que motivou a execução deste trabalho foi a constatação preliminar de casos de ocupação inadequada de áreas de mangue e encostas, erosão acentuada e inundações e o intenso desmatamento em áreas de alta declividade (propensas a escorregamentos).

→ Os objetivos principais deste trabalho consistem em:

➤ Avaliar as características geológico-geotécnicas na área urbana de Antonina,

localizada no litoral do norte do estado do Paraná, abrangendo uma área de aproximadamente 70 km² e delimitar as zonas mais favoráveis à ocorrência dos movimentos de massa gravitacionais, processos erosivos e as áreas sujeitas à inundação.

- Aplicar das metodologias de EINSTEIN (1998) e ZUQUETTE (1987 e 1993).
- Fornecer subsídios para o planejamento de processos de ocupação urbana e industrial, principalmente em relação à manutenção e preservação.

Nos capítulos seguintes, são apresentados a descrição e discussão dos aspectos levantados nesse trabalho.

- Capítulo II, apresenta-se a revisão bibliográfica e discussão sobre os diferentes tipos de movimentos de massa gravitacionais, processos erosivos, inundação e riscos geológico-geotécnicos.
- Capítulo III, descreve-se os materiais e métodos utilizados no levantamento dos processos, atributos e análises.
- Capítulo IV, apresenta-se os resultados obtidos para a região de Antonina e a análise desses resultados.
- Capítulo V, estão resumidas as principais conclusões obtidas nas análises e discussões dos resultados.

II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA:

II. 1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS:

Neste capítulo são abordados os fundamentos teóricos mais relevantes que embasaram o desenvolvimento deste trabalho, relacionados aos tipos de movimentos de massa gravitacionais, processos erosivos e inundação.

Primeiramente, procurou-se descrever a caracterização desses processos quanto aos aspectos conceituais e os fatores naturais e antrópicos.

Em seguida, foram feitas referências aos riscos geológico-geotécnicos, com conceitos básicos, avaliação e elaboração, principais metodologias para a elaboração de cartas de risco e procedimentos para cálculos de risco.

II. 2. MOVIMENTOS DE MASSA GRAVITACIONAIS:

II. 2.1. CLASSIFICAÇÕES:

As classificações associadas aos movimentos de massa gravitacionais normalmente se baseiam em características da geometria, dinâmica das superfícies, tipos de materiais, cinemática do movimento e morfologia dos processos.

Diversas classificações são encontradas na literatura, sendo que as mais utilizadas internacionalmente, inclusive pela IAEG e ISRM, são as de VARNES (1978) e HUTCHINSON (1988). E entre as nacionais podem ser citadas as classificações de FREIRE (1965), WOLLE (1988) e AUGUSTO FILHO (1994).

Existem muitas classificações de movimentos de massa gravitacionais, em

virtude de os estudos serem realizados em diversos países e por diferentes profissionais com objetivos diferentes.

A classificação de VARNES (1978) é muito utilizada e considerada pela International Association of Engineering Geology (IAEG) como a classificação oficial (Tabela 01). A Figura 01 apresenta um esquema que busca representar as feições básicas de cada tipo de movimento.

Tabela 1 - Principais tipos e subtipos da classificação de VARNES (1978)

TIPO DE MOVIMENTO			TIPO DE MATERIAIS		
			Substrato rochoso	Solos para engenharia civil	
				Grossos	Finos
Quedas			de rochas	de detritos	de solos
Tombamentos			de rochas	de detritos	de solos
Escorregamentos	Rotacional	Poucas unidades	abatimento de rochas	abatimento de detritos	abatimento de detritos
	Translacional	Muitas unidades	de blocos rochosos de rochas	de blocos de detritos de detritos	de blocos de solos de solos
Expansões laterais			de rochas	de detritos	de solos
Corridas / escoamentos			de rochas (rastejo profundo)	de detritos	de solos
				(rastejo de solo)	
Complexos			Combinação de dois ou mais tipos de movimentos		

De acordo com HUTCHINSON (1988), a diversidade dos fatores que interferem no processo de movimentos de massa gravitacionais resulta em uma variedade de tipos e processos que impossibilitam uma total discretização de tipos na classificação. Por isso, os tipos de movimentos de massa gravitacionais considerados pelo autor são: recuo, rastejo, rompimento nos taludes de montanhas, escorregamento, movimentos de detritos em forma de fluxo, tombamentos, quedas e movimentos complexos de taludes, como apresentados a seguir (Tabela 02 e Figuras 02 - 07).

Figura 1 - Tipos de movimentos de massa associados a algumas características básicas da classificação de VARNES (1978)

Tabela 2 - Classificação dos movimentos de massa subaéreos, proposta por HUTCHINSON (1988).

TIPOS DE MOVIMENTOS FUNDAMENTAIS	PRINCIPAIS TIPOS DE OCORRÊNCIAS
Recuo ("Rebound")	Escavações, vales naturalmente erodidos
Rastejo ("Creep")	Superfície sazonal e do manto de alteração; contínuo, profundamente assentado e de massa; pré-ruptura e progressivo e pós-ruptura
Rompimento nos taludes de montanhas ("Sagging of mountain slopes")	Unilateral, bilateral e rompimento múltiplo
Escorregamentos ("Landslides")	Fraturas confinadas, rotacionais, compostos e translacionais
Movimento de detritos em forma de fluxo ("Debris mov. of flow-like form").	
Tombamentos ("Topples")	Descontinuidades preexistentes e fissuras de tração
Quedas ("Falls")	Primárias e secundárias
Movimentos complexos de taludes ("Complex slope movements")

Figura 2 - Movimentos gravitacionais de massa devido ao recuo em vale, apresentado por HUTCHINSON (1988)

Figura 3 - Alguns dos tipos de ruptura de taludes considerados por HUTCHINSON (1988)

D1 FRATURAS CONFINADAS

(a) Em taludes naturais

(b) Em taludes de corte

D2 ROTACIONAIS

(a) Simples

(b) Sucessivos

(c) Múltiplo

D3 ESCORREGAMENTOS COMPOSTOS

(a) Devido a cisalhamento interno

(b) Escorregamento progressivo

Figura 4 - Alguns tipos de fraturas confinadas, rotacionais e escorregamentos compostos, HUTCHINSON(1998)

D4 ESCORREGAMENTOS TRANSLACIONAIS

(a) Planar

(b) Em folias

(c) De materiais

(i) talus

(ii) camadas ativas

(d) Escorregamentos em rocha

(i) ruptura planar

(ii) ruptura em degraus

(iii) ruptura em cunha

(e)

Figura 5 - Alguns tipos de rupturas translacionais adotadas por HUTCHINSON (1998)

Figura 6 - Alguns tipos de movimento de detritos em forma de fluxo caracterizados por HUTCHINSON (1998)

Figura 7 - Alguns tipos de tombamentos e quedas adotados por HUTCHINSON (1998)

FREIRE (1965) apresentou a primeira sistemática de classificação em nível nacional, que posteriormente sofreu algumas modificações (GUIDICCINI & NIEBLE, 1976). A classificação baseou-se na tentativa de agrupar todos os movimentos de massa gravitacionais, incluindo também subsidências e movimentos de massa complexos (Tabela 03).

Tabela 3 - Classificação dos movimentos de massa gravitacionais proposta por FREIRE (1965)

TIPO FUNDAMENTAL		SUBTIPO		CLASSES PRINCIPAIS
ESCOAMENTOS	Consistindo em uma formação ou movimentos contínuos com ou sem superfície definida de escorregamento	Rastejo	Escoamento plástico	<ul style="list-style-type: none">➤ Rastejo de solo➤ Rastejo de detritos. de tálus➤ Rastejo de rocha➤ Solifluxão➤ Rastejo de detritos➤ Geleira
		Corridas	Escoamento líquido	<ul style="list-style-type: none">➤ Corrida de terra➤ Corrida de areia ou silte➤ Corrida de lama➤ Avalanche de detritos
ESCORREGAMENTOS	Consiste em deslocamento finito ao longo da superfície de movimento ou deformação	Escorregamentos rotacionais		<ul style="list-style-type: none">➤ Escorregamento de taludes➤ Escorregamento de base➤ Rotura do solo ou fundações
		Escorregamentos translacionais		<ul style="list-style-type: none">➤ Escorregamento translacional de rocha➤ Escorregamento translacional de solo➤ Escorregamento translacional de solo e rocha➤ Escorregamento translacional retrogressivo➤ Queda de rocha➤ Queda de detritos
SUBSIDÊNCIA	Consiste em deslocamento finito ou deformação contínua verticais	Subsidências		<ul style="list-style-type: none">➤ Carreamento de grãos➤ Dissolução de camadas inf. cavernas➤ Deformação de estratos inferiores➤ Rotura de estratos inferiores➤ Retirada do suporte lateral
		Recalques		<ul style="list-style-type: none">➤ Consolidação➤ Compactação
		Desabamentos		<ul style="list-style-type: none">➤ Rotura da camada➤ Subescavação➤ Retirada do suporte lateral
4		Formas de transição ou termos de passagem		
5		Movimentos de massa complexos		

A classificação de GUIDICCINI & NIEBLE (1976) (Tabela 04) adota uma tendência regional, adaptada às condições locais das análises de controle de escorregamento, sendo que o termo "causa" refere-se ao modo de atuação de um agente de instabilização de uma encosta; "agentes predisponentes" refere-se às condições geológicas, geométricas e ambientais onde o movimento de massa gravitacional terá lugar; "agentes efetivos" refere-se aos elementos diretamente responsáveis pelo

desencadeamento do movimento de massa (incluindo ação antrópica). Além disso, subdividem as causas em internas, externas e intermediárias:

- **Causas internas:** as que podem levar ao colapso sem que se verifique qualquer alteração nas condições geométricas do talude representando a diminuição da resistência do material.
- **Causas externas:** as que provocam aumento das tensões de cisalhamento sem que haja variação na resistência do material.
- **Causas intermediárias:** as resultantes de efeitos provocados por agentes externos no interior do talude.

Tabela 4 - Agentes/causas dos escorregamentos e processos correlatos, segundo GUIDICINI e NIEBLE (1976)

AGENTES/CAUSAS DOS ESCORREGAMENTOS			
AGENTES	PREDISPOANTES	➤ Complexo geológico, complexo morfológico, complexo climático-hidrológico, gravidade, calor solar, tipo de vegetação original.	
	EFETIVOS	PREPARATÓRIOS	➤ Pluviosidade, erosão pela água e vento, congelamento e degelo, variação de temperatura, dissolução química, ação de fontes e mananciais, oscilação de nível de lagos e marés e do lençol freático, ação de animais e humana, inclusive desflorestamento.
		IMEDIATOS	➤ Chuvas intensas, fusão do gelo e neve, erosão, terremotos, ondas, vento, ação do Homem, etc.
CAUSAS	INTERNAS	➤ Efeito das oscilações ➤ Redução dos parâmetros de resistência por intemperismo	
	EXTERNAS	➤ Mudanças na geometria do sistema ➤ Efeitos de vibrações ➤ Mudanças naturais na inclinação	
	INTERMEDIÁRIAS	➤ Elevação do nível piezométrico em massas "homogêneas" ➤ Elevação da coluna da água em descontinuidades ➤ Rebaixamento rápido do lençol freático ➤ Erosão subterrânea retrogressiva ("pipping") ➤ Diminuição do efeito de coesão aparente	

WOLLE (1988) divide os processos de instabilização em classes e subclasses, conforme a Tabela 05.

Tabela 5 - Classificação dos processos de instabilização de encostas típicas da Serra do Mar, segundo WOLLE (1988)

CLASSES	SUBCLASSES	
ESCORREGAMENTO	Escorregamentos translacionais (planares)	Provocados pela elevação de um nível de água preexistente Provocados pela infiltração, sem nível de água
	Escorregamentos rotacionais	
	Escorregamentos provocados por desconfinamento	
ESCORREGAMENTO EM ROCHAS E SAPRÓLITO	Quedas de blocos	
	Rolamentos de matacões	
	Deslizamentos de blocos e lascas	
	Escorregamentos estruturados	Em rocha fraturada Em saprólito
ESCOAMENTOS LENTOS E MUITO LENTOS	Rastejo de massas de tálus (colúvio) Rastejo em solo superficial nas encostas; Rastejo profundo em rochas	

AUGUSTO FILHO (1994) apresenta uma sistemática de classificação relativamente genérica, mas que resume os principais grupos de processos de instabilização pesquisados para a elaboração de Cartas de Risco de Escorregamentos no Brasil. Essa classificação apresenta os processos agrupados em quatro grandes classes: rastejo ("creep"), escorregamentos ("slides"), quedas ("falls") e corridas ("flows"), conforme a Tabela 06.

Tabela 6 - Características principais dos grandes grupos de processos de escorregamento no "lato sensu" AUGUSTO FILHO (1994)

PROCESSOS	CARACTERÍSTICAS DO MOVIMENTO/MATERIAL/GEOMETRIA
RASTEJO ("CREEP")	Vários planos de deslocamento (internos) Velocidades muito baixas (cm/ano) a baixas e decrescentes com a profundidade Solos, depósitos, rocha alterada / fraturada. Geometria indefinida
ESCORREGAMENTOS ("SLIDES")	Poucos planos de deslocamento (externos) Velocidades médias (m/h) a altas (m/s) Pequenos a grandes volumes de material Geometria e materiais variáveis: <u>Planares</u> : solos pouco espessos, solo e rochas com um plano de fraqueza. <u>Circulares</u> : solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas <u>Em cunha</u> : solos e rochas com dois planos de fraqueza
QUEDAS ("FALLS")	Sem planos de deslocamento Movimentos tipo queda livre ou em plano inclinado Velocidades muito altas (vários m/s) Material rochoso Pequenos a médios volumes Geometria variável Rolamento de matacão - tombamento
CORRIDAS ("FLOWS")	Muitas superfícies de deslocamento (internas e externas à massa em movimento) Movimento semelhante ao de um líquido viscoso Desenvolvimento ao longo das drenagens Velocidades médias a altas Mobilização de solo, rocha, detritos e água. Grandes volumes de material Extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas.

II. 2.2. DEFINIÇÕES:

A. QUEDAS:

Constitui-se de uma massa de material com dimensões variadas que se destaca de um talude íngreme ou escarpa, descendo encosta abaixo por queda livre, saltos ou rolamentos do material, sem que ocorram deslocamentos cisalhantes. A movimentação é de muito a extremamente rápida, e podem ocorrer ou não pequenos movimentos anteriores à separação do material de origem, segundo VARNES (1978) e HUTCHINSON (1988).

As quedas podem ser de blocos rochosos ("rock falls"), de detritos ou solos grosseiros ("debris falls") ou ainda de solos finos ("earth falls").

HUTCHINSON (1988) separa as quedas em primárias ou secundárias: as primeiras são caracterizadas por ocorrência de deslocamento de solos, detritos e rochas do material de origem, e as segundas, pela ocorrência de porções fisicamente destacadas e depositadas nas encostas.

B. TOMBAMENTOS:

Segundo VARNES (1978), os tombamentos caracterizam-se pelo movimento de rotação (para frente ou para fora da encosta) de uma unidade ou unidades ao redor de um ponto localizado abaixo do seu centro de gravidade, pela ação da gravidade, ou por forças aplicadas pelas unidades adjacentes, ou ainda por fluidos presentes nas descontinuidades. O movimento pode ou não acarretar queda ou deslizamento, dependendo da geometria do maciço e da orientação e extensão das descontinuidades. Ocorre em diversos tipos de rochas ou detritos, podendo movimentar desde algumas centenas até milhares de metros cúbicos de material.

HUTCHINSON (1988) divide os tombamentos em únicos e múltiplos, sendo comuns em maciços rochosos inclinados, com a presença de descontinuidades, e que podem ser visualizados na Figura 07.

C. ESCORREGAMENTOS:

HUTCHINSON (1988) define os escorregamentos como "todos aqueles induzidos pela aceleração gravitacional, exceto aqueles nos quais o material é carregado diretamente por meio de transporte como água, gelo, neve ou ar, quando é denominado processo de transporte de massa". São influenciados por fatores como litologia, hidrogeologia, geologia, estrutural, topografia, clima, vegetação, movimentos sísmicos e erosão.

Segundo VARNES (1978), em escorregamentos propriamente ditos, a movimentação ocorre por meio de deformações e deslocamentos cisalhantes, ao longo de uma ou várias superfícies facilmente observáveis (ou que podem ser inferidas), ou ainda dentro de uma zona (estreita) que pode ser bem definida. Os escorregamentos podem ser subdivididos em dois tipos: rotacionais e translacionais.

De acordo com FREIRE (1965), escorregamentos ("stricto sensu") consistem em

deslocamentos finitos, ao longo de uma superfície definida de deslizamento preexistente ou de neoformação. São movimentos de massa (de curta duração), com volumes geralmente definidos, e também podem ser divididos em rotacionais e translacionais.

Escorregamentos rotacionais:

VARNES (1978) cita como exemplo mais comum desse tipo de movimento, os pequenos deslizamentos ao longo de uma superfície de ruptura circular com concavidade voltada para cima, que podem ser combinados ou não com outros tipos. Em muitos casos, a superfície de ruptura exposta (escarpas) e a superfície de ruptura não exposta formam uma espécie de concha.

Quando os escorregamentos rotacionais ocorrem em taludes muito extensos, a geometria é cilíndrica, sendo o eixo paralelo ao talude. A rotação ocorre em torno de um eixo paralelo ao talude. HUTCHINSON (1988) afirma que esse tipo de escorregamento ocorre quando a poro-pressão do material é suficientemente alta para promover uma ruptura rotacional profunda, ao invés de uma ruptura translacional mais rasa.

Apesar da ruptura apresentar, em geral, concavidade voltada para cima, ela não é uniformemente circular, freqüentemente é influenciada por falhas, juntas, foliações ou outras discontinuidades preexistentes. HUTCHINSON (1988) classifica esse tipo de movimento como escorregamento composto, que merece uma atenção especial quando se analisa a estabilidade do talude.

Escorregamentos rotacionais puros ocorrem em materiais homogêneos; em geral, em barragens de terra e pequenas escavações de materiais naturais. Porém os materiais naturais freqüentemente não são homogêneos, portanto, apresentam deslizamentos com formas mais complexas que a forma cilíndrica.

A geometria do escorregamento rotacional tende a reequilibrar a massa instável na altura do pé do talude, pois a superfície de deslizamento mergulha para dentro dele.

HUTCHINSON (1988) subdivide os escorregamentos rotacionais em: simples, sucessivos e múltiplos.

Escorregamentos translacionais:

Nos escorregamentos translacionais a massa rompe-se por cisalhamento e movimenta-se sobre uma superfície relativamente plana, apresentando uma variação na inclinação da porção escorregada, isto é, pequeno movimento rotatório.

No escorregamento translacional o reequilíbrio só ocorre quando as forças atuantes diminuem relativamente às resistentes.

Os movimentos translacionais são condicionados por superfícies de fraqueza, originadas de descontinuidades, tais como fraturas, falhas, acamamentos, foliações, xistosidades, contato entre o substrato rochoso e o solo sobrejacente.

Nesta classe, enquadram-se os escorregamentos planares em rochas (em forma de blocos ou placas) e os escorregamentos em cunha (deslizamento ao longo da interseção de duas descontinuidades) que ocorrem em rochas. HUTCHINSON (1988) cita ainda o caso de escorregamentos em rochas com superfícies escalonadas (degraus).

D. EXPANSÃO LATERAL:

A expansão lateral do material é a principal forma de movimento, resultante de fraturas de cisalhamento ou tração. Esse movimento caracteriza-se pela ruptura e espalhamento lateral de materiais coerentes (solos e rochas) que se encontram sobrejacentes a materiais que sofreram perda de resistência e ruptura repentina (colapso), por exemplo, por liquefação; o resultado é uma baixíssima resistência, ainda que temporária, da superfície de contato dos materiais. O material suprajacente pode sofrer rotação, translação, escoamento, desintegração e subsidência. Segundo VARNES (1978), as argilas e siltes sensíveis, submetidos a vibrações, terremotos; liquefação de camadas arenosa pode provocar o fraturamento e espalhamento do material suprajacente.

E. ESCOAMENTOS:

Segundo FREIRE (1965), os escoamentos são formações ou movimentos contínuos, com ou sem superfície definida de movimentação, que foram classificados em rastejo ou reptação (escoamento plástico) e corrida (escoamento fluído-viscoso).

Rastejo ou reptação: São movimentos lentos e contínuos de materiais nas encostas com limites geralmente definidos, que são influenciados pelas variações de temperatura e umidade. Podem ser observados em rochas, solos, detritos de talus, regiões com ocorrência de solifluxão (detritos e geleiras). Existem alguns indicativos básicos para a identificação dos movimentos em superfície, como a inclinação de árvores, cercas, postes, etc.

Corridas: São formas rápidas de escoamento, de caráter essencialmente hidrodinâmico, ocasionadas pela perda de atrito interno, em virtude da destruição da estrutura na presença do excesso de água. A corrida é um escoamento fluido-viscoso que pode ser constituído por solos, areia ou silte, lama e avalanche de detritos.

Segundo VARNES (1978), os escoamentos são deformações ou movimentos contínuos com a superfície de ruptura definida ou não, que podem ser rápidos ou lentos, úmidos ou secos; ocorrem principalmente em materiais inconsolidados (detritos e solos finos), mas também ocorrem em rochas, onde, o movimento é extremamente lento, resultando em dobramentos e outras feições de comportamento plástico; e em detritos e solos finos, onde a superfície de escoamento não é normalmente visível, pois o limite entre a massa de material que se move e o material que permanece no local é apenas uma estreita superfície de movimentos diferenciais.

De acordo com RODRIGUES (1998), existem dificuldades em diferenciar os tipos de movimentos entre escorregamento e escoamento e entre escorregamento e avalanche, causando uma confusão quanto à definição de um ou outro, pois existe uma mudança gradativa de um para outro, que ocorre devido ao teor de umidade, mobilidade e natureza do movimento. As avalanches são movimentos mais rápidos, em que a coesão é mais baixa e o teor de umidade é mais alto; ocorre em taludes geralmente muito íngremes.

O escoamento dos materiais mais grossos (detritos) acontece como resultado de acentuada precipitação pluviométrica ou degelo do solo e da camada, parando ao encontrar vales de menor gradiente ou em sopé de encostas. O escoamento de solos finos inclui uma grande diversidade de variações em termos de teor de umidade e de velocidade dos movimentos.

Segundo BONUCCELLI (1999) várias descrições relacionadas a esse tipo de

movimento têm sido denominadas na literatura como: "creep" ou rastejo; corridas; fluxos; avalanches. Como existem muitas controvérsias sobre o uso adequado desse termo, ele foi substituído por escoamento: em materiais rochosos, em detritos ou solos grossos e solos finos.

Escoamento no substrato rochoso (creep):

O movimento é extremamente lento, resultando em dobramentos, arqueamentos e formação de saliências ou outras manifestações de comportamento plástico. Localiza-se em regiões de relevos altos e seu estudo é relativamente recente.

HUTCHINSON (1988) classifica esse tipo de movimento como lento, profundo e contínuo.

Escoamentos em detritos ou solos grossos e finos (materiais inconsolidados):

São movimentos que podem ser reconhecidos mais facilmente do que aqueles que ocorrem em rochas, pois os deslocamentos relativos na massa de solo são maiores, e sua aparência assemelha-se a um fluxo de fluidos. A superfície de deslizamento não é visível, pois o limite entre a massa de material que se move e o material que permanece é apenas uma estreita superfície de movimentos diferenciais.

A diferenciação entre escorregamentos e escoamentos não é simples, pois ocorre uma mudança gradativa de um tipo para o outro. De acordo com HUTCHINSON (1988), os escoamentos podem ser subdivididos em: "mudslides", "flow slides", "debris flows", "sturzstroms".

F. MOVIMENTOS DE MASSA COMPLEXOS:

Segundo VARNES (1978), são associações de um ou vários dos principais tipos de movimentos descritos anteriormente, cada um dentro de alguma parte do talude em movimento ou em estágios de desenvolvimento do movimento.

HUTCHINSON (1988) afirma que os movimentos mais freqüentes são o soerguimento de fundo de vales, movimentos de taludes em blocos, taludes de argila com alta declividade, abandonados (desagregação livre dos materiais), escoamentos de lama

ou fluxo na base da encosta, escorregamentos causados por erosão devido à percolação de fluidos e escorregamento de múltiplas camadas.

A ocorrência deste tipo de movimentos de massa é mais comum que os movimentos já descritos isoladamente (BONUCELLI, 1995), sendo que as combinações mais freqüentes são:

- Queda e rolamento de blocos associados a escoamentos de materiais grosseiros (detritos); são extremamente rápidos e ocorrem com freqüência em regiões montanhosa;
- Escorregamentos e tombamentos (rocha e/ou solo);
- Escorregamentos e escoamentos de solos e detritos.

G. OUTROS:

HUTCHINSON (1998) descreve ainda os seguintes tipos de movimentos: recuo ("rebound") e rompimento nos taludes de montanhas ("sagging of mountain slopes").

Recuo: São movimentos de expansão lateral e no fundo de escavações, devido ao alívio de tensões por escavações artificiais ou naturais.

Rompimento nos taludes de montanhas: São movimentos de fraturamentos e deslocamentos de cristas de encostas e cadeias de montanhas, que geram uma variedade de escarpas e "grabens". Esses deslocamentos são originados por movimentos gravitacionais de massa como escorregamentos, "deepseated creep", espalhamentos, tombamentos. Ocorrem principalmente em rochas metamórficas.

II. 3. PROCESSOS EROSIVOS:

II. 3.1. CONCEITOS:

↙ A erosão do solo é um processo de desagregação e transporte de partículas pelos agentes erosivos, implicando em dois eventos seqüenciais, no primeiro das quais as partículas do solo se desagregam de sua estrutura, tornando-se disponíveis ao transporte, e então, os materiais desagregados são transportados, segundo ELLISON (1947).

O desenvolvimento do processo erosivo abrange dois eventos iniciais: o impacto das gotas de chuva na superfície do solo, promove a desagregação e liberação das suas partículas e o escoamento superficial das águas, a partir do acúmulo da água em volume suficiente para propiciar o arraste das partículas liberadas.

↘ BENNET (1939) *apud* ZACHAR (1982) divide a erosão em dois grupos: a geológica e a acelerada. A erosão geológica é um processo lento e contínuo de evolução da superfície da Terra, e a erosão acelerada um processo rápido, induzido pela ação antrópica.

A chuva, a geomorfologia (declividade, comprimento das encostas, etc.) e as características dos materiais inconsolidados (textura, estrutura, composição, espessura, etc.) são os fatores naturais considerados mais importantes nos processos de erosão, de acordo com IWASA *et al.* (1987).

De acordo com PEJON (1992), os processos erosivos podem ser classificados como naturais, quando ocorrem em um ambiente controlado somente pelo equilíbrio de vários fatores ao longo do tempo geológico. Quando o Homem interfere no ambiente natural, os processos erosivos podem ser acelerados, evoluindo rapidamente e atingindo extensas áreas, que neste caso são chamadas de erosão antropogênica.

Para RIGHETTO (1998), os processos erosivos podem ser quantificados por meio de variáveis, que o autor explica amplamente, mostrando as diversas maneiras que podem ser utilizadas para a sua obtenção. As variáveis consideradas são as seguintes:

- $D_p [MT^{-1}L^{-2}]$ = taxa de destacamento de partículas pela ação dinâmica das gotas de chuva, em massa de partículas destacadas por unidade de tempo e por unidade de área de superfície do solo;
- $D_E [MT^{-1}L^{-2}]$ = taxa de destacamento de partículas pela ação dinâmica do deflúvio superficial, em massa de partículas destacadas por unidade de tempo e por unidade de área de superfície de solos;
- $T [MT^{-1}L^{-1}]$ = taxa de transporte de partículas pela ação dinâmica do deflúvio nas superfícies do terreno ou nos microcanais, em massa de partículas transportadas por unidade de tempo e por unidade de largura do terreno ou do microcanal.

↙
Na literatura nacional, os principais termos empregados para os diferentes tipos de feições erosivas, incluindo-se os relacionados aos movimentos de massa, são: laminar, linear (sulco, ravina e voçoroca), intersulco, *piping* e erosão de margem.

De acordo com alguns autores, esses termos foram definidos da seguinte maneira:

- Laminar ou em Lençol: Causada por escoamento difuso das águas de chuva, resultando na remoção progressiva e relativamente uniforme dos horizontes superficiais do solo (BENNETT, 1939 *apud* SOUZA, 2001);
- Linear: Causada por concentração do fluxo das águas de escoamento superficial, resultando em pequenas incisões na superfície do terreno. Esse tipo de erosão inicia-se com a formação de sulcos, podendo evoluir para ravinas e voçorocas (SALOMÃO & IWASA, 1995);
 - ❖ *Sulcos*: Pequenos canais resultantes do escoamento superficial concentrado (FOURNIER, 1960 *apud* SOUZA, 2001);
 - ❖ *Ravinas*: Ocorrem devido à concentração do fluxo de água em caminhos preferenciais, arrastando as partículas e aprofundando os sulcos (FOURNIER, 1960 *apud* SOUZA, 2001);
 - ❖ *Voçorocas ou Boçorocas*: São feições erosivas originadas por dois tipos de escoamentos que podem atuar em conjunto ou separadamente; o superficial e o subsuperficial (FOURNIER, 1960 *apud* SOUZA, 2001). Consiste no estágio mais avançado da erosão, sendo caracterizada pelo avanço, em profundidade, das ravinas, até atingirem o lençol freático ou o nível de água do terreno (CUNHA *et al.*, 1991).
- Intersulco: Este tipo de feição é causado pelo escoamento superficial que pode ocorrer em uma lâmina de água de pequena espessura e extensão e que se concentra em determinadas áreas, tais como, entre os sulcos já formados pelos processos erosivos e as marcas de cultivo (MEYER *et al.*, 1975);
- Piping: Termo da língua inglesa, geralmente não traduzido, que significa erosão interna ou tubular, pois esse tipo de feição provoca a remoção de partículas no interior do solo, formando canais que evoluem em sentido contrário ao do fluxo d'água (CARSON & KIRKBY, 1975).

➤ Erosão Marginal: É causada pelo escoamento concentrado nos cursos d'água, são formas erosivas transversais ao eixo do fluxo (MORGAN, 1995).

Para GALERANI *et al.* (1995), a erosão laminar ou em lençol é o tipo que causa maiores problemas na área rural, ou seja, ocasiona a perda de terras cultiváveis, queda de produtividade, perda de fertilizantes e sementes e, portanto, exige grandes investimentos na recuperação dos solos. Já nas áreas urbanas e periurbanas, os autores apontam as erosões lineares (sulcos, ravinas e voçorocas) como as grandes destruidoras de obras civis.

A erosão laminar apresenta baixas taxas de erosão específica e apresenta um caráter extensivo, mas as outras formas de erosões (sulcos, ravinas e voçorocas) têm intensidades mais acentuadas, mas são localizadas (RAMOS, 1995).

Em um estudo sobre a erosão do solo no estado do Paraná, KRONEN (1990) propôs uma classificação para as formas identificadas com base em classes pedológicas, da seguinte maneira:

- Sulcos rasos: até 1m de largura no horizonte A, que podem ser nivelados por meio de implementos agrícolas;
- Sulcos profundos: de 1 a 3m de largura no horizonte B superior, que não são nivelados por meio de implementos agrícolas;
- Voçorocas: mais de 3m de largura alcançando o horizonte C, que dificultam grandemente o uso de implementos agrícolas;

FENDRICH (1997) propôs uma classificação para as voçorocas, segundo as suas dimensões (Tabela 07), sendo importante ressaltar a importância de se avaliar para quais condições do meio físico estas propostas foram realizadas.

Tabela 7 - Classificação de Voçorocas, segundo FENDRICH (1997)

CLASSE	PROFUNDIDADE (M)	ÁREA DRENANTE (HA)
Pequena	< 1	2
Média	1 a 5	2 a 20
Grande	> 5	> 20

A utilização de alguns termos de feições erosivas da literatura inglesa no Brasil tem gerado algumas controvérsias semânticas. Os principais termos adotados por diversos autores são: *sheet erosion* (laminar ou lençol), *rill* (linear), *gully*, *gully*

erosion, interrill erosion (intersulco), *piping* e *stream bank erosion* (erosão marginal ou de margem), de acordo com SOUZA (2001).

Entre os termos utilizados nas literaturas portuguesa e inglesa, existem controvérsias quanto a dois extremos: as palavras *piping* e voçoroca. O termo *piping*, já consagrado no Brasil, tem sido empregado com o mesmo sentido da língua inglesa. O termo voçoroca tem dois correspondentes na língua inglesa, sendo ora usado similarmente ao termo *gully erosion* e ora ao termo *gully*, podendo assim referir-se ao conceito de ravina e não de voçoroca, dependendo das condições da feição SOUZA (2001).

Segundo NISHIYAMA (1998), apesar de as voçorocas representarem formas importantes e comuns de erosões, principalmente em países tropicais, não se verifica uma terminologia específica em língua inglesa que diferencie ravinas de voçorocas. De acordo com o UNITED STATES SOIL CONSERVATION SERVICE - U.S.S.C.S. (1966) *apud* NISHIYAMA (1998), *gully erosion* (erosão em canais) significa remoção de solos e materiais alterados, a montante, pela ação do fluxo concentrado, resultando em formação de canais. Quando estes não podem ser modificados por uma intervenção tecnológica simples, são denominados *gully*.

II. 3.2. FATORES NATURAIS E ANTRÓPICOS CONDICIONANTES DOS PROCESSOS:

A erosão natural do solo, provocada pelo escoamento de águas pluviais é condicionada por diversos fatores do meio físico, entre as quais se encontram as características da própria chuva (tamanho, velocidade das gotas, intensidade e distribuição temporal), formas de relevo, tipos de solos e cobertura vegetal. Tais fatores determinam taxas de erosões naturais, que podem ser alteradas em função da ação antrópica (ELLISON, 1947).

IWASA & PRANDINI (1980) propõem que os agentes condicionantes dos processos erosivos sejam classificados em predisponentes e efetivos.

- Agentes predisponentes: Compõem o conjunto de características intrínsecas da região, sendo função de suas características naturais, tais como os fatores geológicos/geomorfológicos e os climáticos/hidrológicos.

- Agentes efetivos: Formam um conjunto de fatores que desencadeiam os processos erosivos e podem ser tomados como agentes efetivos preparatórios, como é o caso do desmatamento e agentes efetivos imediatos, como as chuvas subsequentes a um período chuvoso prolongado, responsáveis pela deflagração dos processos de erosão.

VERTAMATTI & ARAÚJO (1990) caracterizam, como fatores intervenientes e causadores dos processos erosivos, a remoção de cobertura vegetal, a concentração de água decorrente de impermeabilização de superfícies, as ações antrópicas sobre o meio ambiente, as alterações geomorfológicas, e outros mais como o relevo, o clima, a geologia e principalmente a pedologia da região, caso em que a gênese dos solos vem a ser um fator preponderante.

Para RODRIGUES (1982), os fatores que influenciam o quadro erosivo são interdependentes e constituem um número relativamente elevado. São eles: fatores climáticos, natureza do terreno, relevo, cobertura vegetal, ação antrópica e ação da água.

A. CLIMA:

Diversas pesquisas realizadas relacionadas às variáveis climáticas (precipitação, temperatura, velocidade do vento, balanço hídrico, evapotranspiração, umidade relativa, etc.) e aos processos erosivos, indicam que a precipitação pluvial é a principal variável climática que interfere diretamente na ocorrência dos processos erosivos.

Para MAFRA (1981), os processos erosivos causam freqüentemente maiores danos em regiões de precipitações regulares (climas tropicais úmidos), exceto quando ocorre um índice considerado anormal, que pode acarretar catástrofes. Em regiões de precipitações baixas, embora concentradas (climas subúmidos), as chuvas, mesmo sendo menos freqüentes, apresentam aspectos de fluxo torrencial.

Segundo RODRIGUES (1982), como a evolução do processo erosivo está ligada à quantidade de água excedente que escoar na encosta, é importante estabelecer os índices pluviométricos para os meses durante o ano. Os processos erosivos são mais atuantes e enérgicos durante o período chuvoso.

A intensidade das chuvas é extremamente importante para o entendimento dos processos morfogenéticos, sendo que ela pode variar significativamente durante uma mesma precipitação. Chuvas de mesma intensidade, porém com durações diferentes, terão ações erosivas diferenciadas, e tanto maiores quanto mais longa a precipitação. Após a saturação do terreno, toda a água passará a escoar pela encosta, molhando assim o terreno (RODRIGUES, 1982).

Para NISHIYAMA (1998), o volume da água filtrada ou escoada superficialmente que influencia o desenvolvimento dos processos erosivos depende de alguns fatores básicos, tais como: intensidade e duração das chuvas, temperatura, profundidade do substrato rochoso.

Uma parte da erosividade da chuva é devida ao impacto direto da gota de chuva, e parte ao escoamento superficial. A capacidade da chuva em causar erosão do solo é atribuída à sua intensidade e ao tamanho de suas gotas, os quais determinam a energia da chuva (NASCIMENTO & CASTRO, 1976 e NISHIYAMA, 1995).

Segundo WISCHMEIER & SMITH (1958) *apud* ALCÂNTARA (1997), a melhor variável simples para avaliar a erosão do solo cultivado é o produto da energia cinética total da chuva (E) e sua intensidade máxima em 30 minutos (I_{30}), o que se expressa com o índice EI_{30} . A partir deste produto, pode-se ter uma boa avaliação das três fases da erosão dos solos, ou seja: o impacto das gotas das chuvas, o salpicamento das partículas e a turbulência do fluxo, combinada com a enxurrada que transporta as partículas desagregadas do solo.

Segundo WISCHMEIER & SMITH (1958) *apud* NISHIYAMA (1995), a energia da chuva é expressa em joules por metro quadrado vezes milímetro de chuva em uma hora ($J/m^2 \times mm \times h^{-1}$), calculada pela seguinte expressão:

$$EC = 11,90 + \log_{10} x$$

Onde: x = intensidade da chuva em milímetros por hora

De acordo com ALCÂNTARA (1997), o somatório dos valores do índice EI_{30} de cada mês fornece o índice mensal e durante o ano, o índice anual. O valor médio da

erosividade anual pode ser obtido para um período de 10 anos, período esse representativo para expressar a erosividade da chuva.

BERTONI & LOMBARDI (1985) afirmam que o volume e a velocidade da enxurrada dependem da intensidade, duração e frequência da chuva. A intensidade e a energia cinética, quando analisadas conjuntamente, compõem o índice de erosividade da chuva (EI) e, segundo WISCHMEIER (1959) *apud* FONTES (1999), essa é a melhor relação para se ter conhecimento da sua potencialidade erosiva.

CASTRO FILHO *et al.* (1982) utilizaram a metodologia de WILKINSON (1975), simplificada de WISCHMEIER (1959) para o cálculo do potencial erosivo das chuvas em cinco localidades no Estado do Paraná. Segundo ele o índice erosivo das chuvas (EI_{30}) é expresso por:

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

Onde:

EI_{30} = índice erosivo da chuva em $tm/ha \times mm/h$

EC = energia cinética total da chuva em tm/ha

I_{30} = intensidade máxima da chuva em 30 minutos em mm/h .

WILKINSON (1975) *apud* CASTRO FILHO *et al.* (1982), desenvolveu na Nigéria uma simplificação do método de WISCHMEIER, que consistiu na avaliação da energia cinética por precipitação total da chuva e intensidade máxima em 30 minutos, o que reduziu as operações de cálculos. Após estudar as características das chuvas de Ifê na Nigéria, propôs estimar a energia cinética total de uma chuva, dada por:

$$EC_1 = (12,142 + 8.877 \log I_{30})P$$

Onde:

EC_1 = energia cinética total da chuva em tm/ha
 mm

I_{30} = intensidade máxima da chuva em 30 min.
em mm/h

P = precipitação total da chuva em mm .

WILKINSON concluiu que as correlações obtidas entre as energias cinéticas calculadas pelos dois métodos são altamente significativas, o que torna válida a aplicação do método de WILKINSON em simplificação ao de WISCHMEIER *apud* FONTES

(1999).

B. LANDFORMS:

Os *landforms* também são fatores naturais que determinam 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. A declividade tem tanto maior importância quanto maior for o comprimento da encosta, ou seja, o trecho percorrido pela água.

Os atributos do relevo, associados principalmente com a morfologia e a morfometria, interferem diretamente nas atividades erosivas e são geralmente obtidas por meio das formas das encostas, das diferenças de declividades dos terrenos e dos comprimentos das encostas. Esses atributos atuam principalmente na determinação do volume e velocidade do escoamento superficial. Por exemplo, atributos como comprimento da encosta (L) e grau de declividade (S) são alguns dos parâmetros utilizados para o cálculo da equação de perda de solos (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1993).

Comprimento das encostas:

O comprimento das encostas é definido como sendo a distância entre o ponto de origem do escoamento superficial e o ponto onde a inclinação diminui e começa a deposição de sedimentos ou, até o ponto onde o escoamento atinge um canal bem definido, integrante de uma rede de drenagens (SMITH & WISCHMEIER, 1975) *apud* NISHIYAMA (1998).

Segundo NISHIYAMA (1998), o aumento no comprimento de uma encosta leva a um aumento no volume de escoamento superficial, conseqüentemente, produz um aumento na intensidade de erosão, principalmente sob a forma de sulcos.

Declividade:

Segundo RODRIGUES (1982), a análise da declividade de uma encosta pode ser expressa simplificadamente por um único valor em graus. Para isso deve-se tomar a diferença de nível entre dois pontos com as cotas mais elevada e mais baixa da encosta e relacioná-la com a distância horizontal entre eles. O autor enfatiza que, para se ter uma análise mais realista, devem-se considerar pelo menos três valores de declividade, sendo um na parte baixa, outro no trecho médio e o último no topo da encosta.

RODRIGUES (1982) atribui a três principais componentes do relevo o condicionamento da erosão do solo, que são: forma das encostas; extensão e grau de declividade. Considera que o grau de declividade é o fator topográfico mais relevante no desenvolvimento dos fenômenos erosivos acelerados.

Formas de encostas:

FIORI & SOARES (1976) em estudos realizados em voçorocas de diferentes regiões do estado de São Paulo, verificaram que, dentre as diversas condições que favorecem esse tipo de erosão, 95% dos casos estão nas encostas convexas coletoras.

TROEH (1965) *apud* RODRIGUES (1982) propôs uma maneira de entender as formas topográficas de encostas, por meio da associação entre as curvaturas apresentadas pelo perfil longitudinal e pelas curvas de nível, resultando em quatro tipos possíveis. RUHE (1975) *apud* MICHELL (1991) apresentam outra classificação de formas das vertentes associando nove situações (S - Plana, V - Convexa e C - Côncava), Figura 08.

Diferentes tipos de erosão são associados às formas de encostas. As voçorocas se desenvolvem principalmente em encostas convexas coletoras, e secundariamente em encostas convexas dispersoras. Para as encostas côncavas dispersoras ou coletoras, o referido autor associa uma situação menos propensa à erosão por voçorocas, segundo RODRIGUES (1982),

YOUNG & MUTCHLER (1969) *apud* ALCÂNTARA (1997) com relação à forma das encostas, assinalam que uma encosta retilínea perde mais solo que uma encosta côncava, porém menos que uma encosta convexa.

Figura 8 - Formas das vertentes (S - Plano, V - Convexa e C - Côncava), segundo RUHE (1975) apud MICHELL (1991)

C. COBERTURA VEGETAL:

Segundo BERTONI & LOMBARDI NETO (1993), a cobertura vegetal exerce os seguintes efeitos no solo: proteção direta contra o impacto das gotas de chuva; dispersão da água, por meio da evaporação antes de atingir o solo; aumento da infiltração da água, por meio da formação de canalículos oriundos da decomposição de raízes; aumento da capacidade de retenção de água, quando da transformação da estrutura do solo, por adição de matéria orgânica; diminuição da velocidade de escoamento superficial, por meio do aumento do atrito na superfície.

BAILEY (1941) apud RODRIGUES (1982) afirmou que "a vegetação é a chave da estabilidade das encostas", mostrando que o ângulo de repouso de determinadas partículas, em terrenos protegidos pela vegetação, é da ordem de 60°. Quando a cobertura vegetal deixa de existir, esse ângulo de repouso cai para valores próximos a 36°.

GREENWAY (1990) apud NISHIYAMA (1998) classificou o mecanismo pelo qual a vegetação influencia a estabilidade de encostas em dois processos: o hidrológico e o mecânico (físicos). Mecanismos hidrológicos são aqueles mecanismos complexos,

relacionados ao ciclo hidrológico, existente em presença de vegetação e os mecanismos mecânicos resultam de interações entre o sistema foliar - radicular e a encosta.

Um melhor entendimento da distribuição e dos movimentos de água pode ser obtido a partir da Figura 09.

Figura 9 - Componentes esquemáticos do balanço hidrológico próximo à superfície.
Modificado de CARSON & KIRKBY (1975)

Segundo RODRIGUES (1982), a remoção da cobertura vegetal provoca uma série de mudanças, tais como: interrupção brusca do efeito estabilizador das florestas, expondo o terreno a novas condições; interrupção de todas as funções exercida pela cobertura vegetal, tais como (interceptação, retenção, evapotranspiração, etc.; desaparecimento do horizonte húmico, aumentando assim a infiltração; elevação do lençol freático e conseqüente aumento do grau de saturação do maciço; diminuição da resistência mecânica do solo pela deterioração do sistema radicular).

NISHIYAMA (1998) afirma que após a remoção da cobertura vegetal nativa, mesmo que uma nova cobertura substitua a original, normalmente ela não terá a mesma eficiência que a primitiva, podendo ainda favorecer a atuação dos processos erosivos.

BERTONI & LOMBARDI NETO (1993) relacionam várias espécies de gramíneas e leguminosas mais utilizadas no Brasil no controle de processos erosivos:

- Gramíneas: capim-azul (*Dactylis glomerata* L.); capim-bermudas (*Cynodon dactylon* (L.) Pers.) e capim-quicuí (*Pennisetum clandestinum* Hochst.);
- Leguminosas: cudzu (*Pueraria thumbergiana*) e as diversas espécies de *Lespedeza* spp.

Para CUNHA *et al.* (1991) diversos fatores devem ser observados na implantação de gramíneas para a recuperação de áreas degradadas, tais como:

- A execução deve ser realizada imediatamente após a conclusão dos serviços de terraplanagem;
- Após a implantação, a proteção vegetal deve ser ter acompanhamento e manutenção, para poder garantir bons resultados;
- Resultar em malha densa e resistente de raízes paralelas à superfície do talude;
- Apresentar crescimento rápido, ser perene e com sistema radicular bem desenvolvido e resistente;
- Garantir que o tipo de gramínea seja adequado para o solo, inclinação do talude e condições climáticas da região.

D. SOLOS

A erodibilidade dos solos (K) é uma propriedade que reflete a sua maior ou menor susceptibilidade à ação erosiva, ou seja, pode ser definida como a quantidade de material que é removido por unidade de área quando os demais fatores determinantes dos processos erosivos são mantidos sob condições-padrão. O cálculo deste fator depende das propriedades do solo (características texturais, estado de compactação, etc.) e o seu valor quantitativo pode ser determinado experimentalmente (MIDDLETON, 1930; BENNETT, 1939; BRAUN, 1961 e WISCHMEIER & MANNERING, 1969 *apud* SOUZA 2001).

NASCIMENTO & CASTRO (1976) dizem que a erodibilidade de um terreno em relação às chuvas é tanto menor quanto maior for a resistência que o terreno oferece à sua ação erosiva, e os principais parâmetros que condicionam a resistência dos terrenos à erosão são a granulometria, a expansibilidade e a petrificação.

Devem-se considerar para a análise da erodibilidade dos solos tropicais os

fatores gênese e o desenvolvimento da sucção nos solos que pode ser expresso pelo potencial matricial da água, o qual se refere à resultante das interações entre a água adsorvida ou capilar e a matriz sólida do solo, onde entram aspectos como adsorção elétrica, tensão superficial, ângulo de contato, peso específico da água e diâmetro estatístico dos tubos capilares (VERTAMATTI & ARAÚJO, 1990).

NASCIMENTO & CASTRO (1976) especificam que os principais parâmetros que condicionam a resistência dos terrenos à erosão são granulometria, expansibilidade e a petrificação. Para os solos arenosos, o parâmetro de referência deve ser a granulometria e no caso de solos argilosos, deve-se atentar para a expansibilidade ou para a petrificação, caso se esteja trabalhando com taludes de corte.

Segundo BARNETT *et al.* (1965) *apud* ALCÂNTARA (1997), a textura é um fator muito importante na determinação da erodibilidade. Esta tende a aumentar para os solos com textura na faixa de areia a silte argiloso. Pequenas diferenças texturais em uma série de solos resultam em valores diferentes do fator K.

VILAR (1987) afirma que a erodibilidade dos solos fica ainda condicionada por dois outros aspectos: a destacabilidade e a transportabilidade das partículas. Pode-se então associar a destacabilidade do solo às forças de natureza superficial, características dos solos finos, enquanto a transportabilidade estaria mais associada às características físicas do sedimento, tais como tamanho e forma das partículas e suas propriedades "in situ".

Para PEJON (1992), a erodibilidade dos materiais inconsolidados está relacionada a dois fatores principais, a destacabilidade e a transportabilidade das partículas, bem como às condições da umidade "*in situ*" e infiltração de águas nesses materiais.

VILAR & PRANDI (1993) afirmam que a erodibilidade também é condicionada pela resistência que o solo pode opor à ação dos agentes erosivos. Esta resistência pode ser afetada por fatores subsidiários, como, por exemplo, os ciclos de umedecimento e secagem que tendem a provocar expansões e contrações no solo ou a concentração de eletrólitos na água que escoar superficialmente ou que percola o solo. Neste último caso, ocorrem os problemas erosivos originados com os solos dispersivos.

Diversos tipos de ensaios (campo e laboratório) vêm sendo utilizados na

identificação e classificação das propriedades (morfológicas, químicas, físicas, mineralógicas, mecânicas e microbiológicas) dos materiais inconsolidados, relacionadas com a erodibilidade.

Para SILVA *et al.* (1997) *apud* SOUZA (2001), existem duas maneiras básicas para se determinar a erodibilidade (K) do solo, no fator da Equação Universal de Perda dos Solos:

- Método direto: Envolve a determinação em condições de campo, sob chuva natural ou simulada em parcelas experimentais;
- Método indireto: Baseia-se em regressões múltiplas que contenham como variáveis independentes, propriedades do solo, notadamente correlacionadas com o fator K.

E. AÇÃO ANTRÓPICA:

A ocupação e a utilização do meio físico pelo Homem estão associadas a diversos aspectos destrutivos. Esses aspectos são relacionados, principalmente ao uso de técnicas impróprias e a um total desconhecimento de processos interdependentes, que são responsáveis pela existência equilibrada do meio físico.

Segundo IWASA & PRANDINI (1980), a interação humana no meio, com o desmatamento, seguido ou não de exploração econômica, implantação de obras civis e/ou núcleos urbanos altera sua estabilidade, intensificando os processos de dinâmica superficial que acelera os fenômenos erosivos.

BRAUN (1961) *apud* RODRIGUES (1982), afirma que as queimadas geram uma grande perda de matéria orgânica, alteram as características químicas do terreno e afetam a estrutura do solo, tornando-os menos resistentes à erosão.

Para FONTES (1999), a criação de gados também é uma prática que contribui muito para o agravamento dos fenômenos erosivos. Os animais além de exterminarem alguns espécimes vegetais, pelo do "pisoteio" constante, geram trilhas nas encostas que servem de canais de escoamento de águas.

A exploração mineral, sem técnicas adequadas, notadamente o garimpo, também é fator desencadeador de intensos fenômenos erosivos (FONTES, 1999).

Segundo RODRIGUES (1982), a implantação de núcleos urbanos se faz

preferencialmente no topo das colinas, alterando completamente o meio físico. A pavimentação que diminui a infiltração e aumenta o escoamento superficial da água, inclusive concentrando-o, é responsável pelo desenvolvimento de erosões aceleradas urbanas.

II. 3.3. MODELAGEM DOS PROCESSOS EROSIVOS:

Uma das questões fundamentais na erosão consiste na necessidade de quantificá-la. Até meados da década de 70, o único instrumento prático para tal finalidade era a Equação Universal de Perdas de Solo. Esta equação, de base fortemente empírica, apresenta uma série de limitações. A necessidade de se prever com mais detalhes e precisão a dinâmica do processo erosivo incentivou o aparecimento de modelos que se apoiam nas leis físicas regentes da erosão. Conceitos da hidrogeologia, do transporte de sedimentos, da hidráulica e da agronomia começaram a ser empregados com o objetivo de melhorar a representação do fenômeno físico.

TIPOS DE MODELOS:

SOUZA (2001) apresenta diversos tipos de modelos que foram desenvolvidos com o objetivo de quantificar os processos erosivos. Entre eles estão *Universal Soil Loss Equation* (USLE), *Modified Universal Soil Loss Equation* (MUSLE) e *Revised Universal Soil Loss Equation* (RUSLE), *Water Erosion Prediction Projected* (WEPP), *European Soil Erosion Model* (EUROSEM), *Limburg Soil Erosion Model* (LISEM), WRIGTH & WEBSTER (1991).

1. USLE: Proposto por WISCHMEIER & SMITH (1960) *apud* SOUZA (2001), que apresentaram a Equação Universal de Perdas de Solo (USLE) para o cálculo das perdas médias anuais de solo. Esse método é utilizado para avaliar a previsão de perdas de um determinado solo, principalmente por processos erosivos lineares.

Os autores propõem uma equação, que consiste em uma expressão algébrica linear simples:

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$$

Onde:

A = perda média de solo (ton. / ha.ano).

R = erosividade da chuva (MJ. mm / ha.h.ano).
 K = erodibilidade do solo (ton. ha. h/ ha.MJ.mm)
 L = comprimento da encosta
 S = inclinação da encosta
 C = de práticas de cultura
 P = práticas de controle de erosão

2. MUSLE e RUSLE: São equações que modificam a proposta original da USLE. DEMARIA & DECHEN (1997) explicam que alguns pesquisadores, ao aplicarem a USLE detalhadamente, verificaram que ela apresenta algumas limitações principalmente quanto ao parâmetro R e, por isso, têm sido propostas modificações. Entre elas, estão a *Modified Universal Soil Loss Equation* - MUSLE (WILLIAMS, 1975) e a *Revised Universal Soil Loss Equation* - RUSLE (RENARD *et al.*, 1991), *apud* SOUZA (2001).

3. WEPP: É um modelo de predição de erosão laminar, baseado em técnicas hidrológicas da ciência do solo, muito difundido em vários países, principalmente por ter sido proposto para a escala da bacia hidrográfica. Ele foi desenvolvido por uma agência de pesquisas do Departamento de Agricultura (USDA-ARS), e foi adaptado para algumas regiões brasileiras, devido principalmente às diferenças climáticas e de solo. Consiste em um modelo semideterminístico, que requer a calibração de alguns parâmetros (clima, solo, relevo e uso/manejo), podendo ser usado como modelo de simulação contínua e sobre a base de precipitação individualizada (NEARING *et al.*, 1989; LANE *et al.*, 1992; CHAVES, 1994 e MORGAN, 1995 *apud* SOUZA, 2001).

Segundo CHAVES (1994) *apud* SOUZA (2001), trata-se de um modelo que pretende substituir a empírica Equação Universal de Perda de Solos. A sua aplicabilidade universal, inclusive em países de clima tropical, constitui uma das suas maiores vantagens. Porém o autor recomenda que seu emprego seja realizado somente após estudos prévios sobre a calibração de parâmetros e sobre a validade para algumas situações típicas de solos, climas, culturas e manejos no país.

4. EUROSEM: O modelo analisa eventos únicos, baseado em processos provenientes

de diversas fontes, com o objetivo 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, porque simula, por exemplo, a maneira como ocorrem as formações das feições erosivas do tipo sulcos e intersulcos, incluindo o transporte da água e sedimentos oriundos dessas feições. (MORGAN, *et al.* 1994 *apud* SOUZA 2001).

5. LISEM: É um modelo que correlaciona, em bases físicas, a hidrologia e a ocorrência de sulcos erosivos nos solos, para ser utilizado para o planejamento e a conservação. Ele foi elaborado para ser utilizado no procedimento dos sistemas *raster* dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e essa incorporação facilita a aplicação em bacias hidrográficas, melhora a interface com o usuário e propicia a utilização de dados gerados pelo sensoriamento remoto. Os resultados fornecidos são os seguintes: arquivos resumindo os totais de precipitação, vazão, perda de solos, etc.; arquivos de séries temporais utilizados para plotar gráficos hidrológicos e sedimentológicos; mapas PCRaster sobre a erosão dos solos e deposição e mapas PCRaster do fluxo superficial em determinados intervalos de tempo (ROO *et al.*, 1994 *apud* SOUZA, 2001).
6. WRIGHT & WEBSTER (1991) *apud* SOUZA (2001): Propuseram um modelo de análise de erosão dos solos, com caráter estocástico, baseado em simulações de escoamento superficial em encostas. Foi considerado que o escoamento superficial e os conseqüentes processos erosivos não são os mesmos em todos os lugares, admitindo-se que um modelo realístico deve ser distribuído espacialmente. Os parâmetros usados, com valores diferenciados, foram os seguintes: condutividade hidráulica, porosidade, capacidade de armazenamento e distribuição do tamanho das partículas.

A elaboração de cartas de susceptibilidade à erosão, assim como para outros processos, pode ter um caráter preventivo, no caso de áreas não ocupadas, ou ainda servir como uma ferramenta básica para a execução de medidas estabilizadoras e

corretivas em áreas já ocupadas.

Os documentos cartográficos produzidos para a avaliação das suscetibilidades do meio físico facilitam o direcionamento da ocupação na área de uma forma de fácil entendimento para o usuário comum, mostrando classes de adequabilidade do terreno para diferentes situações analisadas.

II. 4. INUNDAÇÃO:

Historicamente, planícies de inundações e áreas costeiras têm sido locais favoráveis para ocupação. O rio deixa a terra fértil para plantação, uma boa localização para se morar e bom ambiente para construções e uma rota para comunicações (TUCCI & KREBS, 1986; MUÑOZ, 1987; SOLOMATINE, 1987; BRYANT, 1991; HEIJNE, 1992; COCH, 1995).

Inundação é uma das maiores devastações naturais do mundo, colocando em situações de perigo muitas pessoas, destruição de propriedades, interrupção das comunicações e ruínas dos solos agricultáveis (ACREMAN & FARQUHARSON, 1992).

A percepção do risco de inundação é variável e enfraquece rapidamente; logo após uma inundação, o perigo é avaliado pelas vítimas e frequentemente exagerado. Como nas inundações históricas, onde a evidência do seu poder e extensão é logo esquecido, o perigo desaparece da mente das pessoas em curto espaço de tempo. Portanto, quando a frequência das inundações é baixa, a população ganha confiança e despreza o risco, aumentando significativamente o investimento e a densificação nas áreas inundáveis. Neste caso, geralmente a enchente assume características catastróficas (TUCCI & KREBS, 1986 e SOLOMATINE, 1987).

TUCCI & KREBS (1986) afirmam que a água precipitada sobre as bacias é drenada para os oceanos pelos rios. Quando a precipitação é intensa, a quantidade de água que chega simultaneamente ao rio pode ser superior à sua capacidade de drenagem, ou seja, a sua calha normal, resultando na inundação das áreas ribeirinhas.

De acordo com PENNING-ROWSELL *et al.* (1992), existem muitas causas de inundação, em ambientes costeiros e fluviais. A consequência de atividades humana é parcialmente responsável, em grande escala, por acidentes de inundações, que têm sido

crescentes durante as últimas décadas. Este é um novo reconhecimento de que os agentes são muitos e variados, incluindo mudanças no uso do solo, desenvolvimento de planícies de inundação, aumento dos valores de propriedades afetadas pela inundação, a população móvel, erosão costeira das defesas naturais e seminaturais, e muitos outros fatores (SARAIVA, 1987 *apud* PENNING-ROWSELL *et al.* (1992)). Muitos destes fatores podem aumentar a exposição e o potencial de perda para as pessoas afetadas. No entanto, a vulnerabilidade pode aumentar assim como aumentar a frequência e a gravidade da inundação. Também as populações tornam-se menos adaptadas às inundações, que têm impacto em suas atividades, devido a uma falsa percepção de sua exposição ao risco.

Os problemas resultantes da inundação dependem do grau de ocupação da várzea pelo Homem e da frequência na qual ocorrem as inundações. A ocupação da várzea pode ser classificada em habitação, recreação, agrícola e industrial. A população de maior poder aquisitivo tende a habitar os locais mais seguros e a população carente, a ocupar as áreas de alto risco de inundação, do que decorrem problemas sociais reincidentes por ocasião de cada cheia na região (TUCCI & KREBS, 1986; MUÑOZ, 1987; TORTEROT, *et al.* 1992).

Em áreas comerciais e industriais, o contato entre estoques de produtos e maquinários com a água é responsável pelas maiores perdas. A interrupção de negócios em andamento e a perda da produção também elevam os prejuízos, mas podem ser retomados com o fim da inundação. Neste caso, o que determina o prejuízo ocorrido é principalmente o nível atingido pela água, a duração do evento, os danos causados por sedimentos e o grau das precauções tomadas.

O resultado da urbanização e do desmatamento é o aumento do volume de sedimentos nos leitos dos rios e a diminuição do tempo de resposta da bacia à precipitação, aumentando os níveis, agravando o problema de inundação (TUCCI & KREBS, 1986).

É possível proteger as propriedades e o desenvolvimento contra inundação, no entanto, a proteção pode ser apenas um alívio do problema, não eliminando o problema (HEIJNE, 1992). A ocupação das áreas urbanas impróprias pode ser evitada por meio do planejamento do uso dos solos das várzeas, o qual deve ser regulado no Plano Diretor

Urbano das cidades (TUCCI & KREBS, 1986).

PORTO *et al.* (1993) afirmam que a melhor decisão a ser tomada para solucionar esse tipo de problema é o disciplinamento da ocupação por meio de uma densificação compatível com os riscos de inundação da área. No planejamento da ocupação do espaço, diversas medidas preventivas de controle de enchentes podem ser adotadas, mas se, no entanto a população ocupar os espaços antes de elas serem implementadas, as soluções terão um custo muito alto.

A questão das enchentes urbanas apresenta um caráter multidisciplinar, pois envolve aspectos hidrológicos, meteorológicos, urbanísticos, ecológicos, sociológicos, econômicos, além de outros (DOCUMENTOS FINAIS DO SEMINÁRIO SOBRE ENCHENTES URBANAS, 1984 e HEIJNE, 1992).

II.4.1. DEFINIÇÕES:

CHOW (1956) *apud* SMITH & WARD (1998) diz que uma inundação é um fluxo relativamente alto com sobretaxas provindas do canal natural pelo escoamento superficial.

Segundo HOYT & LANGBEIN (1970), planície de inundação (*Flood plain*) é a porção mais plana, na margem do rio, usualmente seca, mas sujeita a inundação. É formada por aluviões, sedimentos carregados, depositados e retrabalhados pelo rio.

De acordo com PELLEYMOUNTER & FALOMER (1992), planície de inundação é a área de terra adjacente ao rio, sujeita à inundação ou não, protegida por algum corpo de barragem.

Segundo a COMISSÃO ESPECIAL DE ESTUDOS SOBRE ENCHENTES (1995), existe uma distinção conceitual entre os termos enchentes ou cheias e inundação. Todo rio ou córrego possui um leito por onde correm suas águas. As dimensões desse leito foram "determinadas" pela natureza segundo a sua vazão média normal. É tecnicamente chamado de leito menor do córrego ou rio, e é limitado pelo que se denominam margens internas. Porém há condições especiais em que o leito menor do rio ou córrego não comporta esta vazão. São os momentos de grande intensidade de precipitações pluviométricas, por exemplo, quando a vazão das águas é maior do que a capacidade do seu leito menor.

Nesses momentos, as águas extrapolam os limites físicos do leito menor e extravasam-se pela várzea, também chamada de leito maior do rio, chegando às suas margens externas. É isso que acontece com qualquer rio, seja no Pantanal mato-grossense, seja, na capital paulista. Portanto a cheia ou enchente é um fenômeno natural. Já a inundação é o fenômeno natural das cheias, mas, em condições adversas ao Homem. Essa nomenclatura deve ser aplicada quando as ações antrópicas, na tentativa de controlar a natureza, fracassam na sua intenção (MUÑOZ, 1987; LENZI, 1987; COMISSÃO ESPECIAL DE ESTUDOS SOBRE ENCHENTES, 1995).

COMISSÃO ESPECIAL DE ESTUDOS SOBRE ENCHENTES (1995) diz ainda que enchente não é, necessariamente, sinônimo de catástrofe. É apenas um fenômeno natural dos regimes dos rios. As inundações passam a ser um problema para o homem quando ele deixa de respeitar esses limites naturais dos rios. Por exemplo, quando se instala junto às margens, ou então quando altera o ambiente de modo a modificar a magnitude e o regime das enchentes, quando desmata, remove a vegetação e impermeabiliza o solo.

II. 4.2. TIPOS DE INUNDAÇÕES:

As inundações podem ser classificadas quanto ao seu ambiente (fluvial ou costeiro) ou quanto às características físicas e ambientais que levaram ao fenômeno.

A. INUNDAÇÕES FLUVIAIS:

Os fatores que influenciam as inundações fluviais são principalmente chuvas intensas, degelo, liberação de reservatórios, impermeabilização do solo por efeitos climáticos, tais como secas ou por ação antrópica, entre outros fatores.

Algumas vezes, inundação em planícies de inundação ou de outras áreas planas ocorre em condições chuvosas quando existe um nível freático aflorante. Este tipo de inundação do nível freático (saturação) é um precursor de transbordamentos de canais de rios (SMITH & WARD, 1998).

Em condições muito secas, quando a superfície do terreno está muito ressecada ou com crostas, grandes áreas planas podem ser inundadas por precipitação

abundante formando concentrações de água na superfície. Esta inundação por água da chuva é típica em ambientes áridos e semi-áridos, mas também ocorre em outras situações (SMITH & WARD, 1998).

Os principais tipos de inundações fluviais são:

Enxurradas (*Flash Flood*): Este tipo de cheias apresenta-se freqüentemente em pequenas bacias, especialmente se montanhosas e em áreas urbanas mal drenadas. São cheias com hidrograma de pico muito agudo. Estão associadas a chuvas muito intensas, de curta duração (MUÑOZ, 1987).

As enxurradas são os mais perigosos tipos de inundação, porque combinam a força destrutiva das inundações com incrível velocidade e imprevisibilidade.

Cheias torrenciais, à semelhança das enxurradas, têm como característica principal a alta velocidade das águas, ocasionada pela declividade acentuada do rio e de sua bacia de contribuição, possuindo um grande poder de destruição (LENZI, 1987).

Cheias comuns (*Single Event Floods*), que são aquelas que apresentam um hidrograma relativamente simples, com pico claramente definido, mas de duração e volume total substancialmente maior que nas cheias do tipo enxurrada. Tais cheias estão associadas com chuvas de longa duração (várias horas ou vários dias), conforme a Figura 10A (MUÑOZ, 1987).

Cheias com repique (*Multiple Event Floods*), resultado de chuvas de duração longa, medidas em dias ou semanas. Apresentam vários picos, constituindo hidrogramas complexos, resultados de uma sucessão de períodos chuvosos separados por curtos intervalos de chuvas fracas ou nulas, conforme a Figura 10B (MUÑOZ, 1987).

Figura 10 A e B - Histograma representando uma cheia comum e uma cheia de repique, respectivamente

Cheias sazonais (Seasonal Floods), em diversas partes do mundo o regime hidrográfico se caracteriza por apresentar um período de águas altas com notável regularidade, sempre na mesma época do ano, com duração de vários meses e inundando grandes extensões de dezenas milhares de quilômetros quadrados, situação que se reflete na forma do hidrograma anual. Exemplos típicos, no Brasil, destas cheias sazonais, são as referentes ao Pantanal mato-grossense e ao rio Amazonas (MUÑOZ, 1987).

Cheias de várzea, em que a velocidade das águas é menor. Tem características diferentes, pois a correnteza limita-se ao canal principal, e o restante da água, em forma de lago, se espalha por extensas áreas do leito secundário, inundando com frequência, grandes áreas urbanizadas (LENZI, 1987).

B. INUNDAÇÕES COSTEIRAS:

A inundação costeira ocorre principalmente por fenômenos climáticos, tais como furacões, "tsunamis" (que são ondas de maré gigantes que são criadas por vulcões ou terremotos no oceano), chuvas tropicais, mas também pelo efeito de marés, rompimento de diques entre outros. No Brasil é mais comum ocorrer inundações por chuvas intensas e por efeito de marés, muitas vezes associadas à ocupação inadequada.

O transbordamento é maior quando o nível da maré alta é maior que o normal para condições de ocorrência de tempestade ou quando grandes fluxos de águas doces são movidos ao longo de um estuário (SMITH & WARD, 1998).

Inundações em áreas de linhas costeiras, incluindo estuários e deltas, envolvem o solo com águas salobras ou salinas (SMITH & WARD, 1998).

II. 4.3. FATORES NATURAIS E ANTRÓPICOS CONDICIONANTES DOS PROCESSOS:

Entre os principais agentes predisponentes de inundações encontram-se a forma dos vales, topografia das várzeas, permeabilidade do solo, configurações costeiras. E entre os agentes deflagradores estão o clima (pluviosidade) e a ação das marés, e entre os principais agentes modificadores estão a ação antrópica, vegetação entre outros.

De acordo com MUÑOZ (1987), é importante destacar que a magnitude de uma cheia não é apenas dependente da magnitude do seu agente causador climatológico (chuva, por exemplo), mas também das condições agravantes na bacia receptora.

Vários são os processos que podem levar à inundação em áreas costeiras. Alguns são naturais, como os "tsunamis", furacões, ciclones e marés muito altas.

Outras inundações em áreas costeiras são causadas por atividades antrópicas, por exemplo, o desenvolvimento urbano em materiais inconsolidados, sedimentos compressivos em deltas e regiões costeiras podem ajudar a subsidência da superfície com inundações associadas.

Segundo KELLER (1992) e ASWATHANARAYANA (1995), as inundações são causadas por vários fatores:

- Climatológicos (chuvas, degelo, e chuva associada a degelo);
- Com influência climática (tempestades costeiras, interação entre estuários e fluxo de maré);
- Outros (terremoto, escorregamento, ruptura de barragens e outras obras de controle).

As causas de inundações e seus fatores de intensificação são resumidos na Figura 11, segundo SMITH & WARD (1998).

CAUSAS DE INUNDAÇÕES

FATORES QUE INTENSIFICAM AS INUNDAÇÕES

Figura 11 - Causas de inundações e fatores intensificantes SMITH & WARD (1998)

FORNASARI FILHO (1972) apresenta os processos de inundações na Tabela 08.

Tabela 8 - Processos de inundações (FORNASARI FILHO, 1972)

ELEMENTO INTERATIVO DO PROCESSO		FATORES CONDICIONANTES DOS ELEMENTOS INTERATIVOS DO PROCESSO	PARÂMETROS DOS FATORES CONDICIONANTES DO PROCESSO
ESSENCIAIS	Curso d'água	Características geométricas da bacia	Área e forma da bacia
		Capacidade de escoamento e características dos declives de cursos d'água	Vazão fluvial, comprimento e grau de declives
	Planície de inundação	Características geométricas da planície de inundação	Extensão (área inundável)
REGULADORES	Chuva	Pluviosidade	Padrões sazonais ou periódicos de intensidade, duração e frequência
	Cobertura (natural) da bacia	Vegetação	Tipo de vegetação e densidade da cobertura vegetal
	Outros processos	Escoamento das águas em superfície. Deposição de sedimentos ou partículas Circulação da água no ar Movimentação das águas em subsuperfície	

O dano causado pela precipitação tem dois fatores: o total precipitado e a sua duração; e as condições hidrológicas para ocorrer a inundação podem ser naturais ou artificiais (TUCCI & KREBS, 1986).

Segundo TUCCI & KREBS (1986), as condições naturais são aquelas em que as bacias no seu estado natural propiciam condições para sua ocorrência. Algumas dessas condições são: relevo, tipos de precipitação, cobertura natural e capacidade de drenagem.

A. RELEVO

Os rios normalmente drenam na sua cabeceira áreas com grande declividade e, em consequência, altas velocidades de escoamentos. Nessas áreas a variação do nível durante a enchente pode ser de vários metros em poucas horas. Como o relevo é acidentado, as áreas mais propícias à ocupação são as planas e mais baixas, que são as mais inundáveis (TUCCI & KREBS, 1986).

Quando o rio atinge, no seu médio e baixo curso, áreas planas e de baixa declividade, a planície de inundação cresce (até vários quilômetros), onde ocorrem os maiores prejuízos (TUCCI & KREBS, 1986).

B. TAXA DE INFILTRAÇÃO:

A infiltração é reduzida naturalmente em alguns desertos (solos áridos) quando crostas impermeáveis e camadas arenosas desenvolvem-se na parte superior do solo. A atividade humana pode reduzir a capacidade de infiltração com pavimentação e construção de rodovias e equipamentos, compactando as camadas superficiais.

Grandes tempestades inundam a superfície mais rapidamente que a infiltração pode ocorrer, e este excesso de água move como um fluxo laminar para causar enxurradas ("flash flood").

A impermeabilização do solo por construções e estradas impede a infiltração, gerando inundações urbanas, que ocorrem quando águas pluviais urbanas escoam por sobrecarga ou transbordamento (MUÑOZ, 1987).

C. FATORES CLIMÁTICOS:

Em geral, as inundações fluviais são resultados diretos ou indiretos de eventos climáticos com chuvas essencialmente prolongadas (SMITH & WARD, 1998).

A coincidência de marés altas com a ocorrência de enxurradas diminui a velocidade de escoamento por efeito de represamento, acarretando uma elevação do nível das águas a montante.

Considerando-se uma chuva sobre uma bacia hidrografia (Figura 12), em geral, parte da precipitação será interceptada pela vegetação e posteriormente evaporada. Outra parte preencherá as depressões topográficas do terreno e daí evaporada ou infiltrada. Outra infiltrará no terreno e daí dará origem aos escoamentos subsuperficial e subterrâneo. Se a chuva ainda continuar e a sua intensidade for maior que a velocidade de infiltração no terreno, a precipitação excedente dará origem ao escoamento superficial (COCH, 1995).

Figura 12- Figura esquemática do canal de drenagem apresentando diferentes tipos de contribuições de águas (COCH, 1995)

A ciclicidade existente entre períodos de seca e de chuvas intensas não ocorre somente em porções semi-áridas do globo, mas também em latitudes temperadas. Esta ciclicidade não é aleatória, mas correlacionada ao ciclo lunar em diversas regiões da América do Norte, Argentina, Norte da China, Vale do Rio Nilo e Índia (BRYANT, 1991).

O "El Niño" é responsável por dramáticas flutuações na precipitação do hemisfério Sul e está sujeito a previsões (BRYANT, 1991).

D. INFLUÊNCIA DAS MARÉS

Inundações de estuários e costeiras são normalmente causadas por uma combinação de marés altas e elevação do nível do mar por grandes ondas associadas com a ocorrência de tempestades resultantes de fortes ciclones aquáticos. Em áreas estuarinas e costeiras protegidas por muros ou diques de inundação pode haver transbordamento onde o excesso do nível de água, a altura da proteção ou dos taludes naturais e onde a combinação de efeitos de ondas e nível das águas resultam em ondas avançando e parando sobre as defesas ou fracassos estruturais de defesas (BURGESS & REEVE, 1994 *apud* SMITH & WARD, 1998). Quando em um estuário, surge uma tempestade coincidente com grande fluxo interno de águas do rio, em condições especiais de inundação no estuário, pode ocorrer também o aumento da inundação, atingindo terras baixas de rios drenados para o estuário (como apresentado na linha

tracejada na Figura 11).

E. AÇÃO ANTRÓPICA:

Como foram apresentadas na Figura 12, inundações podem ser intensificadas por diversos fatores. Nos casos de inundação costeira e de estuários, existe a intensificação dos resultados por causa do afunilamento do estuário e da configuração da linha costeira, como, por exemplo, na Baía de Bengal e na parte sul dos mares do Norte. Para a mesma razão das defesas de transbordamento do mar é menos comum que extravasem em costa aberta, mas é um importante aspecto de inundação em áreas estuarinas. No auge das ondas "tsunamis", o ponto de impacto sobre as linhas costeiras é dependente do talude costeiro.

Considerando-se uma mesma precipitação "P", o nível das águas aumentará quando houver, em determinada bacia, fatores que perturbem o sistema natural, denominados "fatores agravantes" (ou modificadores).

A diminuição do tempo de concentração significa que, para uma mesma precipitação, o volume de água precipitada sobre a bacia levará menos tempo para concentrar-se em um ponto mais baixo, elevando, portanto, o nível das águas.

Superfícies impermeabilizadas são aquelas que impedem ou diminuem a absorção das águas pelo solo (sistema viário, edificações, calçadas, aterros)

A retificação de canais contribuintes, faz aumentar a velocidade de escoamento, e, pode causar prejuízos a jusante pela elevação do nível das águas em menor tempo.

A alteração da geometria do canal, pela diminuição de sua seção, também acarretará um aumento na altura das águas. Isso decorre dos estrangulamentos resultantes da construção de pontes, bueiros (subdimensionados) e dos aterros e edificações existentes no canal.

Outro fator de diminuição da área livre do canal é o assoreamento provocado pelos desmatamentos, aterros e a disposição de lixo.

As enchentes, quando acontecem em meio rural, não acarretam prejuízos significativos, e a convivência com o homem se faz normalmente tranqüila. Nas cidades, ao contrário, os obstáculos colocados pelo homem no caminho das águas quase sempre são imensos, o que resulta em uma convivência traumática.

Os resultados da urbanização no escoamento são: aumento da vazão máxima, aumento do escoamento superficial, antecipação do tempo do pico e diminuição do tempo de base (TUCCI & KREBS, 1986).

A urbanização encurta o intervalo e aumenta o pico de vazão, aumentando a inundação, conforme a Figura 13.

Figura 13 - Seção apresentando os efeitos de chuvas intensas, e construção de um canal aumentando o pico de vazão da drenagem (COCH, 1995)

F. COBERTURA VEGETAL:

A cobertura vegetal tem como efeito a interceptação de parte da precipitação e o retardamento do escoamento (TUCCI & KREBS, 1986).

A vegetação em geral reduz a velocidade do fluxo de água, ajudando a infiltração e reduzindo o risco de inundação. Inversamente, a falta de vegetação reduz a infiltração e aumenta os riscos de inundação.

O desmatamento produz efeito semelhante à urbanização. Além disso, produz aumento da erosão do solo, que também ocorre nas cidades. O solo sem proteção, pela dinâmica da precipitação, é levado pelas águas até os rios, assoreando o seu leito e aumentando os níveis (TUCCI & KREBS, 1986).

Se uma área é bem vegetada, a penetração da chuva ocorre lentamente na drenagem, e o pico de vazão ocorrerá bem depois do início da chuva (Figura 14). A diferença de tempo entre o pico de precipitação e o pico de vazão do rio é chamada de intervalo. O intervalo existe porque este é o tempo para a chuva saturar o solo e criar escoamento superficial significativa (COCH, 1995).

O desmatamento, principalmente das encostas, elimina o freio que a cobertura florestal representa ao avanço das águas. No caso de enxurradas, a absorção do

sistema radicular da vegetação é menos significativo.

Figura 14 - Hidrograma apresentando diferentes áreas naturais e áreas ocupadas: a) rio com área vegetada (antes da urbanização); b) depois da urbanização (COCH, 1995)

Eliminando-se a vegetação perde-se a capacidade de retenção da água e também a sua capacidade de infiltração no solo. Consequentemente, o volume de água que chegará aos rios será maior. E, portanto, os prejuízos das inundações também se acentuarão.

II.4.4. EFEITOS SOCIO-ECONÔMICOS:

Segundo HOYT & LANGBEIN (1970), perdas com inundações podem ser definidas como destruição ou prejuízo, parcial ou completo, para os valores de bens e serviços, ou para a vida, resultando em ações de inundações de água e lamas que são

carregadas. Perdas com inundação são prejudiciais financeiramente.

As conseqüências imediatas da destruição de propriedades são facilmente vistas e evoluem rapidamente. Uma casa destruída, automóveis molhados sempre são fatos comuns e calculadas (HOYT & LANGBEIN,(1970)).

De acordo com GASTAL (1987), numerosas são as conclusões que se podem obter a partir da análise de informações disponíveis sobre o assunto e dos valores das perdas sociais e econômicas causadas por esses desastres naturais.

As perdas são diretas ou indiretas, de acordo com a ação; tangíveis ou intangíveis, de acordo com a natureza. Os danos diretos são os mais óbvios: consistem na perda da propriedade física ou na destruição regular intangível, como papéis contendo informações valiosas (HOYT & LANGBEIN, 1970).

Segundo COCH (1995) e HOYT & LANGBEIN (1970), os efeitos da inundação são:

- Perturbação regional e perda econômica: estradas interrompidas, destruição de plantações, lojas fechadas, falta de água, interrupção do turismo, e das comunicações.
- Problemas de saúde: esgoto nas águas, tétano, reprodução de insetos em poças de água parada com propagação de doenças, substâncias tóxicas.
- Efeitos biológicos: Nem todos os efeitos de inundação são ruins: alguns são positivos. Com o trasbordamento, são carregados nutrientes que fertilizam, como plantas aquáticas e pequenos peixes, lagos isolados, atraindo aves aquáticas e patos. O solo também se torna melhor quando adicionados nutrientes nas planícies de inundação, embora colheitas sejam destruídas.

II. 4.5. MEDIDAS DE PREVENÇÃO, CONTROLE E AVALIAÇÃO:

Existem três maneiras de prever uma inundação:

- Técnicas estatísticas para prever a freqüência de inundação de uma dada magnitude.
- Modelos e mapeamentos para determinar a extensão da área de risco associados com a inundação de uma dada magnitude.

- Monitoramento de processos de tempestade para antecipar informações aos que possam ser afetados por uma inundação.

Prevenção contra inundações significa uma estratégia a longo prazo para se mitigar os impactos negativos de um determinado perigo. É no campo de construção e de planejamento físico que a maioria das medidas de mitigação podem ser adotadas (SOLOMATINE, 1987). Construções pobres, manutenção e localizações inadequadas de estruturas de engenharia devem ser evitadas.

A previsão de cheia a longo prazo quantifica as chances de ocorrência da inundação em termos estatísticos, sem precisar quando ocorrerá a cheia (TUCCI & KREBS, 1986).

Para efetuar a previsão de cheia em curto prazo são necessários: sistemas de medições, comunicações e metodologia de estimativa. O sistema de medições e comunicações é utilizado para transmitir os dados de precipitação, o nível e vazão, durante a ocorrência do evento. O processo de estimativa é realizado por meio do uso de modelos matemáticos que representam o comportamento das diferentes fases do ciclo hidrológico (TUCCI & KREBS, 1986).

Segundo TUCCI & KREBS (1986), a previsão de níveis de enchente pode ser realizada com base na: previsão de precipitação, precipitação conhecida, vazão de montante e combinação dos dois últimos.

No primeiro caso, será necessário estimar a precipitação que cairá sobre a bacia, pelo uso de equipamentos como o radar. A seguir, conhecida a precipitação sobre a bacia, é possível estimar a vazão e o nível por modelo matemático que simule a transformação de precipitação em vazão. Nesta situação, a antecedência de previsão é a máxima possível.

A previsão, conhecida a precipitação na bacia, requer uma rede telemétrica de coleta de transmissão de dados e um modelo matemático de transformação de precipitação em vazão. A antecedência de previsão é menor neste caso e está limitada ao tempo médio de deslocamento da enchente.

A previsão em curto prazo, com base em posto a montante do ponto considerado, depende das características do rio, ou seja, da área controlada da bacia. Neste caso, o tempo de antecedência é menor que os anteriores.

Quando a bacia intermediária, da situação anterior, apresentar uma contribuição significativa, a combinação dos dois processos anteriores é utilizada na previsão em tempo atual.

Para a avaliação em curto prazo, podem ser usados modelos determinísticos ou empíricos. Além disso, a previsão pode ser realizada sem levar em conta as novas informações que chegam a cada intervalo de tempo ou, levando-se em conta essas novas informações, atualizando-se as variáveis e parâmetros dos modelos.

Segundo PINHEIRO (1987); FRANK (1987); SOLOMATINE (1987), HEIJNE (1992) e DOCUMENTOS FINAIS DO SEMINÁRIO SOBRE ENCHENTES URBANAS (1994), o problema das enchentes urbanas deve sempre ser abordado com dois procedimentos básicos:

- **Medidas estruturais:** canalização, retificação, reservatórios e diques.
- **Medidas não estruturais:** preservação e recuperação da cobertura vegetal, ocupação racional do solo da bacia; disciplinamento de ocupação do fundo e encostas do vale; implantação de rede telemétrica de hidrometeorologia; sistema de alerta; campanha de conscientização para a defesa do vale; sistema de seguro; manutenção e limpeza de drenagens.

As medidas estruturais podem acabar com o problema das inundações nas áreas com declividades baixas (> 2%), ou reduzir sua magnitude de ocorrência, mas o seu custo é alto.

As medidas não estruturais, que envolvem regras disciplinares estabelecidas pelo setor público competente (municipal, estadual ou federal), de maneira a permitir uma convivência com a inundação provocada pelo extravasamento da onda de cheia do canal fluvial. Tais medidas são alcançadas pelo gerenciamento da bacia hidrográfica e pelo gerenciamento da planície de inundação (LANNA, 1985 *apud* PINHEIRO, 1987).

O conhecimento das superfícies de inundação, além de auxiliar a ação de planejamento no que diz respeito à elaboração do Plano Diretor de Ocupação e do Uso do Solo do município ou região, também contribui no planejamento e atuação do órgão de Defesa Civil nos momentos de ocorrência destes eventos (PINHEIRO 1987).

O controle de enchente é a adaptação do Homem ao uso de regiões inundáveis. O princípio básico é o de trabalhar de acordo com a natureza; não tentar a cara tarefa,

geralmente impossível, tanto física como economicamente, de controlar a cheia de uma maneira total (GAPLAN, 1984 *apud* FRANK, 1987).

SMITH & WARD (1998) apresentam um quadro com as variações do potencial humano diante dos riscos de inundação (Figura 15).

Figura 15 - As variações do potencial humano diante de riscos de inundação (SMITH & WARD, 1998)

Segundo COCH (1995), vários métodos são usados para reduzir o evento de inundação e para minimizar os seus efeitos ("flood mitigation"). Eles incluem:

- Caminhos de enchente e desvios: Comunidades podem reduzir o perigo de inundações criando canais de escoamento; delimitando áreas onde não são permitidas novas estruturas ou casa. As casas e negócios são relocados da planície de inundação e aqueles que ainda restam são convenientemente protegidos (COCH, 1995).
- Muros de contenção: Alguns trechos de rios que são propensos à inundação são protegidos por muros de contenção de inundação. As estruturas de concreto, paralelas às margens do rio, ajudam a prevenir enchentes (COCH, 1995).
- Barragens: Suplemento de água, geração de energia elétrica, recreação e

controle de inundação. Uma barragem cujo único propósito é proteger de enchentes é chamada de barragem de proteção de enchentes, que difere de outras porque elas visam manter a vazão sempre que possível (COCH, 1995). São importantes para áreas propensas a enxurradas.

- Diques de contenção: ("Levees"): Segundo COCH (1995), apesar de minimizar inundações locais, eles criam outros problemas: impedem o enriquecimento do solo, pois inundações periódicas fertilizam, por deposição de partículas minerais, a planície de inundação. Quando se previne esta inundação, o enriquecimento do solo é interrompido e também se oferece às pessoas a falsa sensação de segurança.

A utilização de modelos analíticos como os hidrológicos constitui uma tecnologia apropriada para avaliar as alternativas de combate às cheias, e seus impactos. Tais modelos possibilitam a opção pela alternativa adequada sob o ponto de vista social, econômico e ambiental (DOCUMENTOS FINAIS DO SEMINÁRIO SOBRE ENCHENTES URBANAS, 1994).

Em um sentido amplo, o controle das cheias é a adaptação do homem ao uso da várzea inundável, sendo que o princípio básico é o de trabalhar com a natureza; não tentar a tarefa de contê-las totalmente. Portanto, o controle das cheias passa pelo controle do uso da várzea, o qual compreende o uso tanto da terra quanto da água.

II. 4.6. FORMAS DE ESTUDO E ANÁLISE DOS RISCOS DE INUNDAÇÕES:

Considerando-se uma seção transversal qualquer em um determinado curso de água, a representação gráfica da seqüência cronológica do volume que atravessa a seção por unidade de tempo é chamada de hidrograma. (Figura 16).

Figura 16 - Hidrograma resultante de uma chuva (SMITH & WARD, 1998)

As características de uma cheia, traduzidas no seu hidrograma, são resultados das chuvas e da sua ação sobre as bacias. Bacias com altas declividades e com pouca cobertura vegetal, por exemplo, favorecem o escoamento rápido, facilitando a formação de cheias do tipo torrencial. Áreas planas e com boa cobertura facilitam a infiltração e interferem na velocidade das águas, aumentando o tempo de escoamento direto.

Por outro lado, se a bacia estiver com solos saturados devido a chuvas anteriores, o hidrograma resultante de uma chuva terá área e forma diferentes das dos casos de solos secos, depois de prolongados períodos sem precipitação.

Em ambientes costeiros, é necessário lembrar que nos casos de rios de pouca declividade, as águas podem ser represadas por efeito de marés muito altas, contribuindo para agravar situações de inundação.

Segundo COCH (1995), diversas variáveis descrevem características da subida do rio e canal (Figura 17):

- Vazão (vazão): É o volume de água que passa em um ponto em um determinado período de tempo (m^3/s ou pés/s). Grandes vazões erodem mais o leito dos rios e transportam mais materiais erodidos das áreas.
- Velocidade: É a taxa de fluxo de água e varia com o gradiente e vazão do rio.

A velocidade máxima ocorre no centro do canal, justamente abaixo da superfície.

- Largura do rio (w): A distância horizontal entre as margens é medida perpendicularmente ao fluxo.
- Profundidade do rio (d): A distância vertical entre a superfície da água e o fundo do rio é a média de vários pontos ao longo do rio.

Figura 17 - Variáveis usadas para descrever as drenagens (observa mudanças na largura (w) e na profundidade (d) com aumento da vazão) (COCH, 1995)

A administração da rede de água requer análise de no mínimo quatro diferentes eventos em condições hidrológicas:

- condições da provável inundação máxima
- condições de vazão com escolha de recorrência no período (Q_n , $n = 10, 50, 100, \dots$)
- condições de vazão para um uso particular (agricultura, produção de energia, suprimento de água, etc.)
- condições de baixa vazão (preservação da biota)

Segundo MUÑOZ (1987), é freqüente a referência a uma cheia como centenária ou cheia de 50 anos, por exemplo. Implicitamente, isso corresponde a um outro critério de caracterização. É o critério estatístico, segundo o qual a cheia é caracterizada pela estimativa do seu tempo de retorno. O período de retorno, intervalo de recorrência ou

simplesmente recorrência, é definido como o intervalo médio entre a ocorrência de uma cheia, com uma determinada magnitude, e uma outra de igual ou maior valor.

O período de recorrência de uma enchente é o tempo médio em anos em que essa enchente é igualada ou superada pelo menos uma vez. O método para a determinação de períodos de recorrência consiste, essencialmente, em analisar uma série de dados de vazões máximas anuais e ajustá-la a uma distribuição para se indicar o período de recorrência média de inundações da magnitude desejada ou em determinar, para um certo período de recorrência, a magnitude da inundação esperada.

Segundo ACREMAN & FARQUHARSON (1992), o tamanho de uma inundação e sua frequência de ocorrência variam em cada local, dependendo da natureza da bacia hidrográfica a montante e de seu regime pluviométrico.

A magnitude típica de inundação é normalmente definida por Q , a média da máxima anual da série de inundações (por exemplo: a maior inundação em cada ano). Usando-se a análise regressiva, os índices de talude do canal, a média de chuva anual, o tipo do solo, a densidade de drenagem e o uso do solo (degradação florestal ou urbanização) têm sido responsáveis por mais de 90% da variação em vazão, embora áreas de drenagens isoladas possam responsabilizar-se por 50-60% dessa variação.

Vários fatores controlam a rota de um rio. Os mais importantes são o gradiente, a área da seção transversal do canal (largura X profundidade média), a velocidade média do fluxo de água, vazão e carga. A relação entre a vazão, velocidade e tipo do canal é expressa pela seguinte equação:

$$Q = a \times v$$

Onde:

Q = vazão (m^3/s)

a = área transversal da seção (m^2)

v = profundidade média (m/s).

Segundo KELLER (1992), a inundação está intimamente ligada com a quantidade e intensidade da precipitação e escoamento superficial. As inundações catastróficas relatadas na imprensa são produzidas por chuvas intensas e pouco frequentes. Pequenas inundações são produzidas por pouca intensidade de chuvas, que ocorrem mais frequentemente. Todo o evento de fluxo que pode ser medido ou estimado em

estações de medidas fluviais pode ser ordenado quanto à sua magnitude de vazão. A lista de fluxo obtido é ordenada e pode ser plotada em uma curva de frequência de vazão (Figura 18), com intervalo de recorrência para esta relação:

$$R = \frac{N + 1}{M}$$

Onde:

R = intervalo de recorrência em anos

N = número de anos de registros

M = taxa de fluxo.

Figura 18 - Exemplo de uma curva de frequência de inundação (KELLER, 1992)

De acordo com KELLER (1992), quanto mais detalhados forem os fluxos de dados coletados, mais precisa é a previsão de inundação. No entanto, a partir do padrão estrutural de 10, 25, 50 ou até de 100 anos de inundação é calculado um risco prevendo uma inundação de uma certa magnitude com base na probabilidade.

O estabelecimento da maior enchente provável é geralmente baseado no estudo da máxima precipitação provável ou nas medidas de descarga em séries longas do rio em estudo (DUNNE, 1978).

As análises de variações de marés também são importantes para auxiliar a compor o quadro de inundação em áreas costeiras, quando associado a chuvas.

O estudo de variações de marés é semelhante à variação de chuvas, em que são estimadas a magnitude e a frequência relacionadas a elevação máxima para um determinado período.

Segundo SOLOMATINE (1987), o objetivo da análise de risco de inundação é

reduzir as perdas provocadas por inundações e usar mais efetivamente as águas das inundações e as potencialidades do solo.

A análise dos riscos de inundações é entendida como o processo de identificação dos perigos de inundações e a avaliação de seu impacto negativo sobre as áreas sujeitas a inundações. Tecnicamente, este processo de análise se constitui das seguintes operações:

- Estimativa do perigo de inundação (probabilidade): É definido em termos de sua magnitude, frequência e ocorrência.
- Estimativa dos danos prováveis oriundos de uma certa magnitude de perigo:
A estimativa do provável impacto de uma inundação sobre a vida, sobre a infra-estrutura econômica e sobre as atividades humanas, em geral, é compreendida de três fatores (SOLOMATINE, 1987).

Os acidentes associados à inundação podem ser diferenciados em efeitos primários, secundários e terciários. Os impactos primários de inundações são aqueles causados pelo contato com o fluxo de água. Eles incluem mortes por afogamento, danos estruturais em construções, perdas agrícolas e erosão de áreas de inundação. Os efeitos secundários e terciários são impactos de grande escala que são indiretamente relatados como inundação (SMITH & WARD, 1998).

Muitos estudos de inundação com ênfase nos seus impactos negativos atentam particularmente para as perdas diretas ocorridas imediatamente após o evento, como resultado do contato físico das águas da inundação com pessoas e com propriedades. No entanto, perdas indiretas, menos associadas aos desastres de inundação mas possíveis de ocorrer em grandes escalas de tempo, podem ser iguais ou mais importantes, de acordo com SMITH & WARD (1998).

Para uma correta avaliação dos danos provocados pelas enchentes, é necessário ter claro que nem todos os prejuízos podem ser transformados em unidades monetárias, como, por exemplo, os danos causados ao Homem e ao Meio Ambiente, chamados de prejuízos intangíveis (GTHidro, 1984 *apud* FRANK, 1987).

II. 5. RISCOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS:

II. 5.1. CONCEITOS BÁSICOS:

Diversos autores definem situações em que a ocorrência de um fenômeno geológico pode ou não gerar perdas e danos. Na elaboração de documentos cartográficos adequados e funcionais, os principais conceitos foram definidos por: UNDRO (1978), VARNES (1984), VARNES *et al.* (1985), CENDRERO *et al.* (1987), , CERRI (1993), LEROI (1996), ZUQUETTE *et al.* (1995), OGURA (1995), ANBALAGAN (1996), FOOKES (1997) e FELL (1997).

UNDRO (1978)

Ameaça: Evento raro ou extremo no meio natural ou antrópico que afeta adversamente a vida, propriedades ou atividades humanas a ponto de causar um desastre.

Desastre: Alteração séria das funções de uma sociedade que ocasiona perdas humanas, materiais ou ambientais de tal gravidade que excedem a capacidade da sociedade afetada de assimilar usando somente seus próprios recursos.

Avaliação: Processo para determinar o impacto de um desastre ou acontecimentos em uma sociedade, com a necessidade de tomar medidas emergências imediatas para salvar e manter a vida dos sobreviventes e as possibilidades de acelerar a recuperação e o desenvolvimento.

Risco: Para fins de engenharia, o risco é descrito como as perdas esperadas (vida, propriedade, interrupção das atividades econômicas) causadas por um fenômeno particular. É quantificado em função da probabilidade "sucessos" (eventos) particulares e das perdas que cada um causa. Outros técnicos utilizam o termo para expressar a probabilidade de que ocorra um desastre que resulte em determinado nível de perda.

VARNES (1984)

Hazard: Probabilidade de ocorrência de um fenômeno potencialmente perigoso, em uma dada área e em um dado período de tempo.

Risk: Grau de perda esperado, relacionado a um fenômeno natural particular.

Vulnerabilidade: Dimensão em que uma comunidade, estrutura, serviço ou área geográfica podem ser danificados ou alterados pelo impacto de uma ameaça particular de um desastre, devido à sua natureza, à construção próxima a uma área propensa ao desastre. Para os propósitos da engenharia, a vulnerabilidade é uma função matemática definida segundo o grau de perda de um elemento determinado em risco ou ao conjunto de tais elementos. É específico de um tipo especial de estrutura e é expresso em uma escala de 0 a 1 (sem dano a dano total).

Elemento do risco: População, propriedades, atividades econômicas incluindo serviços públicos etc., submetidos a uma determinada área de risco.

Risco total: Expectativa do número de perdas de vida, de pessoas atingidas, danos às propriedades, intervenções nas atividades econômicas, ocasionadas por um fenômeno natural particular.

VARNES et al.(1985); CENDRERO et al.(1987); AUGUSTO FILHO (1994)

Risco atual: Corresponde ao risco instalado em áreas ocupadas e aponta os locais que devem receber prioritariamente as medidas estruturais e não estruturais voltadas à sua redução.

Risco potencial: Caracteriza os terrenos quanto à sua suscetibilidade para geração de novas situações de risco em áreas ainda não intensamente ocupadas, fornecendo subsídios para a expansão e o adensamento das diferentes formas de uso do solo.

CERRI (1993)

Acidente: Fato já ocorrido, com registro de conseqüências sociais e/ou econômicas relacionadas diretamente ao fato.

Evento: Fato já ocorrido, seu registro de conseqüências sociais e/ou econômicas relacionadas diretamente a ele.

Risco: Possibilidade de registro de um acidente; resultado da combinação entre possibilidade de ocorrência de um evento e as conseqüências sociais e econômicas potenciais.

Susceptibilidade: Probabilidade de ocorrência de um evento.

LEROI (1996)

Hazard: Ameaça de um evento ou probabilidade de ocorrência de um fenômeno potencialmente perigoso em um dado período de tempo e área. O conceito exige a localização no espaço, que está condicionada por fatores predisponentes e de susceptibilidade. A ocorrência (probabilidade) em um dado tempo está condicionada a fatores como chuva, evento sísmico, ação antrópica.

Vulnerabilidade: Grau de perda (de 0% a 100%) resultante de um fenômeno potencialmente perigoso.

Risco: Expectativa de perda (vidas, bens materiais, interrupção de atividades econômicas) causada pela ocorrência de um "hazard". Baseando-se em cálculos matemáticos, risco é o produto de "hazard" e vulnerabilidade ($R = H \times V$).

ZUQUETTE (1995):

Eventos perigosos (Hazards): São fenômenos naturais ou não, fatos sociais ou assemelhados que provocam algum tipo de perda aos componentes do meio ambiente, sendo caracterizados principalmente pela intensidade. Entende-se intensidade para eventos perigosos do meio físico como o volume de materiais inconsolidados, rochas, águas, ventos e características energéticas associadas.

Riscos ("Risks"): São avaliados para os elementos naturais ou antrópicos, frente a um evento perigoso condicionado a uma área e a um espaço de tempo (RAGOZIN 1993, 1994).

Risco aceitável ("Aceitável risk"): Significa que a intensidade do evento permite a execução, com custo adequado, de medidas estruturais de segurança ou que as perdas econômicas e de vidas estejam dentro dos níveis considerados aceitáveis pelas autoridades dentro das condições econômicas e sociais, de acordo com condições de cada região ou país. RAGOZIN (1994) cita a legislação da Holanda, Grã-Bretanha e Rússia, que considera como perdas de vida aceitável um valor de 10^{-6} pessoas por ano. Existem situações especiais, como a instalação de escolas e hospitais (alta vulnerabilidade), que exigem para a sua instalação áreas com níveis de risco entre 10^{-6} a

10^{-8} pessoas por ano.

Carta de zoneamento de eventos perigosos: É um documento que registra as diferentes probabilidades ou potencialidades existentes para que ocorra um ou mais eventos perigosos em uma área em um determinado período de tempo e com um nível de intensidade.

Carta de zoneamento de risco: Documento elaborado a partir da carta de zoneamento de eventos perigosos e da vulnerabilidade dos elementos do sistema (naturais ou antrópicos) que registra os diferentes níveis de riscos a que a região está sujeita.

Avaliação de riscos: Independentemente do tipo da fonte de riscos, a avaliação é sempre decorrência da probabilidade de acontecer um evento com determinada intensidade e da vulnerabilidade dos elementos do meio ambiente a ele.

OGURA (1995)

Evento: Acontecimento em que não foram registrados perdas sociais e prejuízos econômicos.

Perigo: Ameaça potencial a pessoas ou bens.

Acidente: Acontecimento calamitoso, em que foram registrados perdas sociais e prejuízos econômicos.

Risco: Possibilidade de eventos produzirem conseqüências indesejáveis. É o perigo pressentido, melhor avaliado, isto é; uma perda potencial avaliada.

ANBALAGAN (1996)

Perigo: Refere à existência de um fenômeno natural, como rastejo, queda de blocos ou fluxo de detritos.

Hazard: Refere à probabilidade de ocorrência de um perigo. O período de tempo pode ser indicado em termos relativos para diferentes tipos de *hazards*.

Risco: Refere-se à natureza dos danos, como aqueles causados pela ocorrência de uma ruptura. Os danos podem ser de perdas de vida, de solo ou propriedades. A extensão dos danos/prejuízos depende da existência e forma de ocupação do solo, ou seja; a população afetada. Risco é função do *hazard* e o potencial dos danos. $R = f(HP,$

DP), onde: HP é a probabilidade do *hazard*, e DP é o potencial dos danos.

FOOKES (1997)

Hazard: Define o atributo físico de um evento potencialmente destrutivo e compreende uma série de condições com potencial para a iniciação de um evento destrutivo, ou seja, o *hazard* descreve o evento, o risco, a probabilidade e a consequência do evento.

Risco: É determinado pelo tipo, tamanho e probabilidade de ocorrência do *hazard*, pelo valor da propriedade, pela estrutura ou população em risco e pelo grau de vulnerabilidade do *hazard*.

FELL (1997)

Hazard: É a descrição do volume e probabilidade de ocorrência de um escorregamento.

Vulnerabilidade: É o grau de perda de um elemento em uma área afetada por um escorregamento.

Elementos: São as estruturas ou pessoas afetadas por um escorregamento em uma determinada área.

Risco específico: É a probabilidade de vulnerabilidade de um dado elemento.

Risco total: É o somatório de todos os riscos específicos de todos os escorregamentos na área em estudo.

VARNES (1985) propôs a seguinte expressão para avaliar riscos associados a escorregamentos, mas que pode ser generalizada para a maioria dos eventos:

$$Re = H(i) \times V(i)$$

Onde:

Re - grau de perda devido a um evento (i)

H - probabilidade de ocorrer o evento perigoso (i)

V - vulnerabilidade dos elementos ao evento perigoso (i)

Segundo RAGOZIN (1993 e 1994), a seguinte expressão pode ser utilizada para avaliar riscos específicos decorrentes dos mais diferentes tipos de eventos perigosos:

$$Re(i) = P(i) \cdot V(i) \cdot Dt(i),$$

Onde:

$V(i)$ - grau de vulnerabilidade para um evento (i) de uma intensidade definida.

$P(i)$ - recorrência de um evento (i)

(i) - número de eventos em uma unidade de tempo

$Dt(i)$ - número de indivíduos e objetos expostos ao evento (custo total dentro da zona afetada).

Apesar da simplicidade das equações, existe um elevado grau de dificuldade para avaliar as características e as condições dos eventos. O grau de dificuldade varia em função do tipo da fonte, sendo elevado para o caso dos eventos de origem natural.

II. 5.2. MÉTODOS PARA ANÁLISE E AVALIAÇÃO DE RISCOS:

Existem diversas fontes bibliográficas que contemplam conceitos relacionados a riscos e termos associados. A Figura 19 apresenta um esquema proposto por HAYS (1991), onde podem ser observadas as relações entre os elementos que estão relacionados aos riscos.

ELEMENTOS DO RISCO

Figura 19 - Relações entre os elementos de risco (HAYS, 1991)

A Figura 20 procura retratar os grupos de atributos e níveis que devem ser considerados na avaliação de riscos, seja por mecanismos relativos seja por absolutos. Ressalta-se que, sem um processo detalhado de análise do meio físico, é muito difícil

obter todos os atributos citados. O exemplo apresentado refere-se a uma avaliação de risco de escorregamento.

Figura 20 - Diferentes componentes para a avaliação do risco (LEROI, 1996)

Na Figura 21, estão apresentados dois conjuntos de procedimentos e problemas, assim como os recursos cartográficos que existem para avaliações de risco e suas relações com escalas (extensões geográficas).

Figura 21 - Procedimentos e recursos que podem ser utilizados para o mapeamento de risco em diferentes escalas (LEROI, 1996)

II. 5.3. ELABORAÇÃO DE CARTAS DE RISCO:

A elaboração de cartas de risco pode ser obtida por análises relativas e absolutas. As análises absolutas podem ser feitas por métodos probabilísticos, estatísticos e determinísticos. A seguir, são apresentados alguns conceitos dessas análises assim como os métodos e possíveis aplicações.

De acordo com OBONI & OBONI (1988), a probabilidade e a estatística são dois ramos distintos da matemática:

- Estatística: Ordenamentos de procedimentos computacionais que permitem a redução de informações obtidas por meio de um grande número de testes dentro de um limite quantitativo e representativo como um valor esperado, uma variância e um parâmetro estatístico.

- Probabilidade: Permite que os problemas sejam analisados com variáveis que atualmente são ou podem ser consideradas estocásticas.

A estatística é a ferramenta necessária para caracterizar a variabilidade estocástica de um dado parâmetro de uma análise probabilística.

HARTLEN & VIBERG (1988) diferenciam as técnicas de avaliação de *hazard* em: relativa e absoluta.

Relativo: O zoneamento é executado pela comparação dos *hazards* uns com os outros.

Absoluta: Essa técnica pode ser dividida em três grupos:

- ❖ "White box models" - baseada em modelos físicos ou em modelos determinísticos;
- ❖ "Black box models" - baseada não em modelos físicos, mas em análise estatística;
- ❖ "Grey box models" - baseada parcialmente em modelos físicos e parcialmente em análise estatística

Diversas técnicas de avaliação de *hazards* foram desenvolvidas durante os últimos anos. VAN WESTEN (1993) sugere a diferenciação delas. A sua técnica é a forma mais simples da avaliação de *hazards* e baseia-se no mapa de inventário de ocorrências e na distribuição dessas ocorrências em cada subunidade da área em estudo. A principal limitação desse método está nas informações fornecidas, referentes somente ao período imediatamente anterior à data de execução das fotografias aéreas. Alguma melhoria pode ser obtida por meio da análise multitemporal de aerofotos.

Análise determinística: Tem sido muito utilizada em trabalhos de *hazards*, porém sua aplicação em condições geomorfológicas e geológicas muito homogêneas e onde os tipos de movimentos gravitacionais de massa e processos associados são simples pode ser realizada com sucesso. A principal vantagem está na base física ("white box models"), e sua desvantagem está no grau excessivo de simplificações necessárias.

Análise qualitativa: KIENHOLZ (1978) *apud* BONUCELLI (1999) desenvolveu a avaliação de *hazards* com base na geomorfologia, onde o grau de *hazards* é, neste caso, avaliado em cada parte do terreno e as regras de avaliação dependem da experiência do geomorfólogo. Portanto, trata-se de um método subjetivo. Diversos outros

pesquisadores também utilizaram métodos semelhantes, tais como: MARGOT & MAHR (1979), PERROT (1988), HEARN (1992) *apud* BONUCCELLI (1999).

Análise estatística: Os bons resultados das avaliações de *hazards* por meio de técnicas estatísticas estão diretamente relacionados com o avanço de computadores e programas aplicativos. No entanto, o número de trabalhos que utilizam esta técnica é relativamente pequeno.

Os métodos estatísticos citados na literatura e que já foram utilizados na avaliação de *hazards* são: análise estatística univariada e análise estatística multivariada, de acordo com BONUCCELLI (1999).

A principal desvantagem associada a esses métodos refere-se ao tempo relativamente grande necessário à coleta e ao processamento dos dados.

II. 5.4. PRINCIPAIS PROPOSTAS METODOLÓGICAS PARA ANÁLISE DE RISCOS E EVENTOS PERIGOSOS:

Atualmente, existem diversas propostas metodológicas para estudos de eventos perigosos e riscos, sendo que várias destas metodologias têm objetivos específicos, enquanto que outras procuram uma maior abrangência e aplicabilidade.

Optou-se por detalhar apenas aquelas mais abrangentes, onde é possível integrar as análises de movimentos de massa gravitacionais, processos erosivos e inundação.

Entre estas metodologias abrangentes destacam-se:

PROPOSTA METODOLÓGICA ZERMOS

Essa proposta metodológica é muito aplicada em áreas de instabilidade na França e significa "Zonas Expostas aos Riscos de Movimentos de Solo". Tem como finalidade fornecer detalhes de uma área, quando as condições de instabilidade sejam potenciais ou reais.

Geralmente, são realizadas em escalas desde 1:25.000, 1:20.000 e em escalas maiores, indicando as áreas onde devem ser realizados estudos mais detalhados (escala 1:5.000), sendo estas denominadas Plantas ZERMOS. Normalmente, os resultados são apresentados em uma carta acompanhada de uma nota explicativa.

Estas cartas são realizadas para situações de movimentos de massas gravitacionais, erosão, abatimentos, problemas sísmicos e inundações, onde esses movimentos são representados por zonas coloridas que fornecem a graduação do risco (RODRIGUES, 1998).

A Carta ZERMOS faz uma interpretação em termos de instabilidade (presente ou futura) que vem sempre acompanhada de nota explicativa. É um resumo, que tem, obrigatoriamente, uma fase analítica onde são examinados os fatores naturais permanentes que afetam a estabilidade (topografia, geologia e hidrogeomorfologia).

Um fluxograma de todo o conjunto pode ser observado na Figura 22.

Figura 22 - Fluxograma da metodologia ZERMOS, adaptado de ZUQUETTE et al.(modificado)

Diversos autores adaptaram a metodologia de ZERMOS, como por exemplo:

LENZI (1987) apresenta na Figura 23 uma proposta de zoneamento por periculosidade de acordo com velocidade das águas.

Figura 23 - Zoneamento por periculosidade de acordo com o nível e velocidade das águas (LENZI 1987)

PROPOSTA METODOLÓGICA DE BRABB (1984, 1985)

A proposta metodológica de BRABB está baseada na metodologia de ZERMOS, e foi desenvolvida nos Estados Unidos. Ela apresenta um estudo dos processos de escorregamento que ocorreram no passado e que continuam ocorrendo, bem como a probabilidade de ocorrências futuras, a classificação do tipo de movimento de massa (escorregamento) e outras informações como o impacto dos escorregamentos sobre as pessoas e as edificações.

No mapa de risco de escorregamentos são indicadas a área e/ou população exposta ao risco, bem como a vulnerabilidade e as conseqüências resultantes do evento.

Os mapas de inventário podem ser executados de forma simples ou complexa. Um mapa de inventário simples é normalmente obtido por fotointerpretações aliadas a confirmações em campo e executado na escala 1:24.000 (mais comum). Os mapas de inventário complexos representam cada tipo de escorregamento, delineando escarpas, zonas de erosão/acumulação e outros dados pertinentes, assim como a profundidade e tipo de material envolvido, distinção entre materiais envolvidos, a distinção entre

escorregamentos ativos e inativos, a época da ocorrência, velocidade, etc. Incluem os seguintes mapas:

- Mapa dos processos geomórficos, que mostram os produtos de diferentes tipos de processos;
- Mapa dos diferentes tipos de escorregamentos, que indica se esses fenômenos são ativos ou não, sua profundidade e época de ocorrência;
- Mapa dos processos ativos, que mostra os escorregamentos classificados por tipo de movimento, a atividade durante os dois primeiros anos e o tipo de uso do solo para o mesmo período.
- Mapa da profundidade dos processos, mostrando o fluxo superficial e escoamentos com linhas tracejadas e fluxo, e o escorregamentos profundos com linha contínua.
- Mapa de erosão laminar e leque de detritos, mostrando áreas com grande acúmulo de material, bem como áreas susceptíveis à queda de rocha, escorregamentos e outros tipos de processos em leque aluvial.

Os mapas de risco de escorregamento são, finalmente, executados, considerando-se as análises efetuadas, a pluviosidade e informações históricas de movimentos de massa ocorridos. Eles indicam a probabilidade de ocorrência do evento bem como a área afetada, a vulnerabilidade das pessoas e das edificações e as consequências previstas.

PROPOSTA METODOLÓGICA DE HINOJOSA & LEON (1978)

Esses autores apresentam uma proposta metodológica desenvolvida na Espanha e enfatizam sua utilização no planejamento de vias de transporte, e também a diversos fins. Baseia-se na classificação morfodinâmica dos terrenos, caracterizando o grau de risco e o tipo de terreno envolvido.

O mapa deve fornecer dados complementares da estrutura, clima, contornos, drenagem e das condições hidrológicas de subsuperfície e de superfície.

O resultado desses estudos compreende a elaboração dos seguintes documentos: mapa de unidades instáveis; mapa litológico (1:5.000); avaliação geotécnica esquemática (1:200.000); avaliação estrutural (1:200.000); avaliação climatológica (1:200.000); carta

de declividade (classes <5; 5-15; 15-35; 35 - 100; >100%); análise da hidrogeologia superficial e subsuperficial (1:200.000).

OK
↓
PROPOSTA METODOLÓGICA DE GASP (GEOTHECNICAL AREA STUDIES PROGRAMME)

A sistemática GASP é empregada por órgãos responsáveis pelos estudos geotécnicos de *Hong Kong*, o *Geotechnical Control Office (GCO)* em 1971. Ela foi desenvolvida para as condições peculiares do meio físico desta área, objetivando principalmente o zoneamento de terrenos com problemas de riscos geológicos.

Muitos pesquisadores conceituados trabalharam no desenvolvimento e aprimoramento dessa linha de pesquisa. BRAND *et al.* (1982) utilizam elementos obtidos dos riscos geológicos (escorregamentos, inundações, etc.) onde o sistema de zoneamento empregado é baseado na avaliação geotécnica global das unidades do terreno e não apenas na identificação dos elementos causadores da instabilidade da encosta.

As escalas variam de 1:20.00 (regional) culminando com a elaboração de mapas das limitações geotécnicas (GLEAM), a 1:2.500 (análises localizadas), tendo como produto final o mapa geotécnico para uso do terreno (GLUM), que classifica o terreno em quatro classes de dificuldades geotécnicas.

A Figura 24 apresenta um fluxograma das etapas envolvidas na metodologia GASP (adaptado de BRAND, 1988)

Figura 24 - Fluxograma das etapas envolvidas na metodologia GASP (1979). (adaptado de BRAND, 1988)

PROPOSTA METODOLÓGICA DE EINSTEIN (1988)

É uma proposta desenvolvida nos Estados Unidos, que gera uma série de documentos, dentre eles o mapa de risco e de procedimentos para auxiliar a correta utilização das áreas em questão. O desenvolvimento de sua metodologia é bastante complexo, compreendendo uma série de cálculos para determinar as probabilidades de ocorrência do evento e também para o cálculo final do risco, que tem como base as probabilidades de ocorrência e os custos dos objetos prejudicados. Os resultados obtidos pela metodologia estão descritos na Tabela 09.

O autor considera como base os trabalhos de: BRABB (1972); EINSTEIN (1982); RADBRUCH-HALL et al.(1982); U.S.G.S. (1983); VARNES (1985) e PER (1985).

As escalas mais comuns são: 1:50.000 - 1:25.000, porém existem muitos exemplos em escalas diversas.

Tabela 9 - Resumo dos mapas resultantes e os fatores considerados na metodologia de EINSTEIN (1988)

NÍVEL	MAPA	FATORES CONSIDERADOS
1	MAPAS BÁSICOS (sem síntese)	<ul style="list-style-type: none"> - Topografia - Estrutura - Substrato rochoso - Materiais inconsolidados - Dados geotécnicos - Uso e ocupação
2	MAPAS PROBLEMAS ou "DANGER MAPS"	<ul style="list-style-type: none"> - Delimita zonas com diferentes possibilidades de problemas (não faz previsão de riscos)
3	MAPA DE HAZARD	<ul style="list-style-type: none"> - Evento provável, combinado com probabilidades de ocorrer - Os resultados são apresentados em escalas
4	MAPA DE RISCO	<ul style="list-style-type: none"> - Combinação da área a ser atingida e os tipos de uso e ocupação
5	MAPA DE PROCEDIMENTOS Regulamentos de orientação (técnicos e administrativos)	<ul style="list-style-type: none"> - Mapa de "Hazard" - Mapa de Riscos

OBS: os níveis 4 e 5 normalmente são elaborados com base em estudos estatísticos e probabilísticos

Além das metodologias descritas nos itens anteriores, existem atualmente diversas outras, que se adaptam a situações específicas. RODRIGUES (1998) fez uma análise comparativa dessas metodologias quanto à abordagem, escala, aplicações, etc. (Tabela 10).

Apesar de cada metodologia apresentar as variações citadas acima, pode-se estabelecer uma base comum para todas elas, que está indicada no fluxograma de por RODRIGUES (1998), onde ele apresenta a sequência de execução para a elaboração de cartas de risco (Figura 25).

Tabela 10 - Resultado da análise das metodologias (RODRIGUES, 1998)

Metodologia	Abordagem	M.M G.	Escala final	Cartas	Risco	Hazard	Aplicações	Recursos estatísticos
ZERMOS	Completa	Geral	1:50.000 1:2.000	H/R	Rel	Rel	Muito variada	não
HINOJOSA & LEON	Completa	Geral	1:200.000 1:50.000	H	—	Rel	Pouco	não
GASP	Completa	Específica	1:20.000 1:2.500	H/R	Rel	P	Hong Kong	sim
SESHAGIRI et al	Completa	Específica	—	H	—	Rel	Pouco	não
CARRARA	Completa	Específica	1:25.000 1:10.000	H/R	Rel	P	Muito variada	sim
BRABB	Completa	Específica / Geral	1:24.000	H/R	A	P	Muito variada	sim
STEVENSON SLOANE	Completa	Específica	1:2.400	R	—	—	Muito variada	—
KIENHOLZ	Completa	Geral	1:25.000 1:10.000	H	—	P	Pouco	sim
EINSTEIN	Parcial	Geral	1:50.000 1:25.000	H/R	A/Rel	P/Rel	Processo de orientação	sim
CHOUBEY & LITORIA	Completa	Específica	1:50.000	H	—	Rel	Pouco	não
BARISONE & BOTINO	Completa	Específica	—	H	—	Rel	Pouco	sim
BERGGREN	Completa	Específica	—	R	Rel	—	Pouco	sim

Legenda: - H - Hazard, R- Risco, A- Absoluto, Rel - Relativo, P- Probabilístico.

Figura 25- Fluxograma básico para todas as metodologias, principalmente as qualitativas (RODRIGUES, 1998)

De acordo com o trabalho de IUGS (1997), a análise quantitativa para a avaliação de risco (QRA) associado a movimentos de massa gravitacionais apresenta um caráter inteiramente multidisciplinar representados pelas seguintes atividades:

- Análise da probabilidade e das características dos movimentos de massa em potencial;
- Identificação dos elementos em risco;
- Análise da vulnerabilidade dos elementos ao risco;
- Cálculo do risco

Segundo IUGS (1997), as avaliações de risco quantitativas, apesar de apresentarem muitos pontos positivos para a obtenção de resultados confiáveis, podem ter algumas limitações:

- A variabilidade de métodos que podem ser adotados para avaliação de risco pode resultar em diferenças significantes, caso o problema seja estudado por dois ou mais profissionais;
- A reavaliação de uma área pode gerar mudanças nos resultados devido ao aumento de dados, mudanças de métodos e/ou circunstâncias;
- A impossibilidade do reconhecimento de um evento pode levar à subestimação do risco;
- As metodologias não são largamente aceitas havendo, muitas vezes, aversão à sua aplicação;
- Critérios de tolerância e aceitação do risco para taludes e movimentos de massa ainda não estão bem definidos;
- Eventos perigosos com baixa probabilidade de ocorrência são de difícil avaliação.

A definição das possibilidades de eventos perigosos relativos aos movimentos de massa gravitacionais para a área pode ser baseada em uma listagem (Tabela 11) dos 97 atributos que estão associados aos diferentes tipos de movimentos de massa gravitacionais, como predisponentes, deflagradores e como indícios registrados em superfície. Esta listagem - proposta por ZUQUETTE *et al.* (1997) - inclui atributos de diferentes componentes do meio ambiente, sendo 24 do substrato rochoso, 14 dos materiais inconsolidados, 19 da geomorfologia, assim como do meio antrópico, bióticos e relacionados às águas e de relações. As avaliações quanto aos processos erosivos e as inundações podem ser baseadas no conjunto de atributos (Tabela 12) propostos por ZUQUETTE (1993).

Tabela 11 - Atributos que são relacionados aos movimentos de massa gravitacionais

COMPONENTES	ATRIBUTOS
FEIÇÕES OU EVIDÊNCIAS DE MOVIMENTOS DE MASSA	1-Inversões da direção das inclinações de partes das encostas 2-Fissuras em superfície 3-Vegetação inclinada ou tracionadas. 4-Ondulações nas encostas ou próximas do topo 5-Canais de drenagem alterados com zonas de acúmulo de águas 6-Presença de estrias nas encostas ou em descontinuidades 7-Vegetação natural com diferentes portes em zonas vizinhas na mesma encosta 8-Depósitos oriundos de movimentos de massas antigos e cicatrizados (não colúvios típicos) 9-Depósitos oriundos de movimentos de massas recentes 10-Alterações de geometria em um determinado trecho nos canais de drenagens 11-Veios ou camadas finas dispostas de forma escalonada no perfil
PROCES- SOS CORRELA- TOS	12-Feições erosivas concentradas 13-Feições cársticas 14-Feições de expansibilidade 15-Feições de colapsividade
VEGETA- ÇÃO	16-Tipo (natural, reflorestamento) 17-Profundidade das raízes 18-Resistência das raízes 19-Capacidade de armazenar água na superfície 20-Áreas com rochas aflorantes
SUBSTRATO ROCHOSO	21-Litologia/Litotipo 22-Alternância de materiais com diferentes níveis de competência 23-Grau de intemperismo 24-Alternância de materiais com diferentes níveis de resistência 25-Materiais com esmectitas intercalados com outros 26-Grau de paralelismo entre o topo rochoso e a superfície do terreno 27-Grau de irregularidade do topo rochoso 28-Tipo de contato entre os diferentes materiais rochosos 29-Tipo de contato entre os materiais rochosos e os materiais inconsolidados 30-Tipos de descontinuidades 31-Densidade das descontinuidades 32-Abertura das descontinuidades 33-Preenchimento das descontinuidades 34-Descontinuidades geradas por alívios de tensões e ou por atividades antrópicas 35-Persistência das descontinuidades 36-Conectividade das descontinuidades 37-Perfil de alteração homogeneizou ou evidenciou as descontinuidades 38-Relação entre a direção das descontinuidades e a direção da encosta 39-Relação entre o sentido do mergulho das descontinuidades e da inclinação da encosta 40-Relação entre o ângulo de mergulho das descontinuidades e o mergulho da encosta 41-Zonas de falhas ou intensamente fraturadas 42-Presença de descontinuidades específicas 43-Direção do vetor de soltamento de blocos 44-Camadas litológicas que tenham comportamento de descontinuidades
RELEVO	45-Declividade 46-Direção,mergulho e sentido do vetor de maior declividade 47-Perfil vertical e longitudinal do landforms ou encostas 48-Formas dos vales 49-Profundidades dos vales 50-Vales em diferentes altitudes 51-Escarpas 52-Índices geomórficos

*Tabela 11 - Atributos que são relacionados aos movimentos de massa gravitacionais
(continuação)*

COMPONENTES	ATRIBUTOS
ÁGUAS	53-Densidade de canais/Km ou Km ² 54-Variações do gradiente dos canais 55-Zonas onde o fluxo de águas superficiais esta concentrado 56-Pequenas lagoas nos canais de drenagens 57-Relações do N.A.com depósitos de materiais retrabalhados naturais 58-Surgências alinhadas em determinadas altitudes 59-Diferentes níveis de surgências em uma mesma encosta 60-Surgências que desaparecem temporariamente 61-Surgências que desapareceram definitivamente 62-Varição brusca do nível de água (sazonabilidade) recentemente 63-Fluxo do N.A. direcionado 64-Zonas mais favoráveis às variações de pressão neutra 65-Aparecimento recente de surgências 66-Evidências de "piping" associados as surgências em encostas 67-Zonas saturadas suspensas
MATERIAIS INCONSOLIDADOS	68-Heterogeneidade do perfil de alteração 69-Presença de materiais consistentes e inconsistentes intercalados 70-Materiais permeáveis e impermeáveis intercalados 71-Tipos de contatos entre os retrabalhados e residuais 72-Materiais com esmectitas intercalados a outros 73-Espessuras 74-Encostas com materiais inconsolidados originados da alteração de diferentes tipos rochosos 75-Materiais com diferentes níveis de resistência intercalados 76-Materiais com diferentes índices de erodibilidade intercalados 77-Posição dos materiais retrabalhados nas encostas 78-Heterogeneidade do pacote de materiais retrabalhados 79-Presença de matacões próximos à superfície 80-Posição dos matacões na topografia e em relação com as formas das encostas 81-Materiais inconsolidados residuais com descontinuidades mantidas e paralelas à superfície das encostas
CLIMÁTICOS	82-Variabilidade dos acúmulos totais das diferentes chuvas 83-Intensidades de chuvas 84-Ocorrência de chuvas orográficas 85-Characterização dos períodos de diferentes chuvas 86-Períodos contínuos com chuvas
ANTRÓPICOS	87-Escavações 88-Posição das escavações nas encostas 89-Relação entre as escavações x as descontinuidades e as anomalias litológicas 90-Locais de disposição de resíduos e rejeitos em superfície ou raso 91-Alterações antrópica nos canais de drenagem das encostas 92-Acúmulos artificiais de águas superficiais 93-Ocupações que afetam o fluxo das águas subsuperficiais 94-Eficiência da compactação dos aterros construídos nas encostas 95-Ocupações no topo das encostas com fossas e outros recursos com a mesma finalidade 96-Canais de drenagem aterrados/destruídos 97- Ocupações com uso regular de detonações

Tabela 12 - Atributos que devem ser levantados nos processo de mapeamento geotécnico global, a partir dos quais podem ser elaboradas cartas interpretativas e derivadas (Modificado de ZUQUETTE, 1993)

COMPONENTES	ATRIBUTOS
ÁGUAS SUPERFICIAIS	<ul style="list-style-type: none"> - Escoamento superficial - Infiltração - Áreas de acúmulo de águas - Características físico - químicas - Bacias hidrográficas desde 1ª ordem (Segundo STRAHLER) - Densidade de canais/Km - Tempo de concentração - Canais de drenagens com fluxo permanente - Marés
ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	<ul style="list-style-type: none"> - Presença de lentes salgadas - Aquíferos (livres ,confinados) - Áreas de recargas -Profundidade/espessura do aquífero - Fontes naturais (posição espacial) - Gradiente hidráulico - Poços existentes - Escoamento básico - Características físico-químicas Áreas de descargas
GEOMORFOLOGIA / MORFOMETRIA	<ul style="list-style-type: none"> - Amplitude de relevo - Declividade - Direção e sentido da maior declividade
MORFOLOGIA	<ul style="list-style-type: none"> - Landforms - Formas das encostas ou dos landforms - Comprimento das encostas ou dos landforms
GEOLOGIA SUBSTRATO ROCHOSO	<ul style="list-style-type: none"> - Tipo rochoso /Grupo litológico - Litologia - Mineralogia - Densidade aparente/Porosidade aparente - Profundidades/espessuras - Distribuição (em área e em profundidade) - Estruturas (descontinuidades) - Geometria, distribuição ,Jv, caracterização - Grau de intemperismo - Alterabilidade (potencial) - Condutividade hidráulica - Resistência mecânica
EVIDÊNCIAS DE PROCESSOS	<ul style="list-style-type: none"> - Deposição - Sismicidade - Subsidência - Erosivos - Alterações naturais nos canais de drenagens - Movimentos de massa

Tabela 12 - Atributos que devem ser levantados nos processos de mapeamento geotécnico global, a partir dos quais podem ser elaboradas cartas interpretativas e derivadas (Modificado de ZUQUETTE, 1993) (continuação)

COMPONENTES	ATRIBUTOS
MATERIAIS INCONSOLIDADOS	<ul style="list-style-type: none"> - Origem (residual, retrabalhado) - Variação em profundidade - Distribuição (em área) - Presença de matacões - Presença de camadas de lateritas - Textura - pH(H₂O e KCl) / (Δ pH) - Índice de vazios - Mineralogia básica - Pesos específicos: do sólido, aparente seco de campo, aparente seco máximo - Índice de Erodibilidade - C.T.C.(Capacidade de troca Catiônica) ou C.T.A - Potencial à salinidade - Expansibilidade (potencial) - Colapsividade (potencial) - Fator de retardamento, dispersividade, etc. - Características químicas (pH, SO₃, S, Ce) - Capacidade de campo e ponto de murchamento - Potencial quanto a Fertilidade - Condutividade hidráulica - Resistência mecânica/ suporte - Equivalente areia
FEIÇÕES DO TECNÓGENO	<ul style="list-style-type: none"> - Áreas de aterros e entulhos - Áreas utilizadas para exploração de materiais para construção civil - Depósitos relacionados à exploração mineral - Explorações minerais - Antigos depósitos de rejeitos e resíduos - Depósitos devidos às alterações antrópicas junto aos canais de drenagens
BIOLÓGI- COS CORPOS DE ÁGUAS	<ul style="list-style-type: none"> - Tipos e distribuição - Salinidade, B.O.D., C.O.D, temperatura, profundidade do corpo aquoso, luminosidade - Taxa de Sedimentos - Interdependência entre os organismos
ANIMAIS	<ul style="list-style-type: none"> - Tipos - Inventários - Anomalias - Distribuição e tendências - Valor econômico ou preservacionista

Tabela 12 - Atributos que devem ser levantados nos processos de mapeamento geotécnico global, a partir dos quais podem ser elaboradas cartas interpretativas e derivadas (Modificado de ZUQUETTE, 1993) (continuação)

COMPONENTES	ATRIBUTOS
VEGETAÇÃO	<ul style="list-style-type: none"> - Inventários - Tipos - Anomalias - Distribuição e tendências - Valor econômico ou preservacionista - Classificação quanto à taxa de massa verde - Profundidade das raízes - Capacidade de retenção de água em superfície - Tipos/ciclos - Classificação quanto à taxa de massa verde - Profundidade das raízes - Capacidade de retenção de água em superfície
CLIMÁTICOS	<ul style="list-style-type: none"> - Pluviosidade - Temperatura - Umidade relativa - Direção e velocidade dos ventos - Insolação - Evapotranspiração real e potencial - Intensidade pluviométrica - Distribuição temporal das chuvas
PROCESSOS ANTRÓPICOS SUPERFICIAIS RECENTES	<ul style="list-style-type: none"> - Cordões de nível - Canais construídos para drenagem - Barragens ou barramentos - Áreas com irrigação - Obras que interferem no fluxo das águas subsuperficiais
SOCIO-ECONÔMICOS/ SOCIAIS/ EDUCACIONAIS/ ECONÔMICOS	<ul style="list-style-type: none"> - População, saúde, escolas - Necessidades da população - Usos atuais do solo, indústrias e tipos de rejeitos, postos de gasolina, dutos.

II.5.5. PROCEDIMENTOS PARA CÁLCULO DE RISCO:

O cálculo do risco é uma etapa bastante limitada nos trabalhos realizados até o momento. Em metodologias mais quantitativas advindas no final da década de 70, o risco natural significava "perda probabilística", que podia ser calculada pela multiplicação da probabilidade (frequência) dos eventos por um valor de perda provável gerado por ele (RAGOZIN, 1994). Sendo assim, exemplos de mapeamento de risco natural eram excessivamente raros. Esta situação pode ser explicada primeiramente pela dificuldade de se conhecer a probabilidade de ocorrência do evento perigoso, com uma definida

intensidade em uma determinada área, e, em segundo lugar, pela falta de aceitação comum de metodologias e procedimentos para a determinação do risco.

De uma maneira mais simples, o risco para um dado evento A pode ser expresso por meio da seguinte equação (RAGOZIN, 1994):

$$R(A) = P(A) \cdot V(A) \cdot Dt(A)$$

$P(A)$ = Probabilidade de ocorrência de um evento (A) por uma unidade de tempo
 $V(A)$ = Vulnerabilidade

RAGOZIN (1998) propõe uma subdivisão do cálculo de risco em: material, social e ambiental. Para isso, utiliza um método chamado *de probabilístico determinado*.

Inicialmente o autor apresenta equações mais simplificadas, baseadas na subdivisão de grandes áreas em unidades menores para serem analisadas individualmente, utilizando a equação de risco material como base para os demais riscos:

O *risco material* (R_m) é dado por:

$$R_m(H) = P^*(H) \cdot D_m(H)$$

Onde:
 $P^*(H)$ = probabilidade do *hazard*
 $D_m(H)$ = Potencial dos danos

$$D_m(H) = SH \times St - 1 \cdot S_0$$

O *risco econômico* (R_e) passa a ser então:

$$R_e = R_m(H) \times d_e$$

Substituindo-se este valor por d_p , que é a densidade populacional, obtém-se o *risco social*.

Pode ser ainda realizada uma estimativa de risco mais precisa para o cálculo dos prejuízos, que envolve conhecimento mais específico do local com o qual se está trabalhando.

O risco econômico rigoroso é dado por:

$$Re(H) = P^*(H) \cdot V_m(H) \cdot Ve(H) \cdot De$$

O risco social rigoroso é dado por:

$$Rs(H) = P^*(H) \cdot V_m(H) \cdot Ve(H) \cdot Vs^t(H) \cdot Vs^s \cdot De$$

RAGOZIN (1998) faz ainda comentários sobre o estabelecimento de critérios para a análise de risco aceitável, dizendo que tal risco deve ser estabelecido por meio de atos normativos e legislativos, federais e regionais, nas esferas sociais, econômicas e ecológicas, devendo-se distinguir os tipos de território e indústrias e considerar o perfil econômico do estado.

Como enfatizado nos tópicos anteriores, não obstante a importância das metodologias qualitativas para a análise de eventos perigosos, comprova-se a tendência da geração ou adaptação de metodologias com base quantitativa, para a identificação de eventos perigosos. Esse fato tem como principal premissa a adequação de métodos tradicionais, com fundamentação determinística e/ ou probabilística, a distribuição da área das características de estabilidade das encostas em geral.

II. 5.6. INVENTÁRIO:

Um dos pontos mais importantes no processo de análise e avaliação de risco é a realização de um inventário dos movimentos de massa gravitacionais e dos processos correlatos, em que elevados números de fatores são levantados, analisados e correlacionados (CHACÓN J.; IRIGARY, C.; FERNÁNDEZ (1994).

O levantamento ou caracterização dos movimentos de massa gravitacionais e do processos correlatos é muito importante para as etapas que se seguem, pois a avaliação das probabilidades de ocorrer eventos perigosos e danos está baseada na comparação das condições existentes no futuro próximo com as condições existentes no passado e principalmente no presente. Com isso, o nível de detalhamento das informações associado a esse mapa deve ser muito alto. Sem esquecer porém, a compatibilidade com a escala de trabalho adotada (VAN WESTEN, 1993).

Segundo HACH-HACH (1998), o inventário deve ser um registro da distribuição temporal e espacial dos movimentos de massa gravitacionais e dos processos correlatos.

As ferramentas que devem ser utilizadas na avaliação dessas características são: imagens de satélite, conjunto de fotografias aéreas de diferentes épocas, fotografias de baixa altitude, fotografia terrestre, G.P.S.(Geographic Position System), trabalhos de campo e cadastramento das ocorrências atendidas pela defesa civil ou corpo de bombeiros.

III. MÉTODOS E MATERIAIS:

III. 1. ASPECTOS GERAIS:

O procedimento metodológico adotado neste estudo consistiu em etapas de trabalho de escritório, de laboratório e de campo, que foram fundamentais na elaboração dos documentos cartográficos.

Os documentos elaborados tomaram como base fundamental a proposta metodológica de ZUQUETTE (1993), que se fundamentou na produção e análise de um conjunto de documentos gráficos que visam representar o meio físico, e que, quando associados a outros documentos, relativos ao comportamento do meio, permitem o zoneamento de uma área em função das solicitações e restrições impostas.

Ferramentas como a "Técnica de avaliação de terreno", seguindo a sistemática proposta por LOLLO (1995), foram utilizadas para auxiliar o desenvolvimento do trabalho.

Os documentos foram executados na escala 1:10.000, em função das finalidades propostas para a área de estudo e, também, das informações já disponíveis, no entanto, esses documentos estão apresentados na escala 1:20.000, para facilitar o manuseio.

Esta pesquisa tem como parte de seus objetivos a elaboração de mapas e cartas temáticas, classificadas segundo ZUQUETTE (1993) em:

- **Documentos Fundamentais Básicos:** São documentos que registram as características dos componentes do meio físico, por meio da variação espacial dos atributos;
- **Cartas Derivadas e Interpretativas:** São os resultados da análise das características básicas da região de estudo;

A Figura 26 apresenta um fluxograma contemplando todos os procedimentos adotados no decorrer deste trabalho.

Figura 26 - Fluxograma das etapas desenvolvidas durante o estudo

Os documentos produzidos são, a seguir, comentados resumidamente, com o objetivo de esclarecer os critérios considerados em sua elaboração e apresentam-se descritos detalhadamente no item IV. 2.

- **Mapa planialtimétrico:** Este documento tem como objetivo apresentar as curvas de nível de cinco em cinco metros, as estradas de rodagem, estradas de ferro, linhas de alta tensão e drenagens.
- **Mapa de documentação:** Neste mapa constam a rede de drenagem e os pontos de observações e de coleta de amostras deformadas e indeformadas realizados durante as etapas de campo.
- **Mapa de bacias hidrográficas:** Este mapa foi obtido a partir da digitalização (vetorização) da rede de drenagem, traçada com o auxílio de fotografias aéreas em escala 1:25.000 (1980) e 1:10.000 (1996), e da classificação e hierarquização segundo STAHLER (1952).
- **Mapa de *landforms*:** Segundo LOLLO & ZUQUETTE (1996) e LOLLO (1996), a associação entre as feições do relevo (*landforms*) e os materiais do meio físico baseia-se na avaliação do terreno (*terrain evaluation*), que consiste basicamente na delimitação das feições de relevo reconhecidas na área estudada e de sua interpretação em termos de materiais associados. Na elaboração desta carta, são utilizados trabalhos de fotointerpretação (mais importante) e de campo, para confirmação.
- **Mapa litológico:** Devido à inexistência de mapeamentos geológicos compatíveis, com a escala de realização deste estudo, fez-se necessária a elaboração de um mapa com informações mais detalhadas para os objetivos do projeto.
- **Mapa de materiais inconsolidados:** A obtenção deste mapa baseou-se nos seguintes procedimentos: aerofotointerpretação, trabalhos de campos e ensaios laboratoriais.
- **Mapa de uso e ocupação atual do solo:** A determinação das áreas e do tipo de uso do solo foi baseada na verificação de fotos aéreas e trabalhos de campo.

- **Mapa de feições de movimentos de massa gravitacionais e processos erosivos:** Este documento foi elaborado a partir do mapa topográfico, de fotografias aéreas e principalmente de atividades de campo, onde foram identificadas as feições.
- **Carta de áreas predispostas a inundações:** Para a elaboração deste documento foram utilizadas informações obtidas a partir do mapa topográfico, fotografias aéreas, carta de declividade e atividades de campo.
- **Carta de declividade:** Na elaboração deste documento, foram consideradas as curvas de nível, consistindo basicamente em delimitar as mesmas áreas que apresentem valores de inclinação do terreno dentro das classes de declividade. Carta elaborada em processo manual, segundo DE BIASI (1970) e SANCHEZ (1993)
- **Carta de direção preferencial de fluxo superficial:** Documento elaborado a partir da carta de declividade e das drenagens, onde foram indicadas as principais direções de fluxo superficiais.
- **Carta das áreas com alta predisposição aos movimentos de massa gravitacionais, processos erosivos e áreas sujeitas a inundações:** Este documento foi elaborado a partir da sobreposição de informações dos mapas elaborados, onde, por meio da definição de um grupo de atributos (, bacias hidrográficas, *landforms*, materiais inconsolidados, litologia, *uso e ocupação atual do solo*, declividade, direção preferencial de fluxo superficial e localização das feições), são delineadas áreas que apresentam semelhança em suas propriedades.

III. 2. OBTENÇÃO DAS INFORMAÇÕES:

III.2.1. ETAPAS DE TRABALHO:

Este trabalho foi elaborado a partir de quatro etapas, sendo elas descritas a

seguir:

1ª ETAPA:

Na metodologia aplicada, esta etapa compõe-se das seguintes fases:

Elaboração da revisão bibliográfica: Corresponde à pesquisa em diversas fontes sobre o tema proposto e à elaboração de um texto contendo todas estas informações.

Como parte desta atividade, foram inicialmente consultadas bibliotecas de diversas instituições (EESC-USP, UFPR, PUC - PR, MINEROPAR, UNESP - Rio Claro, e outras) para que se procedesse a seleção da documentação básica a ser utilizada na execução deste trabalho.

Levantamento de dados: Envolve a obtenção de fotografias aéreas, material cartográfico, projetos realizados em áreas próximas ou na área, dados pluviométricos e de marés, etc.

2ª ETAPA:

Nesta etapa, foram realizadas atividades de escritório e de campo, que se interligaram, com o objetivo de levantamento das características gerais da área de estudo e realização de trabalhos sistemáticos de campo como amostragem, confirmação dos dados existentes e a coleta de informações mais direcionadas, que auxiliaram na elaboração dos documentos cartográficos.

Atividades de escritório (1):

Nesta etapa foi realizada uma análise preliminar da área, envolvendo textos bibliográficos, bases cartográficas e de sensoriamento remoto, utilizados da seguinte forma:

- **Textos bibliográficos:** Análise crítica e seleção dos diversos tipos de dados referentes ao contexto regional e local da área de estudo. Os documentos selecionados foram utilizados na caracterização da área de estudo (Capítulo IV. 1).
- **Documentos cartográficos:** Foram desenvolvidos vários tipos de mapas e cartas (planialtimétrico, litológico, materiais inconsistentes, declividade,

etc.) da área de estudo, na escala 1:10.000.

- **Documentos de sensoriamento remoto:** Os produtos utilizados foram dois conjuntos de fotografias aéreas, em escalas distintas. Foram realizadas fotointerpretações, com o objetivo de caracterizar o meio físico e antrópico (litologia, materiais inconsolidados, geomorfologia, hidrologia e tipos de ocupação), o cadastramento de feições de movimentos de massa gravitacionais, dos processos erosivos e áreas sujeitas a inundações.

Atividades de campo (1):

Esta fase foi desenvolvida com o objetivo de analisar as características do meio físico: portanto foram realizadas cinco etapas de campo, totalizando quarenta dias de atividades de campo.

Nessas etapas, foram realizadas atividades de reconhecimento da área, atualizações e complementações das informações já existentes, caracterização das unidades de materiais inconsolidados, *landforms*, ocupação urbana. Também foram identificadas e caracterizadas as feições de movimento de massa e os processos erosivos, assim como as áreas sujeitas à inundação. Em todas as etapas de campo foram realizados registros fotográficos e, na última etapa, foram coletadas amostras para ensaios laboratoriais.

Amostragem:

Foram coletadas amostras deformadas e indeformadas dos materiais inconsolidados. A distribuição da coleta de informações sobre os materiais inconsolidados da região foi representativa. Para cada ponto de coleta, foram retirados cerca de dois quilos de amostras deformadas e duas amostras indeformadas.

As amostras indeformadas foram coletadas conforme o "Método do Anel" (ZUQUETTE, 1987): uma amostra é retirada em um cilindro de PVC de 10 cm x 5 cm (diâmetro/altura) e devidamente conservada, para evitar a perda de umidade e deformações.

Na Figura 17, tem-se um modelo da ficha de campo utilizada.

3ª ETAPA:

Nesta etapa, foram analisados os dados obtidos na primeira e segunda etapa e em algumas fases da primeira etapa de escritório, tais como:

- Localização de feições;
- Realização de ensaios físicos (granulometria conjunta, massa específica dos sólidos (ρ_s); de massa específica seca de campo ($\rho_{d_{campo}}$)), e químicos (CTC). Os ensaios utilizados para determinar a erodibilidade dos materiais foram empregados por PEJON (1992), com base nos trabalhos de NOGAMI & VILLIBOR (1979). Estes são basicamente: absorção de água e perda de água por imersão;
- Análise pluviométrica e de marés.

4ª ETAPA:

Esta etapa consistiu na sistematização e modelagem dos dados obtidos em campo e laboratório, tanto na forma gráfica quanto na dissertativa. A partir dessas análises foram desenvolvidas as seguintes fases de finalização dos trabalhos:

- Cartografia e fotointerpretação final: Envolve a determinação e delimitação final das unidades para a elaboração dos documentos cartográficos.
- Análise e avaliação das informações produzidas e dos documentos elaborados
- Elaboração da dissertação: Corresponde à preparação do texto final, contendo os objetivos, a metodologia aplicada, os resultados obtidos, uma avaliação crítica da proposta metodológica aplicada e dos documentos produzidos e, finalmente, as conclusões.

DATA: / /		FICHA DE CAMPO		Nº	
Localização:					
Coordenadas (Mapa)		UTM (N):	UTM (E):	Altitude (m)	
Coordenadas (GPS)		UTM (N):	UTM (E):	Altitude (m)	
Base topográfica:			Declividade		
Foto aérea:			Foto –		
Escala: N ^o			Filme: N ^o		
Toponímia:					
Relevo:					
Plano () Suave ondulado () Ondulado () Escarpado () Outro ()					
Cobertura Vegetal:					
Natural () Reflorestada () Cultura anual () Cultura temporária () Pastagem () Outras ()					
Condições hidrológicas:					
Hidrogeologia: Aflorante () Recarga () Poço () Vazão Contaminação ()					
Ocupação / Uso do solo:					
Sem ocupação () Rural () Urbana residencial () Urbana industrial () Mista () Mineração ()					
Ocorrências / Exploração de recursos minerais:					
Rochoso () Inconsolidado () Material: Areia () Argila () Rocha ()					
Destino:					
Tipo: Natural () Corte () Escavação () Bloco () Outro ()					
SUBSTRATO ROCHOSO					
Litologia:					
Composição mineralógica					
Estruturas					
Grau de homogeneidade			Grau de alteração:		
Cor:			Coesão:		
Grau de fraturamento:		Preenchimento:		Abertura:	
Extensão lateral e espessura					
Tipo do limite () Abrupto () Gradacional					
Atitudes (xistosidade, fraturas, juntas, etc...).					
MATERIAL INCONSOLIDADO					
Posição no perfil					
Mineralogia					
Cor		Textura		Porosidade	
Cimento		Origem			
Continuidade lateral		Espessura		Tipo do limite () Abrupto () Gradacional	
Fragmentos rochosos () Tipo:					
Estruturação					
Descontinuidade					
Amostras Coletadas: N ^o :					
Tipo:		Posição no relevo:		Análises (tipo):	
Croqui					
Observações:					

Figura 27 - Ficha utilizada nos trabalhos de campo

III.2.2. MATERIAIS UTILIZADOS:

Os mapas, fotografias aérea, equipamentos e programas utilizados na obtenção de dados para a formulação desse trabalho apresentam-se listados abaixo:

Documentos cartográficos:

- Folha topográfica do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) - Antonina (1992) e Morretes (1992), escala 1:50.000.
- Folhas topográficas digitalizadas do PROJETO PARANACIDADE (antiga FAMEPAR) - Antonina, escala 1:10.000/1996. AGRITEC S.A.. Estes documentos apresentavam-se digitalizados. A articulação das cartas e seus respectivos códigos podem ser observados na Figura 28.
- Folha geológica de Morretes (XXXV-5) - Paraná, na escala 1:75.000. Elaborada pela Comissão da Carta Geológica do Paraná, 1967.
- Folha geológica de Antonina (XXXV-6) - Paraná, na escala 1:70.000. Elaborada pela Comissão da Carta Geológica do Paraná, 1970.

Figura 28 - Articulação das folhas topográficas do PROJETO PARANÁ-CIDADE (1996)

Fotografias aéreas:

- Fotografias aéreas: escala 1:25.000/1980 - Instituto de terras de cartografia do Paraná (ITC - PR): Total de 10 fotos (51338 a 51342 e 51377 a 51381)

- Fotografias aéreas: escala 1:10.000/1991 (Tabela 13) - PROJETO PARANACIDADE (Antigo FAMEPAR) (total de 33 fotos)

Tabela 13 - Fotoíndice da área de estudo, escala 1:10.000/ 1991 (PROJETO PARANACIDADE (Antigo FAMEPAR))

FAIXA	FOTOS
01	02 - 05 e 07
02	09, 11, 12, 14, 15, 17 - 20.
03	21 - 25, 27, 28, 31-33.
04	34 -37, 39, 40, 42, 44 e 45.

Equipamentos:

- GPS (Global Position System): Ensign GPS (TrimbleNavigation)
- Máquina fotográfica
- Bússolas

Softwares:

- AutoCAD R14® - AUTODESK: organização dos mapas, perfis topográficos.
- Excel 7.0® da Microsoft: elaboração de gráficos com diversas finalidades (clima, marés, ...)
- Surfer for windows (versão 6.01): interpolação das curvas do mapa base e elaboração dos modelos digitais do terreno.
- Word for Windows (versão 1998) da Microsoft: elaboração dos textos e tabelas.
- Conversor PGDxFCON (Faculdade de engenharia agrícola da UNICAMP)
- E outros.

IV. RESULTADOS E ANÁLISES

IV. 1. CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA:

IV. 1.1. LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO:

A área em estudo localiza-se na porção norte do litoral do Estado do Paraná, no município de Antonina (Figura 29), com aproximadamente 70 km², entre as coordenadas UTM 724.000 - 733.500 EW e 7.178.500 - 7.187.000 NS. O município apresenta uma extensão total da ordem de 846 km², distante cerca de 85 km de Curitiba.

Os principais acessos rodoviários de Antonina para Curitiba são a BR 277 (rodovia federal) e as rodovias estaduais, PR 408, 410 e 411, que se ligam à BR-277. Existem também uma ferrovia, que encontra-se atualmente desativada, e o acesso marítimo.

IV. 1.2. ASPECTOS CLIMÁTICOS:

Localizada na área de transição das zonas climáticas tropical e subtropical, na região do litoral, a área de estudo apresenta clima subtropical do tipo mesotérmico (Af(t)) da classificação de KÖEPPEN (1918) *apud* MAACK (1968) e caracteriza-se por apresentar verões frescos, sempre úmidos, com chuva em todos os meses do ano.

A temperatura média anual da região é de 22^o C, com amplitude média anual de 7,9^o C. A temperatura média do mês mais frio é de 17^o C e a do mais quente é de 24^o C (fevereiro) EIA/RIMA DO TERMINAL PORTUÁRIO PONTA DO FÉLIX (1998).

Segundo IPARDES (1990), as chuvas que caem no litoral paranaense são do tipo

Figura 29 - Mapa de localização de Antonina

IV. 1.3 GEOLOGIA REGIONAL:

As litologias mais antigas e deformadas do litoral do Paraná pertencem às seguintes unidades litoestratigráficas: Faixa Serra Negra, Complexo Pré-Setuva, Complexo Migmatítico, Suíte Granítica de Anatexia e Suíte Granítica Alcalina.

Outras unidades, mais recentes e não metamorfisadas também afloram nessa região, tais como: Formação Guaratubinha, Intrusivas Básicas e Sedimentos Recentes.

As litologias do Complexo Migmatítico são resultantes de fenômenos metamórficos que se processaram em condições de temperatura e pressão na fácies xisto verde e anfibolito.

Ainda no Proterozóico Superior, outra unidade, a Suíte Granítica de Anatexia, é composta por granitóides, incluindo granitos preexistentes remobilizados. Secundariamente ocorrem microgranitos e granitos pórfiros.

Secundariamente ocorrem microgranitos e granitos pórfiros.

Os contatos entre as unidades até agora descritas são, em geral, tectônicos e representados por faixas paralelas de milonitos e cataclasitos. Normalmente, nessas "faixas tectônicas", ocorrem minerais de origem hidrotermal, sobretudo massas quartzosas, às quais se associam sulfetos e ouro.

No litoral e Serra do Mar, as rochas intrusivas básicas apresentam-se representadas por diques de diabásio, por vezes incluindo dioritos pórfiros. Esses diques afloram de maneira particular e, em maior número, nos municípios de Antonina e Morretes.

Por fim completando o quadro geológico evolutivo da região de estudo, ocorrem extensas coberturas de sedimentos cenozóicos, incluídos sob o título de "sedimentos recentes". Incluem sedimentos de diversas origens, tais como: coluviões e aluviões, na borda de vales encaixados com grandes diferenças de relevo; sedimentos fluviais e lacustres, areno-silto-argilosos, entre grandes relevos e a linha de costa; sedimentos marinhos e praias com cordões orientados e sedimentos areno-silto-argilosos de fundo de baía.

IV. 1.4. PEDOLOGIA:

Os diferentes tipos de solo encontrados na região são abordados a seguir, seguindo mapeamentos realizados na região.

Segundo o levantamento semidetalhado dos solos de várzea da bacia do litoral, realizado pelo IAPAR (1994), na região de estudo encontram-se os tipos de solos descritos a seguir, conforme Figura 30.

HGP1 - Gleia pouco húmica (Ta) tiomórfica, textura argilosa, fase relevo plano (muito mal drenado): Presença de elevados teores de sulfatos e, por se apresentarem permanentemente ou periodicamente alagados, drenados artificialmente, tornam-se excessivamente ácidos (pH 3,5) e altamente tóxicos para as plantas.

HGP4 - Associação de gleia pouco húmica álica (HGP2) + solos aluviais distróficos (A1): Solos do tipo HGP2 apresentam baixa saturação de bases e alta saturação em

(A1) são solos minerais pouco evoluídos, moderadamente a bem drenados. Ocorrem em áreas de relevo suavemente ondulado ou quase plano, e são sedimentos depositados às margens dos rios durante as inundações.

HGP5 - Associação de glei pouco húmico álico (HGP2) + cambissolo álico gleico (CG1): Apresenta como componentes principais a Associação de glei pouco húmico álico (HGP2), já descrita e o cambissolo álico gleico (CG1), que compreende solos minerais, moderadamente drenados, e mediantemente profundos.

PV - podzólico vermelho amarelo: São solos minerais, com textura variando de arenoso-média até médio-muito argilosa.

Figura 30 - Mapa pedológico, elaborado pelo IAPAR (1994)

IV. 1.5. RECURSOS HÍDRICOS:

IV. 1.5.1. HIDROLOGIA DE SUPERFÍCIE:

Os principais rios de região de estudo são os rios: Nhundiaquara, São João Feliz, São Joãozinho, Monte Alegre, Tudunduva e Pinheirinho, que pertencem à Bacia Hidrográfica litorânea e deságuam na Baía de Antonina, em direção ao Oceano Atlântico, passando antes pela Baía de Paranaguá.

IV. 1.5.2. HIDROGEOLOGIA:

Segundo as informações obtidas no EIA/RIMA DO TERMINAL PORTUÁRIO PONTA DO FÉLIX (1998), a área de estudo é formada por dois tipos de aquíferos, com diferentes características hidrogeológicas e com aspectos litológicos e estruturais peculiares.

O primeiro tipo de aquífero é o "fraturado", constituído por rochas do Complexo Migmatítico. Nesse conjunto litológico, a água circula na trama estrutural configurada pelas fraturas, de maneira irregular e relacionada ao grau de fraturamento do maciço rochoso. Devido à inexistência de poços tubulares profundos na região, há uma grande escassez de dados, que dificulta a avaliação da circulação e armazenamento transitório da água subterrânea.

As profundidades de ocorrência da água subterrânea neste tipo de aquífero são extremamente variáveis, dependendo da profundidade em que é encontrada a rocha inalterada e do tipo de fratura que está superimposta.

As condições de exploração neste tipo de rocha encontram-se na faixa entre 5 e 20 m³/h.

O segundo tipo de aquífero foi determinado a partir dos trabalhos de campo e fotointerpretação geológica, estando sobreposto em geral, a rochas do primeiro. Na região de estudo, este aquífero é representado por sedimentos flúvio-lagunares, flúvio-deltaicos e, em sua maior parte, por sedimentos marinhos recentes. A sua composição é

normalmente argilo-siltosas, podendo ser rica em matéria orgânica quando localizados nos mangues atuais. A espessura desta camada sedimentar é bastante variável, podendo chegar a mais de 80 m de profundidade. Ele se configura como aquífero livre, poroso, isotrópico, homogêneo, bastante permeável, com exceção das camadas argilosas. A sua alimentação e recarga natural do mesmo são feitas pelas chuvas e drenagens perenes ou intermitentes. O fluxo subterrâneo é em direção ao mar. A profundidade do lençol freático na área é pequena, chegando a menos de 1 metro.

A exploração de água subterrânea neste aquífero é possível, já que estas formações porosas tendem a fornecer vazões variáveis entre 5 e 40 m³/h, sendo que as mais favoráveis são aquelas constituídas por material grosseiro. Nos sedimentos praias recentes, podem ocorrer poços com alta capacidade específica. Todavia, nestes locais, a água doce normalmente está sobrejacente a um pacote de rocha saturado de água salgada (ou salobra), que penetra continente adentro.

IV. 1.6. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS:

No Estado do Paraná, podem ser delineadas, com base em sua configuração topográfica, cinco grandes paisagens naturais: o litoral, a serra do Mar, o primeiro planalto ou de Curitiba, o segundo planalto ou de Ponta Grossa e o terceiro planalto ou de Guarapuava (Figura 31). O município de Antonina abrange partes da Serra do Mar e do litoral (MINEROPAR, 1993).

O litoral do Paraná é uma faixa rebaixada e estreita, entre a Serra do Mar e o Oceano Atlântico. Possui largura média de aproximadamente 20 km, atingindo no máximo 50 km na área da baía de Paranaguá. Tem sua evolução ligada a processo tectônico, com falhamentos, e às variações do nível do mar.

É uma área com cadeias de elevações e morros isolados que, em direção ao mar, são circundados por coluviões, planícies aluviais, manguezais e planícies arenosas litorâneas. Esporões e morros isolados formam pequenos maciços na região de Antonina.

A Serra do Mar é uma cadeia de montanhas que separa o litoral do Primeiro Planalto. Constitui-se em uma serra marginal compartimentada por falhamentos, em blocos altos e baixos, dando origem a diversos maciços com denominações locais. É

na Serra do Mar que estão as maiores elevações do Estado, sendo o pico do Paraná, com 1922 metros de altura, o ponto culminante.

Os sistemas hidrográficos do litoral e serra do Mar são encaixados, adaptados às linhas tectônicas, resultando em um padrão retangular de drenagem. São rios jovens, como pode ser deduzido das inúmeras corredeiras e saltos (exemplo Salto do Morato, localizados próximo à área de estudo), existentes em seus cursos pela grande velocidade de suas correntes. A grande proximidade de suas nascentes, na zona serrana, com o oceano, nível de base, confere-lhes grande poder erosivo. Isto é mais evidente no trecho da serra e início das planícies aluviais, onde desenvolvem feições de canais anastomosados, seus cursos terminam nas baías, sem atingir diretamente mar aberto.

Os relevos considerados como "Serra do Mar" dispõem-se em uma faixa de direção N-S, onde, ao oeste de Paranaguá, possuem declives voltados para o mar e para o continente. Granitos e quartzitos, por sua maior resistência ao intemperismo, sustentam os relevos com declividades mais fortes, enquanto que os gnaisses e xistos possuem declives menores e cristas mais arredondadas. A altitude não ultrapassa 400m. Os rios desta unidade geralmente estão encaixados em vales em forma de "V".

A unidade "Planície Litorânea" apresenta relevo plano a suavemente ondulado, sobressaindo-se morros e colinas de diversos tamanhos, porém com altitudes geralmente inferiores a 40 m.

1. Zona litoral	3. Primeiro Planalto
- Orla marinha	4. Segundo Planalto
- Orla litoral	5. Terceiro Planalto
2. Serra do Mar	

Figura 31 - Mapa de compartimentação geomorfológica do Estado do Paraná (MINEROPAR, 1993)

O esboço a seguir (Figura 32) representa de forma esquemática a configuração geomorfológica da área de estudo, bem como sua relação com as litologias mapeadas.

Figura 32 - Esboço geológico-geomorfológico da região de Antonina (modificado MINEROPAR, 1993)

IV. 1.7. ASPECTOS AMBIENTAIS:

Na região litorânea do Paraná existem várias áreas demarcadas, que têm sua ocupação regulada por leis específicas, objetivando a presença do equilíbrio dos ecossistemas existentes, a saber: Área de especial interesse turístico do Marumbi, Área de tombamento da Serra do Mar; Área de proteção ambiental, (APA) de Guaraqueçaba e, por último, Parque Nacional do Superagui.

A região de estudo encontra-se próxima a estas áreas de preservação. Existe também, nas proximidades, a reserva particular da Fundação O Boticário de Proteção à Natureza e da SPVS (Sociedade de Pesquisa da Vida Selvagem), que são duas organizações não governamentais.

IV. 2. DOCUMENTOS CARTOGRÁFICOS ELABORADOS E ANÁLISES:

IV. 2.1. ANÁLISE DE MARÉS:

As informações sobre as marés foram obtidas a partir do processamento de três anos (1998 a 2000) de dados obtidos no Porto de Antonina, por meio do Centro de Estudos do Mar da Universidade Federal do Paraná - CEM/UFPR.

As marés podem ser caracterizadas como semidiurnas, isto é, com duas preamares (marés altas) e duas marés baixas por dia, especialmente em períodos de marés de lua cheia ou nova (sizígias). Os registros típicos de maré semidiurna de Antonina são mostrados na Figura 33.

A diferença entre a maré alta e a baixa é da ordem de 3 metros (Figura 34), sendo que a média de marés altas é de 3,07 metros e as baixas é de 1,13 metros .

Durante períodos de quadratura (período de marés de lua minguante ou crescente), a amplitude das marés se reduz, atingindo valores aproximadamente 30% menores do que aqueles observados durante as sizígias. Um ponto importante que

deve ser destacado é que, durante os períodos de quadratura, podem ocorrer várias marés altas e marés baixas por dia (Figura 35).

A partir da análise dos dados de marés, foi possível verificar que a maré permanece alta durante um total de cerca de 8 horas diárias, independentemente da influência das luas.

Figura 33 - Registro do nível do mar típico observado no Porto de Antonina, PR no dia 27/01/98. Em abcissa estão indicadas as horas, e em ordenadas, as alturas de marés (m)

Figura 34 - Gráfico mostrando relação entre maré máxima e mínima anual. Média: 3,072822 (máx.) e 1,137178 (min) e Desvio Padrão: 0,273638(máx.) e 0,347109 (min)

Figura 35 - Gráfico representado as características da maré em períodos de quadratura (lua crescente ou minguante)

A Figura 36 (a e b) apresenta variações da maré no ancoradouro de Antonina: na foto "a" observa-se a maré alta, e na "b" a maré baixa.

Figura 36 - Variações do nível de maré em Antonina (a - Nível da maré no final do dia e b- nível de maré de manhã)

Na Figura 37, é apresentado um gráfico representativo da variação do nível do mar para o período de janeiro de 1999, onde se pode observar a relação das marés com os ciclos lunares.

Figura 37 - Gráfico representando a variação mensal das marés para o mês de janeiro de 1999. (Fases lunares: 01 e 31/01/99 - Nova, 09/01 - Crescente, 17/01 Cheia e 25/01 - Minguante)

IV.2.2. ANÁLISE PLUVIOMÉTRICA:

Os dados pluviométricos analisados referem-se a um período de cinquenta e um anos (1947 a 1998), registrados na estação meteorológica "Colônia do Cachoeira" (código estadual 02548003), instalada no município de Antonina / PR, pertencente ao DNAEE, com altitude de 80 metros, latitude $25^{\circ}14'00''S$ e longitude $48^{\circ}45'45''W$.

A partir desses dados, foram elaboradas análises de chuvas acumuladas anuais e mensais, para o período.

Os dados de precipitações anuais (Figura 38) indicam uma média de precipitação em torno de 2470 mm, nestes cinquenta e um anos de análises. Os cinco anos de precipitações mais elevadas (em ordem crescente) são: 1983 (3011,5 mm), 1947 (3032,0 mm), 1998 (3037,6 mm), 1995 (3069,7 mm) e 1996 (3156,3 mm). E as precipitações mais baixas foram registrados nos seguintes anos: 1985 (1842,1mm), 1962 (1884,8mm), 1974 (1893,4 mm), 1978 (1929,1 mm) e 1968 (1969,8 mm).

Figura 38 - Média das precipitações anuais em Antonina/PR, no período de 1947 - 1998

Os dados de precipitações mensais referentes ao mesmo período analisado das precipitações médias anuais (1947 - 1998) podem ser observados na Figura 39. Durante esses cinquenta e um anos de análise, foi observado que o período que concentra os maiores índices pluviométricos, ou seja, o mais úmido, encontra-se nos meses de janeiro (343,2 mm), fevereiro (331,7 mm) e março (315,6 mm), e os períodos com menor índice pluviométrico concentra-se nos meses de junho (115,3 mm), julho (97,3 mm) e agosto (92,6 mm).

As chuvas são relativamente uniformes durante o ano, com uma média de cerca de 16 dias mensais de chuva, com um ligeiro aumento no verão.

Na Figura 40, é apresentado um gráfico, onde é possível analisar a distribuição de chuvas, pois são representados os meses e a intensidade de chuva acumulada para o período de 1948 - 1998. Pode-se verificar, por exemplo, que em janeiro de 1997 (1), que corresponde ao número 601, a intensidade de chuva acumulada foi de 647,8 mm; em dezembro de 1998 (2) (624), foi de 217,1 mm e, em julho de 1992 (3) (535), a intensidade de chuva acumulada foi de 10,4 mm e assim por diante.

Figura 39 - Média das precipitações mensais em de Antonina/PR, no período de 1947 - 1998

Figura 40 - Gráfico representando o mês e a intensidade de chuva acumulada (1948 - 1998).
 1) 601 (01/97) / 647,8 mm; 2) 624 (12/98) / 217,1 mm e 3) 535 (08/91) / 10,5 mm

A partir dos dados de chuvas para o período de 1948 a 1998, é possível calcular a probabilidade de ocorrência de novos eventos chuvosos dessa magnitude, e

conseqüentemente, a possibilidade de deflagração de movimentos de massa gravitacionais, processos erosivos e de inundação.

É importante destacar que o tempo de retorno (ou recorrência) significa o número médio de anos durante os quais se espera que a precipitação analisada seja igualada ou superada. O seu inverso é a probabilidade de um fenômeno igual ou superior ao analisado se apresentar em um ano qualquer (probabilidade anual). Por exemplo, uma precipitação com 1% de probabilidade de ser igualada ou superada em um ano apresenta $R = 100$ anos (TUCCI, 1993).

Portanto:

$$P = \frac{1}{R}$$

Onde:

P = Probabilidade de ocorrência

R = recorrência

Na Figura 41, há um gráfico onde está representada a curva de freqüência acumulada das chuvas para o período de 1948 a 1998. É possível verificar, por exemplo, que a probabilidade de ocorrer uma chuva acumulada mensal com intensidade de 647,8mm (1) é de 0,017% (1). Quando se localiza o ponto no gráfico, verifica-se que a recorrência para uma chuva desta intensidade é de 56,77 anos. Para a chuva acumulada de intensidade 217,1 mm (2), a probabilidade de ocorrer é de 46,77%; e a recorrência, de 0,02 anos. Para uma chuva acumulada com 10,5 mm (3) de intensidade, a probabilidade de ocorrer é de 94,46%; e a recorrência é de 0,01 anos.

Figura 41- Gráfico representando a probabilidade de ocorrer uma chuva de determinada intensidade de chuva. 1) 0,017%; 2) 46,77% e 3) 94,45%

IV. 2.3. MAPAS BÁSICOS:

Neste item, serão discutidos a metodologia adotada para elaboração do mapa topográfico e os documentos cartográficos gerados a partir das atividades de campo, fotointerpretação e ensaios laboratoriais.

IV. 2.3.1. MAPA PLANIALTIMÉTRICO (ANEXO 01)

A elaboração de um mapa topográfico fez-se necessária em virtude de a região não apresentar informações necessárias para o desenvolvimento do projeto. O procedimento, cujas etapas se encontram descritas detalhadamente a seguir, demandou muito tempo.

Etapas da elaboração do mapa base:

Na elaboração do mapa-base, utilizaram-se informações contidas nos seguintes documentos:

- Mapa topográfico, escala 1:10.000 (Projeto Paraná-Cidade), obtido na forma

digital, porém sem algumas porções da área, com curvas de nível de 5 metros (1996).

- Mapa topográfico, escala 1:50.000 (IBGE), com curva de nível de 20 metros, digitalizado e referenciado geograficamente neste trabalho, utilizando-se o AUTO CAD® 14. Ele mapa foi utilizado para completar o mapa citado no tópico anterior.

Os dois mapas foram associados e as curvas foram interpoladas, gerando curvas de 5 metros.

O mapa topográfico resultante da associação dos dois mapas digitalizados (no formato DXF) foi convertido para arquivo texto (TXT ou DAT), por meio do programa de conversão PGDXFCON (Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP).

O arquivo texto, com a leitura das coordenadas x, y, e z, é processado no programa SURFER (versão 6.01), seguindo os seguintes comandos:

É aberta uma janela onde são especificadas as disposições das coordenadas x, y e z, com seus respectivos valores de máximo e mínimo. Neste momento, também são discriminados: o tipo de operador (interpolador) que lerá as coordenadas do arquivo texto (TXT) e novamente o converterá para a forma gráfica; o tamanho do pixel (o utilizado foi de 10x10) e o número de linhas e colunas do mapa. Para este trabalho, foram testadas todas as opções de interpoladores do programa e o que apresentou resultado mais próximo ao da carta topográfica foi o de Mínima Curvatura.

Os resultados obtidos com a interpolação foram analisados e comparados com as fotografias aéreas e associados à rede de drenagem da área, obtida a partir da interpretação de fotografias aéreas, escala 1:25.000 e 1:10.000, digitalizada e referenciada geograficamente no AUTO CAD® 14.

IV. 2.3.2. MAPA DE DOCUMENTAÇÃO (ANEXO 02)

O mapa de documentação registra as informações da área estudada, tais como: topografia, localização das principais estradas, localização dos pontos produzidos nas etapas de campo (134 pontos). Estes pontos estão relacionados a observações e descrições realizadas nos trabalhos de campo relativos aos atributos e feições, coleta de material para análise em laboratório e registro fotográfico.

Em alguns trechos da área, não foram possíveis os acessos, em virtude da presença de mata fechada, como por exemplo, no Morro do Cantagalo e no Morro da Vista. As observações foram feitas por fotografias aéreas e por observações em campo.

IV. 2.3.4. MAPA DE BACIAS HIDROGRÁFICAS (ANEXO 03)

Para a elaboração do mapa de bacias hidrográficas, inicialmente, foi necessária a execução do mapa de drenagens, que se baseou no traçado manual das drenagens usando-se o mapa topográfico (1:10.000) e contando-se com o apoio da interpretação das fotos aéreas (1980 e 1991), de modo a confirmar os posicionamentos dessas drenagens.

A partir do mapa de drenagens, os canais de drenagem (Figura 42) e as sub-bacias hidrográficas foram classificados segundo a ordenação de STHALER (1952) e, em seguida, analisados de acordo com os padrões de drenagens e sua morfometria.

Figura 42 - Classificação de drenagens segundo STHALER (1952)

Os principais rios são: Nhundiaquara, São João Feliz, São Joãozinho, Monte Alegre, Tudunduva e Pinheirinho, que pertencem à Bacia Hidrográfica litorânea e deságuam na Baía de Antonina.

Por terem nascentes junto à borda oriental da Serra do Mar, em região de alto índice pluviométrico, se constituem em rios de grande potencial hidráulico. Ao atingirem a planície, mudam a característica de rios encachoeirados (altas declividades) para

rios sinuosos (baixas declividades), até o desaguoamento na baía. Os rios maiores, que drenam diretamente para a baía, têm o regime de escoamento regulado pelo movimento das marés, no curso final.

Os limites das bacias hidrográficas foram traçados sobre o mapa planialtimétrico, na escala 1:10.000, baseando-se na distribuição das curvas de nível e dos pontos com cotas máximas. Desta maneira, foram individualizadas 18 sub-bacias, que se apresentam caracterizadas, quanto à área e a ordem na Tabela 14.

Tabela 14 - Caracterização das bacias quanto à ordem e à área

BACIA	ORDEM	ÁREA(%)	Observação
Rio São Joãozinho Feliz	6ª	28.0	Parcialmente inserida na área
02	2ª	3.0	Parcialmente inserida na área
Rio Monte Alegre	5ª	16.0	Totalmente inserido na área
Registro	4ª (2ª e 3ª)	10.4	Totalmente inserido na área
Rio Pinheirinho	3ª	3.2	Totalmente inserido na área
Ponta do Rangel	3ª	2.0	Totalmente inserido na área
07	2ª e 3ª	1.1	Totalmente inserido na área
Ponta do Gomes	3ª	2.0	Totalmente inserido na área
Ponta da Pita	4ª	6.2	Totalmente inserido na área
Escola Matarazzo	4ª	4.5	Totalmente inserido na área
Porto Barão de Tefé	2ª	1.0	Totalmente inserido na área
12	2ª e 3ª	2.0	Totalmente inserido na área
Antonina	3ª	3.4	Totalmente inserido na área
Ancoradouro	1ª	0.5	Totalmente inserido na área
15	2ª	2.0	Totalmente inserido na área
16	2ª	1.2	Totalmente inserido na área
Rio do Curtume	5ª	12.5	Totalmente inserido na área
18	3ª	1.0	Totalmente inserido na área

Obs.: O nome das bacias foi dado em função dos nomes de rios. Para aqueles cujos nomes não se conheciam optou-se pela identificação por meio de alguma referência local. Quando isso não era possível, utilizaram-se números.

As bacias são caracterizadas por apresentarem-se completamente inseridas ou com o exultório (desembocadura) na área, como é o caso das baías do rio São Joãozinho Feliz e da bacia 02.

IV. 2.3.5. MAPA DE LANDFORMS (ANEXO 04)

A elaboração do Mapa de *landforms* decorreu da aplicação da Técnica de Avaliação do Terreno, segundo a sistemática proposta por LOLLO (1996). Essa

técnica objetiva o levantamento das condições naturais do terreno, compartimentando-se e caracterizando-se, desta forma, o meio físico em unidades semelhantes, o que permite um zoneamento do terreno em termos de feições do relevo e do significado dessas feições em função dos materiais relacionados (rochosos e inconsolidados).

Antes de se iniciar a descrição deste mapa, é importante destacar que na compartimentação do terreno em termos de *landforms*, são utilizados três níveis hierárquicos, os quais dependem diretamente do grau de detalhamento ou objetivo da análise efetuada e da escala adotada. Os níveis hierárquicos são:

1-Sistema de Terreno (*Land System*) - Podem ser caracterizados como associações de feições de relevo que apresentam condições de processos evolutivos semelhantes e associações com materiais rochosos.

2-Unidade de Terreno (*Land Unit*) - Este nível hierárquico pode ser representado por uma feição individual, a qual se distingue por determinado subconjunto de processos diferentes dos demais. Para a delimitação destas unidades são utilizadas características morfológicas como a inclinação de vertentes, amplitude do relevo, forma topográfica e características de drenagem.

3-Elemento de Terreno (*Land Element*) - Este nível corresponde à menor subdivisão de um terreno, baseando-se na inclinação ou forma das vertentes, posição ou forma topográfica.

A Figura 43, a seguir, representa os níveis hierárquicos de subdivisão do terreno.

Figura 43 - Aplicação da Técnica de Avaliação do Terreno, modificado de COOKE & DOORNKAMP (1990, apud LOLLO, 1995)

A elaboração deste mapa constituiu no levantamento das informações do meio físico, por meio de trabalhos de fotointerpretação em escala 1:25.000 e 1:10.000, conjuntamente com observações de campo e o mapa topográfico (mapa base) em escala 1: 10.000. Esta etapa permitiu um zoneamento da área, na qual foram reconhecidos e individualizados os sistemas e unidades de terreno existentes. Para a classificação dos termos descritivos adotados por LOLLO (1996) (Tabela 15).

Tabela 15 - Termos utilizados para a descrição de unidades de terreno e seus critérios de descrição. Modificado de LOLLO (1996)

SIGNIFICADO	TERMO	DIMENSÕES OU DESCRIÇÃO	CRITÉRIO DE MEDIDA OU DE DESCRIÇÃO
Expressão Geográfica (colina, morrote e morro)	Pequeno Médio Ampla	< 1 km 1 a 2 km > 2 km	Extensão maior (maior componente de extensão da forma)
Expressão Geográfica (vale)	Pequeno (estreito) Médio Ampla	< 1 km 1 a 2 km > 2 km	Extensão (seção transversal do vale)
Forma da Seção Transversal (colina)	Ondulada Suave ondulada Aplainada	5 a 10% 2 a 5% < 2%	Declividade das vertentes
Forma do Topo (morrote ou morro)	Arredondado Anguloso	< 20% > 20%	Declividade do topo
Forma do Vale	Fechado Aberto	> 10% < 10 %	Declividade das vertentes
Frequência de Canais	Muito alta Alta Média Baixa	> 15/km ² 7 a 15/km ² 3 a 7/km ² < 3/km ²	Número total de canais (inclusive ravinas) por Km ²
Forma da Encosta (vertical)	Convexa, retilínea e côncava.		

Para a classificação dos *landforms*, utilizou-se como guia uma ficha com as principais observações a serem analisadas nas fotografias aéreas (Figura 44).

Descrição:

De acordo com os *landforms*, a área pode ser subdividida em três sistemas, condicionados pelo formato e extensão de topos, vales e vertentes; traçado da drenagem; declividade; grau de dissecação do terreno e amplitudes altimétricas, como se pode observar a seguir:

SISTEMA A - O de maior representatividade superficial, de aspecto montanhoso e constituído por encostas de amplitudes e declividades médias a altas (localmente íngremes), com topos e interflúvios predominantemente angulosos a subangulosos, vales encaixados e frequência de média a alta de drenagem (Figuras 45). Fazem parte deste sistema as seguintes unidades:

CARACTERÍSTICAS GERAIS		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Relevo relativo	Sistema													
	Muito baixo (< 10 m)													
	Baixo (10 - 30 m)													
	Moderado (30 - 100 m)													
	Alto (100 - 300 m)													
Frequência de canais	Muito alto (> 300 m)													
	Ausente													
	Baixo (< 3 km ²)													
	Moderado (3 - 7 km ²)													
Espaçamento de drenagem	Alto (7 - 15 km ²)													
	Muito fechado (< 100m)													
	Fechado (100 - 400 m)													
Tipo de drenagem	Moderado (400-1500m)													
	Retilínea													
	Dendrítica													
	Meandrante													
Prof. da drenagem	Subparalela													
	Rasa													
	Moderada													
Ângulo de encosta	Profunda													
	Muito suave (< 2%)													
	Suave (2 - 10%)													
	Moderado (10 - 30%)													
	Moderado íngreme (30-45%)													
	Íngreme (45 - 75%)													
Em planta	Muito íngreme (75 - 100%)													
	Íngreme a vertical (>100%)													
	Sem orientação													
Distribuição de altura	Fracamente orientado													
	Fortemente orientado													
	Balanceada													
Forma do perfil	Predominante alta (>60%)													
	Predominantemente baixa (>60%)													
	Interflúvio													
	Arredondados													
	Tabulares													
	Angulares													
	Fundo dos vales													
	Arredondados													
	Subarredondados													
	Angulosos													
	Subangulosos													
	Encosta													
	Retilínea													
	Convexo													
	Côncava													

Figura 44 - Ficha auxiliar para a classificação dos landforms (Baseada em LOLLO, 1996)

Figura 45 - Exemplo de Landform típico do Sistema A

Unidade 04 - Morrotes de baixa amplitude, com frequência média de drenagens, com encostas de declividade de média a alta e de topos convexos, localmente apresentando perfil côncavo.

Unidade 05 - Encostas de forma côncava em perfil em planta, de declividade alta e amplitude média, com topos predominantemente subangulosos. A frequência de drenagem é média.

Unidade 06 - Encosta de forma retilínea em perfil, e planta com declividade e amplitude altas, de topos angulosos, com alta frequência de drenagens de padrão predominantemente retilíneo, com os canais subparalelos e localmente mostrando aspecto dendrítico em suas porções superiores (cabeceiras).

Unidade 08 - Encostas convexas, transversais e longitudinais, de declividade de média a alta, de amplitude média, com frequência muito baixa de drenagens. Apresenta topos subangulosos.

Unidade 09 - Encostas de alta amplitude, topos subangulosos, de forma retilínea, tanto em perfil como em planta, de declividade média e frequência de média a alta de canais de padrão retilíneo, às vezes bifurcados em suas porções mais inferiores.

Unidade 10 - Encosta de perfil convexo e forma retilínea em planta, de baixa frequência de drenagem, com padrão retilíneo e de baixa amplitude e declividade média a alta.

Unidade 11 - Morros com encostas retilíneas de amplitude baixa e declividade

alta, com raros ou ausentes canais de drenagens associados e de topos subarredondados.

Unidade 12 - Morro de forma encurvada com encostas convexas, de declividade e amplitude bastante baixas, com topos subarredondados e frequência de canais muito baixa.

Unidade 14 - Encostas retilíneas, de declividade média e amplitude alta, e de forma côncava em planta. Apresentam canais de segunda ordem alongados e uma frequência média de drenagens distributárias de padrão predominantemente arborescente.

Unidade 15 - Encostas de perfis côncavos e longitudinalmente retilíneos, de baixa amplitude e declividade média a baixa, com poucos canais de drenagens a associados.

Unidade 17 - Encostas retilíneas, íngremes, de declividade muito alta, amplitude alta e frequência muito baixa de canais. Os topos são preferencialmente angulosos.

Unidade 18 - Encostas de declividade alta, amplitude média, topo anguloso, de forma retilínea tanto em perfil como em planta, com frequência de baixa a média de canais pouco sulcados na vertente.

Unidade 21 - Encostas de pequena amplitude, declividade média, e frequência muito baixa de drenagem. Apresenta forma retilínea em perfil e em planta, com topos subangulosos.

Unidade 22 - Encostas com formas predominantemente retilíneas em perfil e em planta, com topos angulosos a subangulosos, de alta amplitude e declividade de média a alta. Apresenta média frequência de canais, caracteristicamente bastante escavados e de padrão angular (ortogonais entre si).

Unidade 23 - Encostas de perfis convexos e longitudinalmente retilíneos, de declividade alta e amplitude média e com média frequência de canais de primeira ordem pouco escavados e com vales pouco fechados.

SISTEMA B - Região bem menos expressiva em área do que o Sistema A, caracterizado por feições de relevo localizadas com aspecto colinoso ou com morrotes, situados ou nas bordas das encostas de alta declividade íngremes descritas

anteriormente ou associados às unidades do Sistema C. As encostas associadas apresentam amplitudes tipicamente baixas (Figura 46).

Unidade 03 - Caracterizadas por morrotes de encostas em geral retilíneas, com frequência muito baixa de drenagem e declividades de médias a altas e com topos subangulosos.

Unidade 07 - Feições alongadas de baixa amplitude, caracterizadas por colinas e/ou morrotes de encostas em geral retilíneas, com frequência muito baixa de drenagem e declividades de médias a altas e com topos subangulosos.

Unidade 13 - Morro de crista sinuosa com amplitude baixa, encostas retilíneas de declividade de média a alta, formas longitudinais côncavas e convexas e com crista angulosa, sem canais marcantes de drenagem.

Unidade 16 - Pequenos morros de baixa amplitude e com encostas preferencialmente de perfil retilíneo e declividade baixa. Feições com topos arredondados e de frequência muito baixa de canais.

Unidade 19 - Morro de crista sinuosa com amplitude baixa e encostas retilíneas, de declividade de média a alta e formas longitudinais côncavas e convexas.

Unidade 20 - Morrotes alongados com encostas retilíneas de declividade e amplitude médias e poucos canais, em geral bastante escavados.

Figura 46 - Feição típica do Sistema B ao fundo e à frente. Ao meio observa-se superfície plana, típica do Sistema C

SISTEMA C - Região constituída pela foz do sistema fluvial principal, rio São João Felix, com distributários de aspecto meandrante, regiões de mangues, áreas de declividade muito baixa e de baixa densidade de drenagem situadas nas bordas dos Sistemas A e B (Figura 47):

Figura 47 - Região típica do Sistema C, com áreas de declividade baixa

Unidade 01 - Regiões de declividade baixa (inferior a 2%) e com ampla região de mangue e/ou zonas fluviais de aspecto eminentemente meandranes.

Unidade 02 - Regiões de declividades baixa (inferior a 2%), com relevo pouco ondulado e densidade muito baixa de canais.

IV. 2.1.5. MAPA LITOLÓGICO (ANEXO 05):

A região mapeada é caracterizada pela existência de rochas do embasamento cristalino de idade pré-cambriana (complexo gnáissico-migmatítico), rochas jurássicas (diabásios) e depósitos quaternários (sedimentos marinhos - mangues, depósitos de baía, depósitos de colúvios e talus), conforme apresentado na Tabela 16.

O estudo baseou-se em trabalhos de fotointerpretação, revisão bibliográfica e complementação de dados existentes nas folhas geológicas Antonina (XXV-6, 1970, 1:70.000) e Morretes (XXXV-5, 1967, 1:75.000) com trabalhos de campo.

Tabela 16 - Unidades litológicas e principais litologias caracterizadas na área

SÍMBOLO	LITOLOGIA	
QUATERNÁRIO - HOLOCENO		
Qma	Sedimentos de mangue	Depósitos de mangue
Qa	Aluviões indiferenciados	Depósitos sedimentares continentais recentes
Qc	Depósitos de colúvios	
Qt	Depósitos de talude	
Qb	Sedimentos areno-silto-argilosos de baía	Depósitos marinhos recentes
JURO-CRETÁCEO		
JK	Intrusivas básicas	
PRÉ-CAMBRIANO		
pεG	Granitos de anatexia	
pεM	Migmatitos indiferenciados	
pεq	Quartzito	
pεX	Rochas xistosas miloníticas	

IV.2.1.6.1. PRÉ-CAMBRIANO

Na área de estudo as rochas do embasamento cristalino, de idade pré-cambriana, são representados por um complexo migmatítico, onde se encontram migmatitos (Figura 48), granitos de anatexia (Figura 49), rochas xistosas miloníticas e quartzito (Figura 50).

Os granitos de anatexia configuram uma gradação das rochas migmatíticas e mineralógicamente constituídos por biotita, quartzo, microclínio e oligoclásio freqüentemente orientados.

As rochas migmatíticas e graníticas ocupam as porções de relevo acidentado, com alta declividade, sustentando as principais cristas e morros da região (Morro do Bom Brinquedo, Morro do Cantagalo e Morro da Boa Vista). Apresenta-se na forma de rochas aflorantes ou como matacões.

Quando alteradas, fornecem o material utilizado na manutenção e capeamento de estradas e aterros (saibro), em geral, retirados a partir dos cortes e taludes de estradas.

As rochas xistosas apresentam-se associadas a zonas de cisalhamento, ou seja, zonas onde atuaram processos de falhamentos e deformações.

Figura 48 - Afloramento de migmatito na Ponta da Pita

Figura 49 - Afloramento de matacões de granito de anatexia

Figura 50 - Afloramento de quartzito encontrado na Ponta do Rangel

IV. 2.1.6.2. JURO-CRETÁCEO

As rochas intrusivas básicas, de idade mesozóica, estão representadas pelos diques de diabásio, que apresentam granulação fina, coloração cinza-escuro e composição essencial de labradorita, augitas, minerais opacos e apatita. Apresentam-se principalmente na forma de blocos e matacões em encostas ou nos canais de drenagens.

IV. 2.1.6.3. QUATERNÁRIO

A. Depósitos sedimentares continentais recentes (Qa, Qc e Qt)

Os sedimentos continentais são expressivos em toda a região de estudo, incluindo depósitos de vertentes e aluviões. Ocupam as porções de relevo plano e de baixa declividade, normalmente, com nível freático raso ou aflorante.

A grande variedade desses depósitos reflete a dinâmica dos ambientes litorâneos, onde contínuos episódios de variações do nível do mar, associados à ação de águas fluviais, foram responsáveis pela atual disposição espacial desses sedimentos.

Os depósitos de aluvião são constituídos por areias de granulação variada, silte e argilas. Podem ocorrer, também seixos de quartzo e quartzito, bem selecionados e arredondados, indicando um transporte efetivo.

Os flancos e sopés da Serra do Mar abrigam os depósitos de vertentes, compreendendo os depósitos de tálus, cones de dejeção e colúvios. Os primeiros ocorrem ao pé de escarpas e são constituídos por blocos de matacões de composição esferoidal, imersos em regolito ou depósitos argilosos. Já os colúvios desenvolvem-se nas vertentes mais suaves e são constituídos, principalmente, por matriz silto-argilosa que engloba seixos e blocos de diâmetros variados.

B. Depósitos de mangue (Qma)

Uma parte expressiva da área de estudo é constituída pelos depósitos de mangues, os quais são compostos, predominantemente, por sedimentos argilo-siltosos muito ricos em matéria orgânica (Figura 51).

Ocorrem nas partes baixas do litoral, sujeitas à influência direta do fluxo e refluxo das marés, localizadas nas desembocaduras dos rios, nas reentrâncias costeiras, onde as águas são calmas e o litoral é de aspecto lodoso.

Os manguezais da região de Antonina são formados basicamente por mangue vermelho ou *canapu* (*Rhizophora mangle*) e mangue branco (*Laguncularia racemosa*).

As baías e os mangues estão interligados às bacias de drenagem da região. Com isso, sofrem as interferências e os impactos das atividades que aí ocorrem. Os mangues, apesar de estarem protegidos por lei, podem ser afetados pelas mudanças que ocorrem em áreas interligadas, como a restinga, os baixios e a baía.

Figura 51 - Sedimentos de mangue na região da Ponta da Pita

C. Depósitos marinhos recentes (Qb)

Os depósitos de origem marinha compreendem as areias quartzosas, entre paralelos e subparalelos à linha de costa atual. Eles avançam em direção ao interior de lagunas e baías para sedimentos predominantemente mais finos, com níveis areno-argilosos e, de forma conjunta ou não, com níveis silto-argilosos atestando uma disposição em ambientes de águas calmas.

A ocorrência de conchas de moluscos e sambaquis é comum e está relacionada à ocorrência de paleocanais e paleobacias, como observado na Ponta do Félix, na Ponta da

Pita e na Ponta do Pinheiro. Nestes sedimentos ainda podem ocorrer depósitos de turfa, formados a partir do ressecamento de lagunas antigas.

As unidades geológicas acima descritas estão representadas no mapa litológico, em escala 1: 10.000 (ANEXO 05).

IV. 2.1.5. MAPA DE MATERIAIS INCONSOLIDADOS (ANEXO 06):

IV. 2.1.6.1. Considerações gerais:

A elaboração do mapa de materiais inconsolidados baseou-se nos seguintes procedimentos: revisão bibliográfica, aerofotointerpretação com utilização do mapa de *landforms*, trabalhos de campo e ensaios laboratoriais.

Com o objetivo de organizar os trabalhos de campo, buscou-se na literatura uma classificação em termos de perfis de alteração que melhor atendesse aos objetivos do trabalho, adotando-se a proposta de ISRM (1983), cuja terminologia para diferentes graus de alteração está baseada em características como textura, descoloração, percentagem de materiais com sinais de decomposição entre outras (Tabela 17).

Tabela 17 - Terminologia para a descrição de alteração do material rochoso (ISRM, 1993)

NÍVEIS DE ALTERAÇÃO	CLASSE	DESCRIÇÃO
Rocha fresca ou sã	I ou A1	Nenhum sinal de alteração visível; é possível descoloração nas descontinuidades
Levemente alterada	II ou A2	Descoloração do material rochoso e das descontinuidades; mais fraco que o material original
Moderadamente alterada	III ou A3	Menos da metade do maciço encontra-se totalmente decomposto e/ou desintegrado em solo; rocha fresca ou descolorida constitui uma malha contínua
Intensamente alterada	IV ou A4	Mais da metade da rocha decomposta ou desintegrada para solo; possibilidade da presença de alguma rocha fresca ou descolorida formando uma malha descontínua
Completamente alterada	V ou A5	Todo material encontra-se decomposto e/ou desintegrado em solo. Estrutura e textura intactas.
Solo residual	VI ou A6	Toda rocha é alterada para solo. Estruturas e texturas originais destruídas; mudança no volume; solo não foi significativamente transportado

As unidades de materiais inconsolidados foram definidas a partir da análise de mapa litológico, trabalhos de fotointerpretação, caminhamento de campo, classificação

táctil-visual, ensaios de laboratório e outros dados disponíveis, de acordo com procedimentos de ZUQUETTE (1987).

Alguns dos conceitos utilizados encontram-se descritos a seguir:

- **Materiais residuais:** São produtos da alteração *in situ* das rochas, incluindo-se na área pesquisada os saprólitos.
- **Materiais retrabalhados:** Composto por materiais que sofreram processos de transporte e foram identificados na área: colúvios, tálus e aluviões.
 - ❖ Colúvio: Constituído por fragmentos de rochas de tamanhos variados, juntamente com os materiais inconsolidados, apresenta uma relativa homogeneidade quanto à textura, encontram-se posicionados em geral no meio e base de encostas.
 - ❖ Tálus: São depósitos de solo e fragmentos de rocha de dimensões variadas, formadas a partir do acúmulo de material escorregado das porções superiores das encostas. Além da heterogeneidade textural (blocos de rocha em matriz de solo), caracterizam-se por ocupar as porções de declividades mais suaves, geralmente, na parte basal das encostas (CUNHA et al., 1991).
 - ❖ Aluvião: Depósitos constituídos por seixos de tamanhos variados e materiais arenosos, siltosos e argilosos.

IV. 2.1.6.1. Ensaios Realizados:

Durante os trabalhos de campo foram descritos 134 pontos, sendo 15 selecionados como os mais representativos e amostrados nos diferentes níveis de alteração. Coletaram-se amostras indeformadas e deformadas, que foram utilizadas para a caracterização textural, índices físicos e caracterização da fração fina do solo pelo método de adsorção do azul de metileno (PEJON, 1992).

Os ensaios de caracterização textural foram realizados com e sem defloculantes (125 ml de hexametáfosfato de sódio, com concentração de 45,7 g/litro de água destilada), com o objetivo de comparar o comportamento dos materiais nas diferentes situações, tendo em vista que, na natureza, o material analisado não sofre a influência do defloculante. Os demais ensaios foram realizados sem defloculantes.

A) Caracterização textural:

A caracterização textural foi realizada por meio dos ensaios de granulometria conjunta (NOGUEIRA, 1995), em alguns casos utilizou-se a caracterização tátil-visual (NOGUEIRA, 1995).

B) Índices Físicos:

A massa específica dos sólidos (ρ_s), foi determinada seguindo a norma técnica da ABNT.

A massa específica seca de campo ($\rho_{d\text{campo}}$) e o índice de vazios natural (e_0) foram determinados a partir do "Método do Anel" (ZUQUETTE, 1987), onde uma amostra indeformada é retirada em um cilindro de PVC de 10 cm x 5 cm (diâmetro x altura) e devidamente conservada, para evitar a perda de umidade. No laboratório a amostra é pesada, assim como o anel e efetuada a seguinte relação:

$$\rho_{d\text{campo}} = \frac{M_s}{V};$$

Onde:

M_s = massa do solo

V = volume do anel.

A partir deste, são definidos o índice de vazios (e_0) e a umidade natural (w_0 %):

$$e_0 = \frac{\rho_s}{\rho_{d\text{campo}}} - 1;$$

Onde:

ρ_s = massa específica dos sólidos

$\rho_{d\text{campo}}$ = massa específica seca de campo.

$$w_0(\%) = \frac{w_2}{w_1} \cdot 100;$$

Onde:

w_1 = peso da amostra úmida

w_2 = peso da amostra seca (em estufa).

C) Método de adsorção do azul de metileno:

Consiste em um método alternativo de caracterização da fração fina dos materiais inconsolidados, segundo PEJON (1992). Este método permite a obtenção da capacidade de troca de cátions (CTC - cmol/kg de solo), da superfície específica (SE - m²/g) e dos parâmetros de quantidade de adsorção de azul de metileno pelo solo (VB - g/100 g de solo) e a quantidade de adsorção de azul de metileno pela fração argilosa (Acb - g/100g de argila), que possibilitam inferir os principais tipos de argilo-minerais presentes e o comportamento laterítico dos materiais.

Na Tabela 18 é apresentada a classificação da composição mineralógica da fração fina dos materiais, segundo PEJON (1992) e, na Figura 52, é apresentada a classificação da atividade das argilas adotadas, baseando-se no parâmetro Acb.

Tabela 18 - Composição mineralógica da fração fina dos materiais (PEJON, 1992)

ARGILA	CTC (meq/100g)
Caulinita	3 - 15
Haloísita (2H ₂ O)	5 - 10
Haloísita (4H ₂ O)	10 - 40
Ilita	10 - 40
Clorita	10 - 40
Atapulgita	20 - 30
Montmorilonita	80 - 150
Vermiculita	100 - 150

Figura 52 - Classificação da atividade das argilas adotadas (LAUTRIN, 1989 apud PEJON, 1992)

IV. 2.1.6.2. Descrição das unidades:

Será dada maior ênfase aos materiais inconsolidados desenvolvidos sobre as rochas migmatíticas e graníticas, que compõem as porções mais elevadas da área.

Foram definidas e delimitadas 12 unidades, sendo cada uma caracterizada por um perfil típico de alteração. Para cada horizonte, há informações sobre a gênese, textura, espessura média, características dos argilo-minerais, índices físicos, presença de minerais micáceos e ainda de blocos.

É importante destacar que as espessuras dos materiais inconsolidados podem estar subestimadas, uma vez que os valores estabelecidos foram obtidos por meio de observações diretas de campo.

A seguir, são apresentadas as principais características ou atributos levantados para cada unidade dos materiais inconsolidados, inclusive com as caracterizações texturais sem defloculante e com defloculante (hexametáfostato de sódio), com a caracterização dos índices físicos e a caracterização da fração fina do solo pelo método de adsorção do azul de metileno.

A. Unidade MI - 01:

Os sedimentos marinhos estão presentes nas regiões de manguezais, porque as marés depositam sedimentos finos, argilosos que se incorporam à matéria orgânica, dando origem à argila orgânica marinha de idade holocênica sobreposta a argilas silto-arenosas de origem flúvio-marinhas. São regiões alagadiças, onde a zona saturada aflora, e sujeitas a fluxo e refluxo de marés, o solo é extremamente salino e apresenta alta taxa de matéria orgânica (Figura 53). A espessura da camada superior é de no máximo 0,5 m e a camada inferior não foi definida.

A grande quantidade de matéria orgânica dificulta a coleta de amostras e influencia as análises, portanto, optou-se em definir a textura por classificação táctil-visual.

Figura 53 - Mangue, com sedimentos argilosos, ricos em matéria orgânica, sobrepostos a argilas silto-arenosas de origem flúvio-marinhas, vegetação típica

B. Unidade MI - 02:

É representada por aterros não compactados sobre os materiais da unidade MI-01 (sedimentos marinhos) para fins de construção de casa e ruas, e espessura em torno de meio metro, conforme a Figura 54. Esses aterros são formados por camada de seixos e blocos na base e solo na porção superior.

Também não foram desenvolvidos ensaios nesta unidade.

Figura 54 - Aterro não compactado nas áreas de mangues

Na Figura 55 é apresentado um desenho esquemático do perfil típico de aterros, onde pode ser observado, no detalhe, o aterro sobre o mangue. Pode-se verificar ainda que o nível do mar, em geral, encontra-se na altura da base do aterro e, com as variações das marés, pode atingir a sua superfície. Os problemas associados apresentam-se descritos no item IV.2.1.8.

Figura 55 - Aterro sobre mangues

C. Unidade MI - 03:

Esta unidade é caracterizada por colúvios, encontrados em depósitos de pé ou meia encosta, com tamanhos e formas diferentes, em geral, sobreposto a rochas graníticas ou migmatíticas. Apresentam espessura de até 2 metros, e geralmente contato abrupto com a rocha subjacente.

A rocha fonte pode ser o migmatito, granito, diabásio ou quartzito, que se encontram posicionados a montante do colúvio.

Podem apresentar diferentes texturas: arenosas, siltosas, mistura de diferentes frações, conforme o local e a rocha de origem.

Os ensaios foram realizados em materiais de origem migmatítica, onde se observaram partículas de diferentes dimensões, inclusive blocos (Figura 56).

Figura 56 - Material coluvionar com tamanhos diferentes, presença de blocos de migmatito e sulcos

Na camada mais superficial, verifica-se uma camada de solo orgânico e na camada inferior é de um material retrabalhado, com coloração vermelho-amarela.

Na Tabela 19, são apresentadas a caracterização textural e as curvas granulométricas que são representados nas Figuras 57 e 58.

Tabela 19 - Caracterização textural da unidade MI-03 (com e sem defloculante)

SUBUNIDADES	COM DEFLOCULANTE								SEM DEFLOCULANTE							
	% Pedregulho	%Areia				% Silte	% Argila	Textura	% Pedregulho	%Areia				% Silte	% Argila	Textura
		Fina	Média	Grossa	Total					Fina	Média	Grossa	Total			
1	3,8	5,0	7,4	8,8	21,2	11,5	63,5	Argila siltosa	4,5	10,6	11,0	9,5	31,1	64,4	0	Silte arenoso
2	0	0,9	0,7	0,6	22,0	64,7	33,1	Silte argiloso	0,01	0,9	0,5	0,9	1,3	97,6	0	Silte
Tipo Litológico Derivado: Migmatito

Figura 57 - Curvas granulométricas com defloculante (argila arenosa, com 21,2% de areia e 63,5% de argila) e sem defloculante (silte arenoso, com 64,4% de silte e 31,1% de areia) para representar os diferentes comportamentos do material analisado

Figura 58 - Curvas granulométricas com defloculante (silte argiloso com 64,7% de silte e 33,1% de argila) e sem defloculante (silte com 97,6% de silte) para representar os diferentes comportamentos do material analisado

Nas Tabelas 20 e 21, respectivamente, são apresentados os resultados obtidos

na caracterização dos índices físicos e da fração fina do solo pelo método de azul de metileno.

Tabela 20 - Caracterização dos índices físicos da unidade MI-03

Subunidade	ÍNDICES FÍSICOS					
	$\rho_{d\text{ campo}}(\text{g/cm}^3)$	$W_0(\%)_{\text{nat.}}$	$\rho_{s0}(\text{g/cm}^3)$	e_0	$n_0(\%)$	$Sr_0(\%)$
1	1,329	26,79	2,818	1,12	0,53	67,37
2	1,480	24,37	2,772	1,03	0,51	71,26

Tabela 21 - Caracterização da fração fina do solo pelo método de adsorção do azul de metileno da Unidade MI-03

Subunidade	CTC_{solo} (cmol/kg)	CTC_{argila} (cmol/kg)	SE	VB (g/100g de solo seco)	Acb (g/100g de argila)	Atividade das argilas
1	5	7,87	38,77	1,58	2,5	Inativa
2	7,4	22,35	57,57	2,35	7,11	Normal

D. Unidade MI - 04:

Unidade constituída por material aluvionar originado da desagregação das rochas e solos que se encontram nas proximidades. Ele apresenta diferentes granulometrias: desde pedregulhos até materiais argilosos, com matéria orgânica. Ocorre nos canais de drenagem, apresenta espessuras de até dois metros e está associados a declividades inferiores a 2%.

A amostra foi coletada em um local onde estava sendo escavado um tanque para peixes (ponto 113). O material amostrado foi utilizado para a caracterização do $\rho_{d\text{ campo}}$ (0,904 g/cm³) e $w_{0\text{ nat}}$ (46,21%).

Na Figura 59 é possível observar o perfil vertical de uma das margens de um rio da região, em cujo topo se pode verificar uma camada rica em matéria orgânica; no meio, porções de areia e argila; e na base, um nível de cascalhos e blocos de migmatitos alterados.

Figura 59 - Perfil observado em uma drenagem

E. Unidade MI - 05:

Corresponde aos tálus, que são materiais transportados com grande heterogeneidade granulométrica, contendo desde argilas até matacões. Devido a essa característica, não foram coletadas amostras para realizar ensaios. Na área de estudo, verificou-se a presença de tálus nas seguintes litologias: (A) migmatitos (Figura 60); (B) granitos (Figura 61) e (C) diabásios (Figura 62).

Figura 60 - Tálus constituído por materiais de tamanhos e formas diversas, incluindo matacões. A rocha original é o migmatito (MI - 05 A)

Figura 61 - Tálus constituído por materiais de origem granítica, com grande variação de formas e tamanhos. Pode ser observada uma grande concentração de matacões (MI - 05 B)

Figura 62 - Tálus constituído de material de diferentes granulometrias (argilas a matacões) de diabásio (MI - 05 C)

F. Unidade MI - 06:

É constituída por sedimentos de textura predominante de areia silto-argilosa, em áreas com declividades inferiores a 2% (Figura 63). O material pertencente a esta unidade, freqüentemente, apresenta-se associado a regiões alagadiças, que sofrem influência de marés.

Figura 63 - Região característica de sedimento de baía

G. Unidade MI - 07:

Esta unidade é representada por material residual de quartzito, altamente fraturado. Sobre o topo desse material observa-se uma camada pouco espessa (aproximadamente 0,5 metros) de solo orgânico, com textura areia siltosa.

A amostra ensaiada foi coletada no ponto 127 e corresponde ao material residual do perfil de alteração (Figura 64).

Figura 64 - Quartzito altamente fraturado e lavra desativada

Na Tabela 22, são apresentadas a caracterização textural e as curvas granulométricas típicas na Figura 65.

Tabela 22 - Caracterização textural da unidade MI-07 (com e sem defloculante)

COM DEFLOCULANTE								SEM DEFLOCULANTE							
% Pedregulho	%Areia				% Silte	% Argila	Textura	% Pedregulho	%Areia				% Silte	% Argila	Textura
	Fina	Média	Grossa	Total					Fina	Média	Grossa	Total			
8,0	14,0	20,1	22,9	57,0	27,0	8	Areia siltosa	6,8	08	21	23,2	52,2	41	0	Areia siltosa
Tipo Litológico Derivado: Quartzito															

Curva de Distribuição Granulométrica - MI-07

Figura 65 - Curvas granulométricas com defloculante (areia siltosa, com 57% de areia e 27% de silte) e sem defloculante (areia siltosa, com 52,2% de areia e 41% de silte) para representar os diferentes comportamentos do material analisado

A massa específica dos sólidos obtido nos ensaios equivale a 2,614 g/cm³. Na Tabela 23, são apresentados os resultados obtidos na caracterização da fração fina do solo pelo método do azul de metileno, respectivamente.

Tabela 23 - Caracterização da fração fina do solo pelo método de adsorção do azul de metileno da Unidade MI-07

CTC _{solo} (cmol/kg)	CTC _{argila} (cmol/kg)	SE	VB (g/100g de solo seco)	Acb (g/100g de argila)	Atividade das argilas
0,8	10	6,62	0,27	3,38	Pouco ativa

H. Unidade MI - 08:

O perfil apresenta três níveis distintos de materiais inconsolidados, originado do granito, conforme pode ser observado na Figura 66. Na camada mais superficial (subunidade 1) verifica-se uma camada de solo orgânico, com coloração marrom, na camada intermediária (subunidade 2) há um material residual, com coloração vermelho-amarela e com a espessura entre 2 e 10 metros; e na camada basal (subunidade 3) identifica-se um material moderadamente alterado (Classe III), saprolítico, com presença de minerais micáceos e coloração rosada.

Na unidade MI - 08, apresenta-se uma lavra desativada (ponto 01), mas do qual, eventualmente, ainda são retirados materiais para aterros.

Figura 66 - Perfil de alteração do granito, onde se podem observar, da base para o topo, a camada de material orgânico, o material residual e o saprolítico

Na Tabela 24, são apresentados os resultados da caracterização textural nas três subunidades, e as curvas granulométricas resultantes estão representadas nas Figuras 67, 68 e 69, respectivamente.

Tabela 24 - Caracterização textural da unidade MI-08 (com e sem defloculante)

SUBUNIDADES	COM DEFLOCULANTE								SEM DEFLOCULANTE							
	% Pedregulho	%Areia				% Silte	% Argila	Textura	% Pedregulho	%Areia				% Silte	% Argila	Textura
		Fina	Média	Grossa	Total					Fina	Média	Grossa	Total			
1	1,0	4,5	7,5	10,5	22,5	12,8	63,7	Argila arenosa	0,7	06	11	14,3	31,3	68	0	Silte arenoso
2	0	40,0	9,4	0,6	50,0	45,0	5,0	Areia siltosa	0,3	17,5	22,4	4,3	44,2	55,5	0	Silte arenoso
3	0	18,5	15,5	17,5	51,5	40,5	8,0	Areia siltosa	9,1	10,4	11	20,9	42,3	49,4	0	Silte arenoso

Tipo Litológico Derivado: Granito

Curva de Distribuição Granulométrica - MI-08 (1)

Figura 67 - Curvas granulométricas com defloculante (argila arenosa, com 63,7% de argila e 22,5% de areia) e sem defloculante (silte arenoso, com 68% de silte e 31,3 de areia), de solo orgânico (subunidade 1)

Figura 68 - Curvas granulométricas com defloculante (areia siltosa, com 50% de areia e 45% de silte) e sem defloculante (silte arenoso, com 55,5% de silte e 44,2% de areia (subunidade 2)

Figura 69 - Curvas granulométricas com defloculante (areia siltosa, com 51,5% de areia e 40,5% de silte) e sem defloculante (silte arenoso, com 45,4% de silte e 42,3% de areia) (subunidade 3)

Nas Tabelas 25 e 26, são representados os resultados obtidos nos ensaios de índices físicos e da fração fina do solo pelo método de adsorção do azul de metileno.

Tabela 25 - Caracterização dos índices físicos da unidade MI-08

Subunidade	$\rho_{d\text{ campo}}(\text{g/cm}^3)$	$W_0(\%)_{\text{nat.}}$	$\rho_{s0}(\text{g/cm}^3)$	e_0	$n_0(\%)$	$Sr_0(\%)$
1	1,277	29,05	2,829	1,22	0,55	67,58
2	1,487	19,71	2,600	0,75	0,43	68,44
3	1,408	22,26	2,659	0,89	0,47	66,58

Tabela 26 - Caracterização da fração fina do solo pelo método de adsorção do azul de metileno da Unidade MI-08

Subunidade	$CTC_{\text{solo}}(\text{cmol/kg})$	$CTC_{\text{argila}}(\text{cmol/kg})$	SE	VB (g/100g de solo seco)	Acb (g/100g de argila)	Atividade das argilas
1	4,2	6,89	32,55	1,33	2,09	Inativa
2	1,6	20	12,43	0,51	6,35	Normal
3	1,3	26	10,22	0,42	8,35	Ativa

Unidade MI - 09:

O material residual (Classe IV), com grande concentração de blocos e matacões em superfície. Nele se observa a presença de minerais micáceos (Figura 70). A espessura de camada orgânica é pequena (inferior a 0,5 metro).

As amostras para a realização dos ensaios foram coletadas no ponto 19 e 19 a, no morro do Bom Brinquedo, onde predominam rochas graníticas, e declividade de 10-45%.

Figura 70 - Perfil de alteração representante da unidade MI - 09, onde se pode observar que o material predominante é o saprólito

Na Tabela 27, encontram-se os resultados texturais, e nas Figuras 71 e 72 as respectivas curvas granulométricas.

Tabela 27 - Caracterização textural da unidade MI-09 (com e sem defloculante)

SUBUNIDADES	COM DEFLOCULANTE								SEM DEFLOCULANTE							
	% Pedregulho	%Areia				% Silte	% Argila	Textura	% Pedregulho	%Areia				% Silte	% Argila	Textura
		Fina	Média	Grossa	Total					Fina	Média	Grossa	Total			
1	11,3	7,2	14	15,7	36,9	11,8	40,0	Argila arenosa	9,3	07	13,0	15,7	35,7	55,0	0	Silte arenoso
2	15	7	10,4	12,6	30,0	38	17,0	Silte arenoso	15	09	10	16	35	50	0	Silte arenoso

Tipo Litológico Derivado: Granito

Curva de Distribuição Granulométrica - MI-09(1)

Figura 71 - Curvas granulométricas com defloculante (argila arenosa, com 40% de argila e 36,9% de areia) e sem defloculante (silte arenoso, com 55% de silte e 35,7% de areia). Este ensaio corresponde ao ponto 19 (subunidade 1)

Figura 72 - Curvas granulométricas com defloculante (silte arenosa, com 38% de silte e 30% de areia) e sem defloculante (silte arenoso, com 50% de silte e 35% de areia). Ensaio correspondente ao ponto 19 a (subunidade 2)

Nas Tabelas 28 e 29, encontram-se os resultados dos ensaios de índices físicos e da fração fina do solo pelo método de adsorção do azul de metileno.

Tabela 28 - Caracterização dos índices físicos da unidade MI-09

Subunidade	$\rho_{d \text{ campo}} (\text{g/cm}^3)$	$W_0 (\%)_{\text{nat.}}$	$\rho_{s0} (\text{g/cm}^3)$	e_0	$n_0 (\%)$	$Sr_0 (\%)$
1	1,240	41,74	2,775	1,95	0,66	59,41
2	1,325	19,34	2,717	1,05	0,51	50,03

Tabela 29 - Caracterização da fração fina do solo pelo método de adsorção do azul de metileno da Unidade MI-09

Subunidade	$CTC_{\text{solo}} (\text{cmol/kg})$	$CTC_{\text{argila}} (\text{cmol/kg})$	SE	VB (g/100g de solo seco)	Acb (g/100g de argila)	Atividade das argilas
1	3,1	7,75	24,15	0,99	2,47	Inativa
2	3,5	20,58	27,34	1,12	6,57	Normal

J. Unidade MI - 10:

Caracteriza-se por ocorrer em relevo montanhoso, com amplitude de aproximadamente 300 metros e ligeiro predomínio de declividades altas e muito altas. Compõem-se de materiais residuais de migmatito.

O material residual no topo (subunidade 1) apresenta coloração vermelho-amarela e com alteração tipo Classe VI; na camada basal (subunidade 2) há um material saprolítico, classificado como Classe III.

O material analisado está representado quanto à textura, na Tabela 30; e as respectivas curvas granulométricas, nas Figuras 73 e 74.

Tabela 30 - Caracterização textural da unidade MI-10 (com e sem defloculante)

SUBUNIDADES	COM DEFLOCULANTE								SEM DEFLOCULANTE							
	% Pedregulho	%Areia				% Silte	% Argila	Textura	% Pedregulho	%Areia				% Silte	% Argila	Textura
		Fina	Média	Grossa	Total					Fina	Média	Grossa	Total			
1	2,3	10,5	9,6	15,6	35,7	44,5	17,5	Silte arenoso	2,7	9,8	10,8	14,5	35,1	62,2	0	Silte arenoso
2	5,0	18,6	12,0	18,0	48,6	45,4	1,0	Areia siltosa	06	25	11,5	17,5	54	40	0	Areia siltosa
Tipo Litológico Derivado: Migmatito

Figura 73 - Curvas granulométricas com defloculante (silte arenoso, com 44,5% de silte e 35,72% de areia) e sem defloculante (silte arenoso, com 62,2% de silte e 35,1% de areia). Ensaio correspondente ao ponto 48 e camada de material residual. (subunidade 1)

Figura 74 - Curvas granulométricas com defloculante (areia siltosa, com 48,6% de areia e 45,4% de silte) e sem defloculante (areia siltosa, com 54% de areia e 40,1% de silte). Ensaio correspondente ao ponto 48 e à camada moderadamente alterada (Classe I)

Nas Tabelas 31 e 32 estão representados os resultados obtidos nos ensaios de índices físicos e da fração fina do solo pelo método de adsorção do azul de metileno.

Tabela 31 - Caracterização dos índices físicos da unidade MI-09

Subunidade	$\rho_{d \text{ campo}} (\text{g/cm}^3)$	$W_o (\%)_{nat.}$	$\rho_{s0} (\text{g/cm}^3)$	e_o	$n_o (\%)$	$Sr_o (\%)$
1	1,493	20,91	2,680	0,79	0,44	70,53
2	1,441	18,97	2,782	0,93	0,48	56,69

Tabela 32 - Caracterização da fração fina do solo pelo método de adsorção do azul de metileno da Unidade MI-09

Subunidade	$CTC_{\text{solo}} (\text{cmol/kg})$	$CTC_{\text{argila}} (\text{cmol/kg})$	SE	VB (g/100g de solo seco)	Acb (g/100g de argila)	Atividade das argilas
1	3,4	19,42	26,88	1,10	6,28	Normal
2	1,2*	120*	9,37*	0,38*	38,28*	-

* - fração argila igual a 1% (com defloculante) não é apresentada resultados favoráveis

L. Unidade MI - 11:

Caracteriza-se por estar associada a relevo, de ondulado a fortemente ondulado, morrotes com amplitudes menores que 100 metros. A rocha original é o migmatito (Figura 75) e, em alguns pontos, observa-se material xistoso, em virtude da influência

estrutural na região.

Figura 75 - Solo residual do migmatito 2

A camada superior (subunidade 1) é caracterizada pela presença de matéria orgânica, com coloração marrom e espessura inferior a um metro.

A camada intermediária (subunidade 2) caracteriza-se por um material residual, com coloração vermelho-amarela e completamente alterado (Classe V).

Na camada inferior (subunidade 3), verifica-se material saprolítico, altamente alterado (IV), com resquícios de rochas e coloração mista entre vermelho, amarelo e branco. A porção branca (correspondente ao ponto 09) foi analisada e está representada como subunidade 3 A .

Na Tabela 33 e nas Figuras 76, 77, 78 e 79, encontram-se os resultados dos ensaios de granulometria.

Tabela 33 - Caracterização textural da unidade MI-11 (com e sem defloculante)

SUBUNIDADES	COM DEFLOCULANTE								SEM DEFLOCULANTE							
	% Pedregulho	%Areia				% Silte	% Argila	Textura	% Pedregulho	%Areia				% Silte	% Argila	Textura
		Fina	Média	Grossa	Total					Fina	Média	Grossa	Total			
1	0	9,5	4,2	1,3	15,0	58,8	26,2	Silte argiloso	0	8,2	4,8	1,8	14,8	85,2	0	Silte arenoso
2	3,2	11,5	7,6	5,2	24,3	47,5	25,0	Silte argiloso	0	16,4	5,1	4,9	26,4	73,6	0	Silte arenoso
2	0,8	12	4,7	1,5	18,2	16	65,0	Argila arenosa	1,4	9,5	6,6	2,0	18,1	80,5	0	Silte arenoso
2	1,0	9,7	5,0	1,3	16,0	20,5	62,5	Argila siltosa	0	08	9,2	7,8	25	75	0	Silte arenoso
3	0,7	17	8,1	9,2	34,3	47,5	17,5	Silte arenoso	1,5	12,7	7,8	10,8	31,3	67,2	0	Silte arenoso
3	0,3	11,7	8	4,7	24,4	46,3	29,0	Silte argiloso	0	8,9	06	04	18,9	81,1	0	Silte arenoso
3 A	0	8,5	8,2	1,8	18,5	54,8	26,7	Silte argiloso	0	06	09	05	20	80	0	Silte arenoso

Tipo Litológico Derivado: Migmatito

Curva de Distribuição Granulométrica - MI-11 (1)

Figura 76 - Curvas granulométricas com defloculante (silte argiloso, com 58,8% de silte e 26,2% de argila) e sem defloculante (silte arenoso, com 85,2% de silte e 14,8% de areia).
Corresponde ao topo do ponto 08 (subunidade 1)

*Figura 77 - Curvas granulométricas com defloculante (silte argiloso, com 47,5% de silte e 25% de argila) e sem defloculante (silte arenoso, com 73,6% de silte e 26,4% de areia).
Ensaio correspondente ao ponto 08 (subunidade 1)*

*Figura 78 - Curvas granulométricas com defloculante (silte argiloso, com 46,3% de silte e 29,0% de argila) e sem defloculante (silte arenoso, com 81,1% de silte e 18,9% de areia),
(subunidade 3)*

Figura 79 - Curvas granulométricas com defloculante (silte argiloso, com 54,8% de silte e 26,7% de argila) e sem defloculante (silte arenoso, com 80% de silte e 20% de areia). Ensaio correspondente ao ponto 09 (nível basal) (subunidade 3 A)

Nas Tabelas 34 e 35, estão representados os resultados obtidos nos ensaios de índices físicos e da fração fina do solo pelo método de adsorção do azul de metileno.

Tabela 34 - Caracterização dos índices físicos da unidade MI-11

Subunidade	$\rho_{d\text{ campo}} (\text{g/cm}^3)$	$W_o (\%)_{\text{nat.}}$	$\rho_{s0} (\text{g/cm}^3)$	e_o	$n_o (\%)$	$Sr_o (\%)$
1	1,079	37,8	2,598	0,83	0,45	89,77
2	1,305	27,17	2,890	1,21	0,55	64,62
2	1,145	34,64	2,552	0,85	0,46	86,26
2	1,447	22,84	2,5594	0,54	0,35	94,58
3	1,268	28,63	2,683	1,12	0,53	68,88
3	1,015	36,83	2,887	1,84	0,65	57,64
3 A	1,412	25,53	2,793	0,98	0,49	72,93

Tabela 35 - Caracterização da fração fina do solo pelo método de adsorção do azul de metileno da Unidade MI-11

Subunidade	$CTC_{\text{solo}} (\text{cmol/kg})$	$CTC_{\text{argila}} (\text{cmol/kg})$	SE	VB (g/100g de solo seco)	Acb (g/100g de argila)	Atividade das argilas
1	3,7	14,12	29,1	1,19	4,53	Pouco ativa
2	3,2	12,8	25,24	1,03	4,13	Pouco ativa
2	3,9	6	30,90	1,26	1,54	Inativa
2	5,4	8,64	42,57	1,74	2,78	Inativa
3	2,3	13,14	18,18	0,74	4,25	Pouco ativa
3	3,9	13,44	30,62	1,25	4,32	Pouco ativa
3 A	4,9	18,35	38,65	1,50	5,92	Normal

M. Unidade MI - 12:

Constituída pelo material derivado do diabásio, associado à declividade de 10 a 30%, com coloração vermelha (Figura 80) e espessura variando entre 2 e 10 metros. Quanto ao grau de alteração, é classificado na Classe V, e apresenta blocos com alteração esferoidal.

O material analisado está representado, quanto à textura, na Tabela 36; e as respectivas curvas granulométricas, nas Figuras 81.

Figura 80 - Solo residual do diabásio, com presença de blocos

Tabela 36 - Caracterização textural da unidade MI-12 (com e sem defloculante)

COM DEFLOCULANTE								SEM DEFLOCULANTE							
% Pedregulho	%Areia				% Silte	% Argila	Textura	% Pedregulho	%Areia				% Silte	% Argila	Textura
	Fina	Média	Grossa	Total					Fina	Média	Grossa	Total			
0	9,5	5,2	1,3	16,0	26,6	57,4	Argila siltosa	0	09	11	06	26	74	0	Silte arenoso
Tipo Litológico Derivado: Diabásio

*Figura 81 - Curvas granulométricas com defloculante (argila siltosa, com 57,4% de argila e 26,6% de silte) e sem defloculante (silte arenoso, com 74% de silte e 26% de areia).
Corresponde ao ponto 11*

Nas Tabelas 37 e 38, estão resultados obtidos nos ensaios de índices físicos e da fração fina do solo pelo método de adsorção do azul de metileno.

Tabela 37 - Caracterização dos índices físicos da unidade MI-12

$\rho_{d \text{ campo}} (\text{g/cm}^3)$	$W_0 (\%)_{\text{nat.}}$	$\rho_{s0} (\text{g/cm}^3)$	e_0	$n_0 (\%)$	$Sr_0 (\%)$
1,240	32,78	3,068	1,48	0,6	68,18

Tabela 38 - Caracterização da fração fina do solo pelo método de adsorção do azul de metileno da Unidade MI-12

$CTC_{\text{solo}} (\text{cmol/kg})$	$CTC_{\text{argila}} (\text{cmol/kg})$	SE	VB (g/100g de solo seco)	Acb (g/100g de argila)	Atividade das argilas
5,3	9,23	41,74	1,71	2,97	Inativa

IV.2.1.8. CARTA DE USO E OCUPAÇÃO ATUAL DO SOLO (ANEXO 07)

As avaliações dos tipos de uso do solo foram baseadas em fotos aéreas e trabalhos de campo, possibilitando o levantamento da situação atual da ocupação na região de Antonina. As formas de uso do solo na área foram definidas como:

- Área urbana
 - ❖ Central
 - ❖ Periférica
 - ❖ Rural
- Área portuária
- Formação vegetal sob influência marinha e/ou flúvio-marinha (mangue)
- Vegetação de grande porte
- Vegetação rasteira

Também foram indicados pontos de ocorrência de sítios arqueológicos (sambaquis), depósitos de lixo (atual e desativado) e lavras (em atividade e desativadas).

A área urbana da cidade de Antonina pode ser observada na Figura 82. Os sambaquis são compostos por valvas de ostras (*Ostra* sp.), cacos de cerâmica e ossos (Figura 83).

Figura 82 - Vista parcial da área urbana (mirante do Morro do Bom Brinquedo)

Figura 83 - Sambaqui, constituído por conchas, cerâmicas e ossos (Margens do Rio Nhundiaquara)

A maior parte da área é composta por pequenas propriedades, onde a agricultura de subsistência, como o plantio do milho, feijão e a batata representa a principal atividade produtiva; também há criação de peixes e camarões, a prática pastoril. Outra atividade importante está relacionada com a exploração dos mangues (caranguejo e mariscos).

Na região de Antonina, a insuficiência de recursos humanos e financeiros, e a constante especulação imobiliária são as principais causas da ocupação territorial desordenada.

Ocupação de mangues:

Situados na faixa intermediária entre a terra firme e o mar, os manguezais ocupam regiões que são inundadas na maré cheia. Apresentam uma complexa cadeia alimentar que inclui algas, caranguejos, siris, mexilhões, camarões e peixes, que são explorados pela população local. Os mangues são também uma espécie de "filtro" pelo qual os nutrientes carregados pelos rios, marés e chuvas são distribuídos sobre o solo e incorporados aos sedimentos ou absorvidos pelo metabolismo vegetal.

Essas áreas dos manguezais são constituídas por argilas arenosas, com matéria orgânica em proporções variadas.

A ocupação urbana em áreas de manguezais, em Antonina, ainda que restrita a setores isolados constitui situação merecedora de atenção por parte das autoridades e equipes locais de planejamento. Nesses locais, é comum se verificar a presença de casas

construídas nas áreas de mangue, na maioria das vezes sobre aterros em áreas alagadiças. Dependendo da espessura local dos sedimentos dos mangues e o tipo e porte da "construção" realizada, poderão ocorrer significativos recalques em função de processos de adensamento sobre os sedimentos finos, trazendo prejuízo principalmente nas épocas de altos índices pluviométricos. Também se observa que muitas famílias adaptaram-se ao fluxo das marés, elevando suas casas.

Na Figura 84, tem-se um exemplo de aterro realizado sobre o mangue

Figura 84 - Exemplo de aterro sobre mangue

Na Figura 85, observa-se uma casa construída sobre o aterro. Parte da sua base está construída diretamente sobre o mangue; na Figura 86 é observada a mesma casa, porém de outro ângulo, do qual se pode verificar que ela apresenta uma ligeira inclinação na parede junto ao muro.

O esgoto gerado por estas construções costuma ser eliminado diretamente sobre o mangue (Figura 87) e, conseqüentemente, flui para a baía.

Figura 85 - Visão lateral de uma casa construída com parte de suas fundações diretamente no mangue e outra parte em aterro sobre o mangue

Figura 86 - Casa apresentada na figura anterior vista de frente (observar inclinação da parede junto ao muro)

Figura 87 - Esgoto lançado diretamente sobre o mangue

Ocupação de Encostas:

A ocupação de encostas ocorre principalmente junto ao Morro do Bom Brinquedo e da Caixa d'água (centro de Antonina), onde o processo de ocupação desordenada evolui de maneira acelerada. Também é comum a construção de estradas no sopé das encostas, recortando materiais instáveis (colúvios).

Desmatamento:

O desmatamento favorece o aparecimento de processos erosivos e expõe extensas áreas de solos residuais susceptíveis a fenômenos de deslizamentos e queda de blocos e matacões.

É comum ocorrer desmatamentos para a construção de casas e plantio de culturas de subsistência.

Depósito de Lixo:

O atual depósito de lixo de Antonina, localizado no perímetro urbano da cidade, encontra-se em situação crítica, instalado em área inadequada e sem qualquer tipo de impermeabilização ou tratamento, constituindo-se em um agente potencial para a degradação ambiental e do bem-estar da população, uma vez que afeta indiretamente a baía de Antonina (Figura 88, 89 e 90). O antigo depósito foi desativado por estar localizado em uma região com diversas casas próximas e por não apresentar nenhum tipo de tratamento.

Figura 88 - Localização de depósito de lixo atual ("lixão") em encosta de um morro com intensa vegetação ao redor

Figura 89 - Depósito de lixo ("Lixão"), presença de vetores e contaminação de drenagem

Figura 90 - Presença de água contaminada por chorume em drenagem próxima ao depósito de lixo

IV.2.1.9. MAPA DE FEIÇÕES DE MOVIMENTOS DE MASSA GRAVITACIONAIS E PROCESSOS EROSIVOS

Este documento foi obtido por meio de fotointerpretação, nas escalas 1:25.000 de 1980 e 1:10.000 de 1996, e por trabalhos de campo. Optou-se por não representar no mapa as áreas sujeitas a inundações, porém estas se encontram na carta de predisposição a inundações.

O trabalho foi executado em várias etapas, intercalando trabalhos de campo com trabalhos de escritório. Em uma primeira etapa, foram identificados e localizados, em fotografias aéreas, os pontos que indicassem a possível existência de

movimentos de massa gravitacionais, de feições erosivas e de áreas sujeitas a inundações.

As feições foram representadas pontualmente em virtude das dificuldades de caracterização devido à vegetação e ocupação, assim como a grande quantidade de blocos nas encostas e em drenagens.

Não foram registradas ocorrências junto ao corpo de bombeiros e a defesa civil, apenas relatos de moradores referentes aos níveis de marés e escorregamentos.

Foram identificadas as seguintes feições de movimentos de massa gravitacionais: escorregamentos e rolamentos de blocos (matacões); de processos erosivos, tais como sulcos, ravinas e voçorocas; e áreas sujeitas a inundações costeiras e fluviais.

O número total de feições caracterizadas foi 85, sendo: 64 feições de rolamentos de blocos (matacões) (75,29%), 08 feições de escorregamentos (9,41%), 05 feições de concentração de sulcos (5,88%), 07 feições de ravinamentos (8,23%) e 01 feição de voçorocas (1,17%), apresentados na Tabela 39. A área selecionada como sujeita a inundação fluvial e/ou costeira é de 23,72 km². (33,78% da área total estudada).

Tabela 39 - Resultado geral do cadastro das feições

TIPO DE FEIÇÃO	QUANTIDADE DE FEIÇÕES	% DE FEIÇÕES
PROCESSOS EROSIVOS		
Concentração de sulcos	05	5,88
Ravinamentos	07	8,23
Voçorocas	01	1,17
MOVIMENTOS DE MASSA GRAVITACIONAIS		
Rolamentos de blocos (matacões)	64	75,29
Escorregamento	08	9,41

Utilizando-se dados de caracterização do meio físico, cada feição cadastrada foi analisada com base nos seguintes aspectos: litologia, materiais inconsolidados, classe de declividade e o tipo do uso do solo na área. Na Tabela 40, apresenta-se o cadastro das feições de movimentos gravitacionais e erosivos.

A localização foi obtida por meio de GPS, associado a confirmações no mapa base.

Tabela 40 - Cadastro de feições de movimento de massa e erosivas

Feição	Localização	Tipo de feição	Litologia	Materiais Inconsolidados	Classes de declividade	Uso do solo
1	729860/7185923	Rolamento	Granito	MI - 09	30-45%	Lavra desativada
2	729607/7180608	Rolamento	Granito	MI - 09	45-75%	Urbana
3	730072/7186411	Rolamento	Granito	MI - 09	45-75%	Urbana
4	729773/7186269	Rolamento	Granito	MI - 09	30-75%	Urbana
5	729725/7185962	Rolamento	Granito	MI - 09	30-75%	Urbana
6	729837/7185520	Rolamento	Granito	MI - 09	45-75%	Urbana
7	729830/7185511	Rolamento	Granito	MI - 09	45-75%	Urbana
8	729446/7185577	Rolamento	Granito	MI - 09	45-75%	Urbana
9	728759/7186408	Sulcos	Migmatito	MI - 11	10-30%	Lavra desativada
10	728798/7185582	Sulcos	Migmatito	MI - 11	30-45%	Lavra desativada
11	726981/7185103	Escorregamento	Migmatito	MI - 11	10-30%	Periferia
12	727049/7185007	Escorregamento	Migmatito	MI - 11	30-45%	Periferia
13	726315/7184332	Sulcos	Migmatito	MI - 11	10-30%	Periferia
14	724265/7184940	Sulcos e ravinas	Migmatito	MI - 11	10-30%	Rural
15	724901/7183741	Ravinas	Migmatito	MI - 11	10-30%	Rural
16	724862/7183808	Ravinas	Migmatito	MI - 11	10-30%	Rural
17	724920/7183819	Ravinas	Migmatito	MI - 11	10-30%	Rural
18	726708/7184737	Sulcos	Migmatito	MI - 11	10-45%	Periferia
19	726565/7184479	Escorregamento	Migmatito	MI - 11	10-30%	Periferia
20	727179/7184892	Sulcos e ravinas	Migmatito	MI - 11	10-45%	Periferia
21	724914/7181278	Sulcos e ravinas	Migmatito	MI - 11	10-30%	Rural
22	728994/7183158	Escorregamento	Diabásio	MI - 12	30-75%	Periferia
23	729066/7184764	Escorregamento	Diabásio	MI - 12	45-75%	Urbana
24	729147/7184597	Escorregamento	Migmatito	MI - 11	30-45%	Urbana
25	731302/7184056	Ravinas/Voçorocas	Granito	MI - 08	30-75%	Lavra desativada
26	730867/7183521	Rolamento	Diabásio	MI - 12	30-75%	Periferia
27	731357/7183651	Rolamento	Diabásio	MI - 12	30-45%	Periferia
28	731870/7181513	Escorregamento	Migmatito	MI - 11	10-30%	Rural
29	732486/7181518	Sulcos	Migmatito	MI - 10	10-30%	Retirada de terra
30	732653/7180109	Rolamento	Migmatito	MI - 10	10-30%	Rural
31	732734/7180213	Sulcos e ravinas	Migmatito	MI - 10	30-45%	Rural
32	729464/7184900	Rolamento	Migmatito	MI - 10	10-30%	Urbana
33	725218/7186134	Escorregamento	Migmatito	MI - 11	10-30%	Rural
34	726725/718485	Rolamento	Migmatito	MI - 11	10-30%	Rural
35	729557/7186798	Rolamento	Granito	MI - 09	30-45%	Urbana
36	729370/7186476	Rolamento	Granito	MI - 09	10-30%	Urbana
37	729682/7186430	Rolamento	Granito	MI - 09	45-75%	Urbana
38	729881/7186332	Rolamento	Granito	MI - 09	45-75%	Urbana
39	729922/7185985	Rolamento	Granito	MI - 09	45-75%	Urbana

Tabela 40 - Cadastro de feições de movimento de massa e erosivas (continuação)

Feição	Localização	Tipo de feição	Litologia	Materiais Inconsolidados	Classes de declividade	Uso do solo
40	729962/7185846	Rolamento	Granito	MI - 09	75-100%	Urbana
41	729133/7185494	Rolamento	Migmatito	MI - 11	30-45%	Urbana
42	72824/7185278	Rolamento	Migmatito	MI - 11	10-30%	Urbana
43	729262/7185230	Rolamento	Migmatito	MI - 10	45-75%	Urbana
44	729041/7184737	Rolamento	Migmatito	MI - 10	45-75%	Urbana
45	728553/7184480	Rolamento	Migmatito	MI - 10	30-45%	Periferia
46	728088/718317	Rolamento	Migmatito	MI - 10	10-30%	Periferia
47	729759/7184376	Rolamento	Migmatito	MI - 10	10-30%	Periferia
48	730322/7184376	Rolamento	Migmatito	MI - 10	10-30%	Mata
49	730322/7184297	Rolamento	Migmatito	MI - 10	30-45%	Mata
50	727828/7183325	Rolamento	Diabásio	MI - 12	<02%	Rural
51	729113/7183040	Rolamento	Migmatito	MI - 10	02-10%	Rural
52	727702/7182605	Rolamento	Diabásio	MI - 12	10-30%	Rural
53	728298/7182666	Rolamento	Migmatito	MI - 11	30-45%	Urbana
54	728501/7182674	Rolamento	Migmatito	MI - 11	10-30%	Rural
55	729654/7182688	Rolamento	Migmatito	MI - 10	10-30%	Rural
56	728926/7182178	Rolamento	Migmatito	MI - 10	30-45%	Rural
57	727927/7181636	Rolamento	Quartzito	MI - 07	<02%	Rural
58	728350/7180068	Rolamento	Diabásio	MI - 12	<02%	Rural
59	730495/7178845	Rolamento	Migmatito	MI - 10	45-75%	Mata
60	730634/7178735	Rolamento	Migmatito	MI - 10	45-75%	Mata
61	731006/7178877	Rolamento	Migmatito	MI - 10	45-75%	Mata
62	731672/7179816	Rolamento	Migmatito	MI - 10	30-45%	Rural
63	731811/7179731	Rolamento	Migmatito	MI - 10	45-75%	Rural
64	732783/7180307	Rolamento	Migmatito	MI - 10	75-100%	Rural
65	732173/7181073	Rolamento	Migmatito	MI - 10	30-45%	Rural
66	731370/7182007	Rolamento	Migmatito	MI - 10	75-100%	Porto
67	731816/7183781	Rolamento	Migmatito	MI - 10	45-75%	Porto
68	726981/7184329	Rolamento	Migmatito	MI - 10	10-30%	Rural
69	726984/7184237	Rolamento	Diabásio	MI - 12	10-30%	Rural
70	726709/7183653	Rolamento	Migmatito	MI - 10	10-30%	Rural
71	726424/7183355	Rolamento	Diabásio	MI - 12	10-30%	Rural
72	726901/7183066	Rolamento	Diabásio	MI - 12	30-45%	Rural
73	726938/7182329	Rolamento	Migmatito	MI - 11	10-30%	Lixão
74	727105/7181976	Rolamento	Migmatito	MI - 11	30-45%	Lixão
75	725677/7180014	Rolamento	Migmatito	MI - 11	30-45%	Rural
76	725450/7181019	Rolamento	Diabásio	MI - 12	<02%	Rural
77	725392/7181305	Rolamento	Diabásio	MI - 12	10-30%	Rural
78	725159/7183653	Rolamento	Diabásio	MI - 12	10-30%	Periferia
79	725226/7184055	Rolamento	Diabásio	MI - 12	02-10%	Periferia
80	724804/7183963	Rolamento	Migmatito	MI - 11	10-30%	Periferia
81	724505/7185668	Rolamento	Migmatito	MI - 11	100-173%	Rural
82	725817/7185798	Rolamento	Migmatito	MI - 11	45-75%	Periferia
83	726790/7186785	Rolamento	Migmatito	MI - 11	30-45%	Periferia
84	725113/7187181	Rolamento	Diabásio	MI - 12	30-45%	Periferia
85	724308/7186980	Rolamento	Migmatito	MI - 11	10-30%	Periferia

Os resultados cadastrados foram analisados tomando-se por referência o tipo de feição registrada.

A partir do inventário desenvolvido e das informações obtidas nos outros documentos elaborados, efetuaram-se as seguintes relações quanto aos processos:

Movimentos de massa gravitacionais:

As feições de movimentos de massa gravitacionais com o maior número de ocorrências são as quedas de blocos (Figura 91, 92 e 93) e escorregamentos (Figuras 94, 95 e 96).

Verificou-se que a maior parte das feições de movimentos de massa gravitacionais cadastradas ocorre em materiais residuais, originados dos diabásios (MI-12), granitos (MI-08) ou migmatitos (MI-10 e 11).

Os rolamentos de blocos (matacões) são os principais tipos de movimentos de massa gravitacionais e estão associados aos materiais não recobertos por solos ou associados a uma camada pouco espessa.

Os rolamentos de blocos (matacões) de diabásio estão associados ao posicionamento do dique na encosta, o grau de alteração da rocha, inclinação do terreno e em função do tipo da encosta. Normalmente, blocos de diabásio são encontrados em canais de drenagem.

As feições de movimento gravitacionais de massa encontram-se bem distribuídas entre as classes de 10 - 30%, 30 - 45% e 45 - 75%, mas em geral ocorrem nas classes de declividade mais altas (maiores que 30%).

Os rolamentos de blocos (matacões) ocorrem nas áreas rurais e urbanas. Os escorregamentos ocorrem preferencialmente na zona periférica, sendo que nas rurais, os prejuízos não são muito significativos, pois a maior parte das áreas atingidas são utilizadas como pastagem, porém nas áreas urbanas os danos podem ser maiores, inclusive podendo atingir casas.

Figura 91 - Rolamento de blocos de granito no Morro do Bom Brinquedo

Figura 92 - Rolamento de blocos de diabásio no Morro da Caixa d'água

Figura 93 - Desenho esquemático de deslizamentos e queda de blocos em encostas

Figura 94 - Escorregamento em encosta associado a cortes inadequados no Morro da Caixa d'água. Observar "obra de contenção" improvisada

Figura 95 - Escorregamento associado a corte de talude

Figura 96 - Casa construída em encosta, onde foram observadas fendas e movimentação do solo

Processos erosivos:

As concentrações de sulcos e ravinas (Figura 97) encontram-se, em geral, na zona periférica de Antonina. Esses processos erosivos encontram-se preferencialmente nos materiais residuais dos migmatitos (MI-11) e dos granitos (MI-09), onde é encontrada também, a única ocorrência de voçoroca da área de estudo (Figura 98). Os processos erosivos associados a texturas mais arenosas, em geral em meia encosta, onde a água superficial chega com nível energético alto. Ocorrem, em geral, em encostas divergentes e em vales convergentes. Com relação aos intervalos de declividade, as

feições erosivas distribuem-se quase que totalmente entre o intervalo de 10 - 30%, com poucas feições localizadas em intervalos de maior declividade (30 - 45%).

Quando as feições são analisadas a partir do tipo de uso do solo verifica-se que a área de pastagem e as área em preparo para o cultivo são as mais erodidas. Embora esta última seja pouco expressiva em termos areais. Em virtude das características do solo, restringindo-se apenas à atividade de subsistência, enquanto que a atividade mais comum é a criação de gado e búfalos.

Os cortes e taludes, em geral, verticalizados, geram superfícies de alívio de pressão, favorecendo a formação de superfícies de ruptura pela ação das águas de infiltração. Normalmente se encontram na periferia de Antonina. Situações semelhantes são também evidenciadas nas áreas de retirada de material de empréstimo para capeamento do leito de estradas e aterros (saibreira), localizadas dentro do perímetro urbano de Antonina (Figuras 99, 100 e 101).

A atividade de extração do saibro em taludes de estradas traz consigo a deflagração de processos erosivos, a instabilidade de encostas, além de promover o desequilíbrio hidrológico, degradação ambiental, retirada de cobertura vegetal e poluição visual.

Deve-se ressaltar, ainda, a possibilidade de assoreamento dos corpos d'água, uma vez que todo material carreado pela chuva, proveniente das áreas de erosão, tem como área de deposição os córregos, rios, baías, etc. O fenômeno de assoreamento também favorece as inundações e enchentes, devido principalmente ao entulhamento dos canais de drenagens (inundação fluvial).

Figura 97 - Sulcos e ravinamentos

Figura 98 - Voçoroca, observada em antiga área de retirada de terra

Figura 99 - Erosão em virtude de abertura de estrada (ponto 48)

Figura 100 - Erosão associada à estrada

Figura 101 - Fendas observadas na erosão apresentada na Figura 104 (vista do alto)

O mapa de feições de movimentos de massa gravitacionais e feições erosivas encontra-se na Figura 102.

MAPA DE FEIÇÕES DE MOVIMENTOS DE MASSA GRAVITACIONAIS E PROCESSOS EROSIVOS

LEGENDA

FEIÇÕES:

MOVIMENTOS DE MASSA GRAVITACIONAIS

- Queda/rolamentos - Br
- Escorregamentos - ES

PROCESSOS EROSIVOS:

- Sulcos - s
- Ravinas - r
- Voçorocas - v
- Drenagem
- Estradas

Escala Numérica
1:40.000

Escala Gráfica

0 500 1000 1500m

Declinação magnética
no centro da folha
1999
A declinação magnética
cresce 8" anualmente

DADOS TÉCNICOS
Projeção Universal Transversa Mercator /2000
Datum Vertical: Marégrafo Imbituba 45° W, SC
Datum Horizontal: Chuf (SAD-69), MG
Equidistância de curvas de nível: 5 m

Universidade de São Paulo
Escola de Engenharia de São Carlos
Departamento de Geotecnia

Estudo dos MMG, Processos erosivos e
inundações
na área urbana de Antonina - PR

Autora: Geol. Rosângela Mara Tapia Lima
Orientador: Prof. Dr. Lázaro Zuquette

Figura 102 - Mapa de feições de movimentos de massa gravitacionais e processos erosivos

IV.2.1.10. ÁREAS SUJEITAS A INUNDAÇÕES:

As áreas sujeitas à inundaço foram caracterizadas a partir da combinao de baixa altitude (inferior a 3 metros), declividades menores que 2%. Periodicamente so afetadas por influncia das mars. Eventualmente esse fenmeno associa-se aos pluviomtricos, intensificando o processo de inundao. As inundaes costeiras, em geral, so de curta durao em virtude do rpido escoamento para o mar. As reas costeiras, poro voltada para a Baa de Antonina, apresentam ocupao preferencialmente urbana e porturia, enquanto que na rea continental a ocupao perifrica e rural.

A maioria das casas afetada por inundaes costeiras encontra-se em uma faixa onde diariamente ocorrem inundaes em virtude da variao do nvel da mar. Verifica-se que diversas casas foram construdas com uma ligeira elevao para evitar que a gua atinja as mesmas.

Nas zonas sujeitas a inundaes predominam os depsitos sedimentares quaternrios, tais como: os sedimentos de mangue, sedimentos arenosos de origem marinha, aluvies indiferenciados e sedimentos areno-silto-argilosos de baa e aterros no compactados em reas de mangue (MI-02).

reas que sofrem influncia de mars so observadas nas Figuras 103 e 104 e representadas na carta de predisposio a inundaes (Figura 105).

Figura 103 - Área ocupada inadequadamente que sofre influência direta de marés

Figura 104 - Área ocupada inadequadamente que sofre influência direta de marés (observar lançamento de esgoto diretamente nas águas)

CARTA DE ÁREAS PREDISPOSTAS A INUNDAÇÕES

LEGENDA

ÁREAS SUJEITAS A INUNDAÇÕES

Drenagem

Universidade de São Paulo
Escola de Engenharia de São Carlos
Departamento de Geotecnia

Estudo dos MMG, Processos erosivos e
inundações
na área urbana de Antonina - PR

Autora: Geol. Rosângela Mara Tapia Lima
Orientador: Prof. Dr. Lázaro Zuquette

Escala Numérica
1:40.000

Escala Gráfica

Declinação magnética
no centro da folha
NM 1932

1999
A declinação magnética
cresce 6° anualmente

DADOS TÉCNICOS
Projeção Universal Transversa Mercator /2000
Datum Vertical: Marégrafo Imbituba 45° W, SC
Datum Horizontal: Chuf (SAD-69), MG
Equidistância de curvas de nível: 5 m

Figura 105 - Carta de predisposição a Inundação

IV.2.2. CARTAS DERIVADAS E INTERPRETATIVAS:

As cartas derivadas e interpretativas constituem-se em documentos que foram elaborados a partir da interação e tratamento das cartas básicas: carta de declividade, carta de direção preferencial de fluxo superficial e carta de predisposição aos movimentos de massa gravitacionais, processos erosivos e áreas sujeita a inundações.

IV.2.2.1. CARTA DE DECLIVIDADE MANUAL (ANEXO 08)

As cartas de declividades (clinométricas) constituem-se em uma ferramenta de grande importância por representarem espacialmente variações das inclinações da superfície do terreno.

A elaboração deste documento cartográfico foi baseada nos procedimentos propostos por DE BIASI (1970) e complementada com o uso do ábaco suplementar proposto por SANCHEZ (1993), associados a verificações em fotografias aéreas.

DE BIASI (1970) propôs uma técnica que constitui na utilização de um ábaco contendo intervalos de classe preestabelecidos que, ao ser deslocado entre duas curvas de nível, indicaria áreas homogêneas com igual declividade.

Para a elaboração da carta de declividade, adotaram-se os seguintes procedimentos:

Determinação das Classes de Declividade

A carta foi elaborada a partir do mapa base na escala 1:10.000, com equidistância de 5 m entre as curvas de nível.

Para a definição dos intervalos de classes utilizados na elaboração da carta de declividade, considerou-se inicialmente uma análise das variações topográficas (loais com maiores e menores inclinações) apresentadas na região; após esta análise, foram estabelecidas as classes de declividade mais expressivas na área, considerando-se os seguintes fatores: a escala, os principais limites de declividade recomendados na legislação federal brasileira vigente e as diferentes formas de uso dos terrenos.

Após a análise dos fatores, foi definido um conjunto de oito classes de declividade, com os limites de intervalos e ângulos de inclinação estabelecidos. Foram selecionados os seguintes intervalos de declividade: 0-2%, 2-10%, 10-30%, 30-45%, 45-75%, 75-100%, 100-173% e >173%. A classe maior que 173% foi diferenciada, apesar de sua pouca extensão areal, por representar situações quase verticais, que podem ser favoráveis à queda de blocos.

A carta de declividade mostra a existência de dois compartimentos geomorfológicos distintos:

- áreas de planícies litorâneas
- áreas montanhosas

As declividades nas áreas de planície litorânea são inferiores a 2%, refletindo um relevo aplainado, com elevações inferiores a um metro, composto por sedimentos arenosos (flúvio-marinhos), na zona de desembocadura de rios e mangues, sujeitos à ação das marés. Neste contexto encontra-se a maior parte da malha urbana da cidade.

Nas áreas montanhosas, as declividades são superiores a 20%, formando morros com cotas que chegam até aproximadamente 400 metros, de topos arredondados e encostas íngremes que impõem barreiras naturais à ocupação urbana. Exceção feita à região do Morro do Bom Brinquedo e da Caixa d'água, onde se desenvolve o processo de ocupação desordenada, não somente restrito ao pé do morro, como também nas áreas de encostas desmatadas.

A Tabela 41 relaciona as classes de declividades com indicações genéricas de adequabilidade e restrições para o planejamento.

Tabela 41 - Classes de declividade utilizadas na área estudada com seus respectivos limites de intervalos, ângulos de inclinação, área ocupada por cada classe (%) e justificativa (adaptação de LEPSCH, 1983 e MINEROPAR, 1993)

CLASSES	LIMITES		ÁREA (%)	JUSTIFICATIVA
	GRAUS	%		
1	< 1,2	< 2	41,297	Área com declividade muito baixa. Restrições à ocupação por dificuldades no escoamento de águas superficiais e subterrâneas. O declive não oferece dificuldade ao emprego de máquinas agrícolas.
2	1,2-5,7	2-10	11,260	Áreas com declividades baixas. Dificuldade de instalação de infraestrutura subterrânea como redes de esgoto e canalizações pluviais. O declive não impede ou dificulta o trabalho de qualquer máquina agrícola.
3	5,7-16,6	10-30	24,173	Áreas com declividades médias, aptas à ocupação considerando-se algumas restrições: espessura do solo, profundidade do lençol freático, susceptibilidade a processos erosivos, adequabilidade a construções, etc. Muitas máquinas agrícolas podem ser utilizadas, porém com dificuldades.
4	16,6-24,2	30-45*	11,295	Áreas com altas declividades, inaptas à ocupação face aos inúmeros problemas apresentados. Somente máquinas especiais ou mais leves podem ser utilizadas, porém com dificuldades.
5	24,2-36,8	45-75	10,552	Áreas com altas declividades, inaptas à ocupação face aos inúmeros problemas apresentados. Praticamente nenhum tipo de máquina agrícola pode trafegar.
6	36,8-45,0	75-100	1,210	Áreas com altas declividades, inaptas à ocupação em face aos inúmeros problemas apresentados. Normalmente nenhum tipo de solo se desenvolve ou só existem solos muito rasos (litossolos), geralmente em associação com exposição de rochas.
7	45,0-77,8	100-173	0,210	Áreas com altas declividades, sujeitas à queda de blocos.
8	> 77,8	> 173	0,003	Área com altíssima declividade, sujeita à queda de blocos.

* De acordo com a Lei Federal nº 4771/65, no Código Florestal, recomenda o limite de 45% para separar diferentes formas de utilização com cultivos ou pastagem de cobertura florestal: entre 45% e 100%, para exploração florestal seletiva e, acima de 100%, florestas intocáveis (artigos 10 e 2º, respectivamente) (SECRETARIA DE ESTADO E DESENVOLVIMENTO URBANO E DO MEIO AMBIENTE, 1990).

A carta de declividade foi desenvolvida manualmente e o seu resultado foi escaneado e, então, digitalizado no AutoCAD 14®.

IV. 2.2.2. CARTA DE DIREÇÃO PREFERENCIAL DE FLUXO SUPERFICIAL (ANEXO 09)

Um dos resultados obtidos a partir da carta de declividade foi a carta de direção preferencial de fluxo de superficial, cujas direções do fluxo foram obtidas diretamente dela, considerando-se sempre o sentido da maior declividade.

Verificou-se que uma parte das drenagens segue diretamente em direção à Baía de Antonina, enquanto que outra parte segue em direção ao rio Nhundiaquara, que, por sua vez, segue para a Baía de Antonina.

IV. 2.2.4. CARTA DAS ÁREAS COM ALTA PREDISPOSIÇÃO AOS MOVIMENTOS DE MASSA GRAVITACIONAIS, PROCESSOS EROSIVOS E ÁREAS SUJEITAS A INUNDAÇÕES (ANEXO 10)

Este documento tem como objetivo identificar as áreas com maior predisposição aos processos em estudo.

A metodologia utilizada na elaboração da carta de predisposição aos movimentos de massa gravitacionais, processos erosivos e áreas sujeita a inundações está descrita a seguir:

Inicialmente foram selecionados os documentos básicos, para a auxiliar na elaboração deste documento, onde foram considerados os seguintes componentes do meio físico: *landforms*, litologias, materiais inconsolidados, uso e ocupação atual do solo, declividade, direção de fluxo superficial, inventário de feições, assim como dados de marés e de chuva.

Foram selecionadas áreas onde a predisposição de ocorrer os processos analisados é mais acentuada; posteriormente os resultados foram associados, gerando um documento final. Esta associação deu-se por sobreposição simples, ou seja, os documentos foram sobrepostos e selecionadas as áreas onde a predisposição para ocorrer um evento é maior. Deve-se salientar que a avaliação das informações coletadas em campo e laboratório foi muito importante para a caracterização destas áreas. Os critérios utilizados para a seleção das áreas apresentam-se descritos na sequência.

Movimentos de massa gravitacionais:

Foram selecionadas as áreas sujeitas a rolamentos de blocos e escorregamentos, pois estes foram os movimentos mais comuns.

Os fatores analisados para a seleção de áreas sujeitas aos rolamentos de blocos foram: a posição dos diques de diabásio nas encostas, o fraturamento, presença de rochas aflorantes e de blocos nos canais de drenagem e encostas.

Para a seleção de áreas sujeitas aos escorregamentos foram analisados os seguintes fatores: encostas com declividades superiores a 30%. Porém, eventualmente também foram selecionadas áreas com declividades inferiores intercaladas, com declividades inferiores, a presença de depósitos de tálus e colúvios, áreas de concentração do escoamento de águas superficiais e subsuperficiais, situações com influência estrutural (xistosidade, fraturas e falhamentos), características dos perfis de solos e evidências caracterizadas no inventário. Entre os exemplos de intervenções antrópicas (fatores modificadores) estão a eliminação da cobertura vegetal; cortes muito íngremes; lançamento de lixo; aterro construído sem controle e lançamento de água não controlado.

Processos erosivos

Os atributos considerados para a elaboração deste documento foram: a declividade (maior que 15%), encostas com mais de 500m de extensão, encostas convexas, presença de solos arenosos e siltsos pouco coesivos, fluxo de água superficial e evidências caracterizadas no inventário. As principais intervenções antrópicas modificadoras são a eliminação da cobertura vegetal e ocupação desordenada; lançamento concentrado e não dissipado de águas servidas e de chuvas; cortes e aterros não protegidos e construção de vias, caminhos e trilhas que concentram escoamento.

Inundações

Os atributos selecionados para delimitar as áreas predispostas a inundações foram: as declividades inferiores a 2%; amplitude de relevo inferior a 3 metros, áreas

que sofrem o efeito da maré alta, planícies de inundação, a alta densidade de drenagem da bacia e capacidade de escoamento, áreas úmidas ou com acúmulo de águas mesmo sem chuvas, eliminação da cobertura vegetal, marcas de inundação em árvores, barrancos e construções e o uso do solo que propicia o aumento do escoamento superficial (como grandes construções, estradas, etc.).

O documento que associa estes três processos é apresentado no ANEXO 11.

IV. 2.3. INDICAÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS PARA O PLANEJAMENTO

As indicações geológico-geotécnicas para o planejamento são uma síntese dos estudos desenvolvidos em Antonina, de modo preliminar, a ocupação urbana da cidade com base nas características do meio físico, levando em conta os aspectos geomorfológicos, geológicos e geotécnicos da região. Procura também demonstrar as atuais condições ambientais e o uso e ocupação das áreas contidas no perímetro urbano da cidade e arredores.

Este item restringe-se a indicar as principais características dos terrenos, suas restrições quanto ao uso e ocupação e potencialidades, visando o processo de planejamento.

Por tratar-se de uma etapa de integração e síntese, tem por objetivo expor as informações em uma linguagem simplificada e acessível a técnicos de outras áreas e, principalmente, planejadores.

Para a elaboração deste item foram utilizadas principalmente as informações contidas na carta de predisposição aos movimentos de massa gravitacionais, aos processos erosivos, e nas áreas sujeitas a inundações e no mapa de uso e ocupação do solo.

As sugestões de planejamento são apresentadas a seguir:

- As áreas de sedimentos de arenosos a argilosos de deposição fluvial ou marinha apresentam restrições em virtude, por exemplo, pequena profundidade do lençol freático, declividade muito baixa, porosidade e permeabilidade do substrato, entre outras, o que dificulta a instalação de infra-estrutura enterrada e impede a instalação de fontes poluentes domésticas e industriais.

- Áreas de manguezais com solos de argilas arenosas, ricos em matérias orgânicas e declividades muito baixas, sujeitas à atuação de marés, são inaptas à ocupação.
- Áreas com depósitos coluviais, formados por sedimentos continentais inconsolidados, mal selecionados, contendo blocos e matacões, são inadequadas à ocupação por apresentarem riscos de deslizamentos e instabilidade de encostas.
- Áreas com declividades acima de 15%, sujeitas a processos erosivos e deslizamentos, apresentam restrições à ocupação, sem critérios técnicos para arruamentos e implantação de loteamentos e infraestrutura enterrados.
- Áreas com declividades acima de 30% são inaptas a ocupação, devido aos inúmeros problemas apresentados.
- Áreas com presença de blocos aflorantes em encostas são inaptas a ocupação por apresentarem risco de rolamento.

V. CONCLUSÕES:

A partir de pesquisas bibliográficas e análises preliminares desenvolvidas, foi realizado um mapeamento geológico-geotécnico visando a identificação de áreas de alta predisposição aos movimentos gravitacionais de massa, processos erosivos e de áreas sujeitas a inundações na área estudada (70 km²). Adotaram-se as metodologias de EINSTEIN (1988) e ZUQUETTE (1987/1993), que, em geral se mostram eficientes para a área em estudo, pois a partir delas foi possível o melhor conhecimento do meio físico.

Os trabalhos desenvolvidos permitiram a elaboração dos mapas planialtimétrico, de bacias de drenagem, de documentação, litológico, de materiais inconsolidados, de *landforms*, de uso e ocupação atual do solo, das cartas de declividade, de direção preferencial de fluxo de águas superficiais e de feições de movimentos de massa gravitacionais, erosivas e áreas sujeitos à inundações, das áreas com alta predisposição aos movimentos de massa gravitacionais, processos erosivos e áreas sujeitas a inundações para a área estudada. Todos esses documentos foram elaborados na escala 1:10.000, porém foram apresentados na escala 1:20.000 para facilitar o manuseio.

Algumas considerações quanto aos documentos cartográficos e análises desenvolvidas são descritas a seguir:

A necessidade de se elaborar um mapa planialtimétrico e o litológico em virtude da inexistência de mapas compatíveis com a escala demandou muito tempo e trabalho, influenciando, assim, no desenvolvimento das pesquisas.

Algumas áreas não foram muito detalhadas em virtude das dificuldades operacionais, tais como falta de acessos e intensa vegetação.

O mapa litológico apresenta um maior detalhamento em relação aos mapas existentes até então.

As análises da forma de relevo, interpretadas com auxílio de informações de fotografias aéreas, trabalhos de campo, conduziram à obtenção do mapa de *Landforms*. A área foi dividida em unidades e sistemas de terreno.

O mapa de materiais inconsolidados apresenta os principais tipos de materiais inconsolidados e suas características. No total, foram identificadas 12 unidades. A divisão e classificação desses materiais foram feitas com base em quatro critérios: gênese, textura, rocha original e nível de alteração.

A carta de declividade elaborada apresenta um grande detalhamento (8 classes), mas esta hierarquização foi necessária devido à escala de trabalho (1:10.000) e às diferentes formas de uso do meio físico. Com o auxílio desta carta, foi possível analisar as feições quanto à sua declividade.

O mapa de feições indica geograficamente os locais onde ocorreram os eventos e, quando associadas às demais cartas, possibilitaram uma análise mais detalhada das características de cada feição.

O número total de feições caracterizadas foi 85, sendo: 75,29% rolamentos de blocos (matacões), 9,41% escorregamentos, 5,88% concentração de sulcos, 8,23% ravinas e 1,17% voçorocas. A área selecionada como sujeita a inundações fluvial e/ou costeira é de 33,78% da área total estudada).

A carta das áreas com alta predisposição aos movimentos de massa gravitacionais, processos erosivos e áreas sujeitas à inundações, apresenta diversas áreas caracterizadas pela associação de diversos atributos que são favoráveis à ocorrência dos processos em questão.

Os conceitos e as técnicas empregadas nessa pesquisa têm o objetivo de contribuir para o desenvolvimento dessa linha de estudos em áreas similares.

Os processos geológico-geotécnicos atuantes na região urbana de Antonina dizem respeito aos processos de erosão, movimentos gravitacionais de massa (escorregamentos e rolamentos de blocos) e ocupação de manguezais.

A ocupação indevida das áreas de manguezais pode provocar o desequilíbrio hidrológico e biológico da região, além de favorecer o assoreamento da baía de Antonina.

As características dos solos de mangue inviabilizam tecnicamente a execução de obras de engenharia (fundações, aterros, construções ou instalação de infra-estrutura

enterrada). Recomenda-se evitar sua ocupação e torná-las áreas de preservação permanente.

As áreas de retiradas de saibro são precursoras de processos erosivos, além de provocar a instabilidade das encostas, o desequilíbrio hidrológico e poluição visual. Recomenda-se proceder à pesquisa para a seleção de áreas mais adequadas e recuperação de áreas já afetadas.

—> Outros problemas foram detectados no decorrer da pesquisa, como a instalação inadequada do local destinado para a deposição de resíduos sólidos urbanos (lixo) da cidade de Antonina. Trata-se de um depósito do tipo céu aberto e sem qualquer tipo de tratamento, constituindo-se em um agente potencial para a degradação ambiental e de risco para o bem-estar da população, uma vez que afeta diretamente a baía de Antonina. Recomenda-se a seleção de área apropriada para comportar a instalação de aterro sanitário, e recuperar a área já degradada, assim como o antigo depósito de lixo, que hoje se encontra desativado.

Portanto, algumas medidas devem ser adotadas, tais como a restrição à ocupação das áreas de manguezais (que constituem áreas de preservação), de terrenos de declividades altas, susceptíveis a processos erosivos e a movimentos de massa gravitacionais, assim como a conscientização da população em relação aos conhecimentos dos processos de degradação ambiental e suas consequências, por meio da implantação de projetos ambientais abrangendo o setor de educação e treinamento em escolas, associações, etc.

Recomenda-se a continuidade dessa linha de pesquisa nessa mesma região (Antonina), com o objetivo de detalhar as informações obtidas.

VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- ACREMAN M.C.; FARQUHARSON F. A. K. (1992) - Flood frequency of the world's largest catchments. In SAUL, A. J., ed. Flood and flood management. Artigos do 3rd intern. conf. on floods and flood management - Italy. England, Kluwer Academic Publishers. p. 145-156
- ALCÂNTARA, M. A. T. (1997) - Aspectos geotécnicos da erodibilidade de solos. São Carlos. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 128 p.
- ANBALAGAN, R.; SINGH, B. (1996), Landslides Hazard and Risk Assessment Mapping of Mountainous Terrains- A case from Kumaun Himalaya, India. In: Engineering Geology an International Journal V. 43 N.4 1996 237-246 pp.
- ASWTHANARAYANA, U. (1995) - Geoenvironment: an introduction. Rotterdam; A.A. Balkemam Brookfield, VT, 270 p.
- AUGUSTO FILHO, O (1994) - Cartas de Risco de escorregamento: Uma proposta metodológica e sua aplicação no Município de Ilha Bela. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica/USP.
- AUTODESK. AutoCAD R14. USA, 1997. CD-ROOM.
- BERTONI, J., LOMBARDI NETO, F. (1993) - Conservação do solo. 3 ed.. São Paulo: Editora Ícone, p.355.
- BONUCCELLI, T. J. (1999) - Estudo dos movimentos gravitacionais de massa e processos erosivos com aplicação na área urbana de Ouro Preto (MG) - escala 1:10.000. Tese de doutorado.. São Carlos. EESC - USP. 3 v. p.497.
- BONUCCELLI, T. J. (1995) - Contribuição ao estudo de um novo parâmetro para classificação dos solos: o grau de argilosidade. Dissertação de mestrado.. São Carlos. EESC - USP. p.172.
- BRABB, E. E. (1985) - Innovative approaches to landslide hazard and risk mapping. In - International Conference and Field Workshop on Landslides, 4, Tokyo, Proceedings... Tokyo, The Japan Landslide Society, p.17-22.
- BRABB, E. E. (1984) - Innovate approaches to landslide hazard and risk mapping. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON LADSLIDES, 4, Toronto, Anais... Toronto. v.1, p. 307-323.

- BRAND, E. W; BURNETT, A. D; STYLES, K. A. (1982) - Geotechnical land use maps for planning in hong kong. In: Internacional Congress IAEG, 4, Nova Delhi. Proceedings...N. Delhi: IAEG,v. 1, themel, pp.I.145-I. 153.
- BRYANT, E. A. (1991) - *Natural hazards*. Cambridge University Press. Causes and Prediction of drought and flood. p. 85-107.
- CARSON, M. A.; KIRKBY, M. J. (1975) - Hillslope form and process. Oxford, Canbridge University Press, p.475.
- CASTRO FILHO, C.; CASTANHO, A.; BISCAIA, R. C. M.: Utilização da metodologia de Wilkinson para cálculos o potencial erosivo das chuvas em cinco localidades do Paraná. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 1982, vol. 6, pg. 240-241.
- CERRI, L.E (1993) - Riscos geológicos associados a escorregamentos: uma proposta de prevenção de acidentes.Tese de Doutorado em Geociências e Meio Ambiente. IGCE/UNESP/Rio Claro.
- CHACÓN, J.; IRIGARAY, C.; FERNÁNDEZ, (1994) - Large to meddle scale landslides inventory, analysis and mapping with modelling and assessment of derived susceptibility, *hazards* and risks in a GIS. 7th International Congress - International Association of Engineering Geology. Lisboa - Portugal. pp. 4669-4678.
- COCH, N. K. (1995) - *Geohazards - Natural and human* - Queens College, City University of New York. Prentice Hall - Englewood Cliffs, New Jersey. 481 p
- COMISSÃO ESPECIAL DE ESTUDOS SOBRE ENCHENTES (1995) - Relatório final - Estudo sobre enchentes. Câmara Municipal de São Paulo (09/95). p. 11-13.
- CRUDEN, D., KRAUTER, E., BELTRAN, L., LEFEBVRE, G., TER-STEPANIAN, G.I. e ZHANG, Z.Y. (1994) - Describing Landslides in Several Languages: The Multilingual Landslide Glossary. Proceedings of 7th International Congress of IAEG, Portugal, p.1325-1333.
- CUNHA M.A. *et al.* Manual de ocupação de encostas. São Paulo: IPT, Publicação n.1831, 1991.
- DE BIASI, M. (1970) - Cartas de Declividade: elaboração e utilização. Revista de Geomorfologia (Instituto de Geografia/ USP), São Paulo, n.21
- DOCUMENTOS FINAIS DO SEMINÁRIO SOBRE ENCHENTES URBANAS (1984) - Anais de eventos técnicos. Belo Horizonte. Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais/ CETEC. p. 95-98.
- DUNNE, T. (1978) - Field studies of hillslope process in Kirkby, M. J. Hillslope Hydrology, Wiley Chichester. Knisel, W.G. (ed.), CREAMS: A field-scale Model for Chemical Runoff and Erosion Agricultural Management Systems, USDA Conservation Research Report No. 26 Washington, D. C., 36-64.
- EIA/RIMA - TERMINAL PORTUÁRIO PONTA DO FÉLIX (1996) - Antonina - PR. ENGEMIN, Engenharia e Geologia Ltda..
- EINSTEIN, H.H. (1988) - Landslides risk assessment procedure. Proc. 5th International Symposium on Ladslides, pp.1075-1089. Lausanne.

- ELLISON, W. D. (1947) - Soil erosion. Soil Science Society American Proceeding. Wadison, v. 12, p. 479-488.
- FELL, R. & HARTFORD, D. (1997) - Landslide Risk Assessment. Proceeding of the International Workshop on Landslide Risk Assessment. Honolulu, Hawai. AABalkema p.51-109
- FENDRICH, R. (1997) - Erosão Urbana. In: FENDRICH, R. et al. Drenagem e controle da erosão urbana. Curitiba: Editora Ibrasa/Champagnat, 1997, cap. 1, p.17-49.
- FIORI, O. C. ; SOARES P. C. (1976) - Aspectos evolutivos das voçorocas. Notícias Geomorfológicas, Campinas, v. 16, nº 32, p. 114-124.
- FONTES, S. B. (1999) - Mapeamento geotécnico com ênfase em erosões no município de Ouro Preto (MG), escala 1:5.000. Dissertação de mestrado São Carlos, EESC - USP.
- FOOKES, (1997) - *Geology for engineers*. The Quaterly Journal of Engineering Geology, v.30, n.4, p. 299-346.
- FORNASARI FILHO, N. et al. (1992) - Alterações no meio físico decorrente de obras de engenharia. São Paulo: IPT. 162p. (IPT. Publicação 1972; Boletim 61).
- FRANK, BEATE (1987) - Projeto crise.. Seminário internacional de estratégias e ações frente a desastres naturais, Salvador - Bahia, 1987. Estratégias e ações frente a desastres naturais. Brasília, Ministério de habitação e urbanismo e meio ambiente, PNUD, p. 166.
- FREIRE, E.S.M. (1965). Movimentos Coletivos de Solos e Rochas e sua Moderna Sistemática. Construção. Rio de Janeiro, 8(95), 10-18.
- GASTAL, ALFREDO (1987) - Efeitos sociais e econômicos dos recentes grandes desastres naturais na América Latina e a necessidade de preveni-los.. Seminário de internacional estratégias e ações frente a desastres naturais, Salvador - Bahia, 1987. Estratégias e ações frente a desastres naturais. Brasília, Ministério de habitação e urbanismo e meio ambiente, PNUD, 166 p.
- GUIDICINI, G & NIEBLE, C. M. (1976) - Estabilidade de taludes naturais e de escavação. Ed. Edgard Blücher Ltda, São Paulo. 172p.
- HACH-HACH, A (1998) - Inventário dos Movimentos de Massa Gravitacionais na região leste de Curitiba- Paraná - Escala 1 :20.000. Dissertação de Mestrado. Escola de engenharia de São Carlos, universidade de São Paulo, 2 volumes.
- HAYS, W.W. (1991) - Hazard and risk assessments in the United States. Episodes, 1991, vol.14, no1, pp.7-12.
- HARTLEN, J.; VIBERG, L. (1988) Evaluation of Landslides Hazard : Proceedings of Fifth International Symposium on Landslides. Lausanne-Balkema. 1037-1057 pp.
- HEIJNE, I. S. (1992) - Flood and flood management. Editor: A. J. Saul. Kluwer Academic Publishers - England. Artigos do 3 rd Intern. Conf. on floods and flood management - Italy - Fluvial Flooding: Decision Making In Floodplain Management. Pg. 119-128.

- HINOJOSA, J.A. & LEON, C. O. (1978) - Unstable soil mapping in Spain. Proc. 3rd Int. Cong. IAEG, Madrid, section I, (I), 217-227.
- HOYT W.G. & LANGBEIN W. B. (1970) - Floods. Princeton, New Jersey. 3 ed. USA. University Press. 409 p.
- HUTCHINSON, J. N. (1988) - Morphological and Geotechnical Parameters of Landslides in Relation to Geology and Hydrology. Proceedings of Fifth International Symposium on Landslides. Lausanne-Balkema. p. 3-35.
- IAPAR (1994) - Instituto Agronômico do Paraná. Potencial de uso agrícola das áreas de várzea do Estado do Paraná, Londrina. 172 p.
- ISRM (1983) Suggested Method for Rock Characterization Testing and Monitoring, published for International Society for Rock Mechanics, E.T.Brown editor, Pergamon Press, 211p.
- IUGS-WORKING GROUP ON LANDSLIDES.(1997) Quantitativ risk assessment for slopes and landslides - the state of art. In: WORKSHOP OF LANDSLIDES AND RISK ASSESSMENT, Honolulu, 1997. Rotterdam, Balkema, p. 13-12.
- IWASA, E. C. , PRANDI, E. C., KERTZMAN, F.F.; OLIVEIRA, A. M. S.; POÇANO, W. L.; SALOMÃO, F. T. (1987) - Áreas de risco ao desenvolvimento de erosões por ravinas e boçorocas na Folha de Marília, SF. 22-Z-A. In. Simpósio Nacional de Controle de erosão, IV Marília, 1987. Atas ... Marília, ABGE pp. 137-148.
- IWASA, O. Y.; PRANDINI, F. L. (1980) - Diagnóstico da origem e evolução de boçorocas - condição fundamental para prevenção e correção. In: Simpósio sobre controle da erosão, 1. ABGE, Curitiba. Tema II, p. 5-34.
- KELLER, E. A. (1992) - Environmental Geology 6 ed. Chapter Six - River Flooding.. Macmilan Publishing Company/ New York p. 83-111.
- KRONEN, M.A. A erosão do solo de 1952 a 1985 e seu controle no Paraná - Londrina. Boletim Técnico, n. 30. IAPAR (Paraná), p. 53, 1990.
- LENZI, S.R. (1987) - A enchente em áreas urbanizadas. Seminário de internacional estratégias e ações frente a desastres naturais, Salvador - Bahia, 1987. Estratégias e ações frente a desastres naturais. Brasília, Ministério de habitação e urbanismo e meio ambiente, PNUD, 166 p.
- LEPSCH, I. F. (1983) - Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso. 1.ed. Campinas (SP): Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1983. 175p.
- LEROI E. (1996) - Landslides hazard-risk maps at differents scales: Objetctives,tools and developments.7th International symposium on landslides.vol.1,pp.35-52.Trondheim.
- LOLLO, J. A. (1995) - O Uso da Técnica de Avaliação do Terreno no Processo de Elaboração do mapeamento geotécnico: Sistematização e Aplicação para a Quadrícula de Campinas (SP). Escola de Engenharia de São Carlos - USP. Tese de Doutorado. 2v. 246p.

- LOLLO, J. A (1996) - O uso da técnica de avaliação do terreno no processo de elaboração do mapeamento geotécnico: sistematização e aplicação na Quadrícula de Campinas. São Carlos : EESC/USP. 1996. 2v. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- LOLLO, J. A. & ZUQUETTE, L. V. (1996) - Aplicação da técnica de avaliação do terreno para reconhecimento de perfis de alteração de solos. In : VIII CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, Rio de Janeiro, ABGE. Anais. Rio de Janeiro, vol. 1., p13-22.
- MAACK, R. (1968) - Geografia Física do Estado do Paraná. Curitiba, BADEP/UFPR/IBPT, 1968. 350p.
- MAFRA, N. M. C. (1981) - Considerações a respeito da erosão dos solos. Rev. Bras. de Geografia, v. 43 (2), p. 301-312.
- MEYER, L.D.; FOSTER, G. R.; NIKOLOV, S. (1975) - Effect of flow rate and canopy on rill erosion. Transactions of the ASAE, v. 18, n. 6, p.905-911.
- MICHELL, C. W. (1991) - Terrain evaluation. Na introductory handbook to the history, principles and methods to practical terrain assessment. Londres, Long Man Scientific & Technical.
- MICROSOFT. Excel 7. USA, 1998. CD-ROOM.
- MICROSOFT. Windows 98. USA, 1998. CD-ROOM.
- MINEROPAR - Minerais do Paraná S/A. (1993) - Caracterização do meio físico da área urbana de Guaraqueçaba - Curitiba.
- MUÑOZ, H. R. (1987) - Introdução ao fenômeno das enchentes e inundações. Seminário internacional de estratégias e ações frente a desastres naturais, Salvador - Bahia, 1987. Estratégias e ações frente a desastres naturais. Brasília, Ministério de habitação e urbanismo e meio ambiente, PNUD, 166 p.
- NASCIMENTO, U. & CASTRO, E. (1976) - Erosão. critérios de seleção de solos. Geotecnia, 20, 17 - 33 p.
- NISHIYAMA, L. (1998) - Procedimento de mapeamento geotécnico como base para análises ambientais do meio físico, em escala 1:100.000. Aplicação no município de Uberlândia - MG. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos (EESC-USP). p. 363
- NISHYAMA, L. (1995) - Erosão do Solo. Seminários Gerais em Geotecnica, EESC/USP - São Carlos.
- NOGAMI, J.S.; VILLIBOR, D.F. (1979) - Characterization of mapping units for highway purposes in a tropical area. Bulletin of the International Association of Engineerong Geology, 19, p.196-199.
- NOGUEIRA, J. B. (1995) - Mecânica dos solos - Ensaios de laboratório, São Carlos, EESC-USP, 1995. 248 p.
- NBR 7184/84. Solo: análise granulométrica. Método de ensaio, ABNT. Rio de Janeiro, 10p.

- OBONI, F. (1988). General report: analysis methods and forecasting behaviour. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON LANDSLIDES, 5, Lausanne, 1988. Resumos, Rotterdam, Balkema, p. 491-499.
- OBONI, F.; OBONI, & Associates (1988) Analysis Methods and Forecasting of Behavior: Proceedings of Fifth International Symposium on Landslides. Lausanne-Balkema V. 1. 491-499 pp.
- OGURA, A. T.(1995) Análise de Riscos Geológicos em planos preventivos de defesa civil. In: Curso de Geologia aplicada ao meio ambiente. São Paulo: ABGE 203-215 pp.
- PEJON, O. J. (1992) - Mapeamento geotécnico regional da folha Piracicaba - SP (Escala 1:10.000): estudo de aspectos metodológicos, de caracterização e de apresentação de atributos. 2 v. Tese de Doutorado. EESC/USP, São Carlos, 224 p.
- PELLEYMOUNTER D. & FALOMER R.H. (1992) - Management of the aire and calderwashlands - performance evaluation and optimisation by numerical modelling. Flood frequency of the word's largest catchmentes. In SAUL, A. J., ed. Flood and flood management. Artigos do 3 rd intern. conf. on floods and flood management - Italy. England, Kluwer Academic Publishers. p. 187-209.
- PENNING-ROWSELL E. et. al.(1992) - Flood vulnerability analyses and climatic change: Towards a European methodology. Flood frequency of the word's largest catchmentes. In SAUL, A. J., ed. Flood and flood management. Artigos do 3 rd intern. conf. on floods and flood management - Italy. England, Kluwer Academic Publishers. p. 343-362
- PINHEIRO, ADILSON (1987) - Mapeamento da área inundável de Blumenau - SC. Seminário internacional de estratégias e ações frente a desastres naturais, Salvador - Bahia. Estratégias e ações frente a desastres naturais. Brasília, Ministério de habitação e urbanismo e meio ambiente, PNUD, 166 p.
- RAGOZIN,A.L.(1998) Theory and practice of geological risk assessment and management.. In: INTERNATIONAL IAEG CONGRESS, 8, 1998. Resumos, p.879-886.
- RAGOZIN, A.L.(1994) - Basic principles of natural risk assessment and manegement.7º International IAEG congress, vol.3, pp.1277-1286, Lisbon.
- RAGOZIN, A.L. (1993) - Risk assessment and cartography of natural hazards (history and methodology).Safety problems in emergencies. 1993, 3:16-41
- RAMOS, C. L. (1995) - Erosão urbana e produção de sedimentos. In: TUCCI,C.E.M., PORTO,R.L.L., BARROS, M.T. Drenagem Urbana. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995.cap.6, p.241-276.
- RIGHETTO, A. M.(1998) - Hidrologia e recursos Hídricos. São Carlos: Editora da Escola de Engenharia de São Carlos-Universidade de São Paulo, 819p.
- RODRIGUES, J. E. (1982) - Estudo de fenômenos erosivos acelerados - Boçorocas. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos - EESC. Departamento de Vias de Transporte e Topografia, 162 p.

- 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. Dissertação de Mestrado. EESC/USP.
- RUFINO, R. L. (1986) - Avaliação do potencial erosivo da chuva para o Estado do Paraná: Segunda aproximação. Ver. Bras. Ci. Solo, v.10, 279 - 281 p.
- SALOMÃO, F. X. DE T. & IWASA, O. Y. (1995) - Erosão e ocupação rural e urbana. In: Curso de Geologia Aplicada ao Meio Ambiente. São Paulo; Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, IPT, Divisão de Geologia.
- SANCHEZ, M. C. (1993) - A propósito das cartas de declividade. In: Simp. De Geográfica Física Aplicada, 5, 1993, São Paulo. Anais ... São Paulo.
- SECRETARIA DE ESTADO E DO DESENVOLVIMENTO URBANO E DO MEIO AMBIENTE (1990) - Coletânea de legislação ambiental: federal/estadual. Curitiba: Imprensa Oficial do Estado do Paraná, p.536.
- SMITH, K. AND WARD, R. (1998) - Floods - Physical processes and human impacts. England. John Wiley & Sons. p. 382.
- SOLOMATINE, N. M. (1987) - As atividades do UNDRO em emergências de inundações - prevenção e capacitação .. Seminário internacional de estratégias e ações frente a desastres naturais, Salvador - Bahia. Estratégias e ações frente a desastres naturais. Brasília, Ministério de habitação e urbanismo e meio ambiente, PNUD, 166 p.
- SOUZA, M. L. (2001) - Proposta de um sistema de classificação de feições erosivas voltadas à estudos de procedimentos de análises de decisões quanto a medidas corretivas, mitigadoras e preventivas: aplicação no município de Umuarama (PR). Tese de doutorado - Instituto de geociências e Ciências Exatas da Universidade Paulista (UNESP)
- SOUZA, M. L. (1996) - Mapeamento geotécnico da cidade de Ouro Preto (MG). (Escala 1:10.000) - Susceptibilidade aos movimentos de massa e processos correlatos. Dissertação de mestrado. São Carlos, EESC-USP. 2 v., p. 194.
- STRAHLER, A. N. (1952) - Dynamic basis of geomorphology. Geological Society American Bulletin, 63: 923-938.
- TORTEROT, J.P; KAUARK-LEITE, L.A.; ROCHE, P. (1992) - Analysis of individual real-time responses to flooding and influence on damage to households. In Saul, A. J., ed. Flood and flood management. Artigos do 3 rd intern. conf. on floods and flood management - Italy. England, Kluwer Academic Publishers. p. 363-385
- TUCCI, C.E.M. (1993). Hidrologia - Ciência e Aplicação. EDUSP - ABRH. 943p.
- TUCCI, C.E.M.; KREBS, A. S.J (1986) - Zoneamento de áreas inundáveis. Recursos Hídricos - Publicação 18 / Porto Alegre - UFRGS
- UNDRO - Office of the United Nations Disaster relief (1978) - Disaster prevention and mitigation: a compedium of current Knowledge. N. York. V5 Land use aspects, 690 p.

- VARNES et al.(1985) - Landslides hazard zonation a review of principles and practice. UNESCO, 63 p.
- VARNES, D.J. (1984) - Landslide Hazard Zonation: a review of principles and practice. Comission on Landslides of IAEG, UNESCO, Natural Hazards n 3 , 61p.
- VARNES, D. J. (1978) - Landslides types and process. In: Landslides and engineering pratice. E. B. Eckel (ed). Special Report n. 29 Highway Research Board. 20-47p.
- VERTAMATTI, E. & ARAÚJO, F. A. R. de (1990) - Critério para revisão do potencial erosivo de solos tropicais. In: 24ª Reunião de Pavimentação, Belém/PA - 15 a 20 de julho de 1990, v. 1, p. 327 a 348.
- VAN WESTEN, C.J. (1993). Training Package for Geografic Information System in Slope Instability Zonation ITC Publication n 15
- VILAR, O. M. (1987) - Formulação de um modelo matemático para a erosão dos solos pela chuva: Tese de Doutorado: EESC/USP, São Carlos, S. P.
- VILAR, O. M., PRANDI, E. C. (1993) - Erosão dos solos in solos do interior de São Paulo. ABMS. p. 179 - 206.
- WOLLE, C.M. (1988) - Análise dos Escorregamentos Translacionais numa Região da Serra do Mar no Contexto de uma Classificação de Mecanismos de Instabilização de Encostas. Tese de Doutorado. Escola Politécnica/USP.
- ZACHAR, D. (1982) - Soil Erosion. Elsevier Scientific Publishing Company Amsterdam. 547 P.
- ZUQUETTE, L. V.; PEJON, O. J.; GALDOLFI, N. RODRIGUES, J.E. (1997). Mapeamento geotécnico: parte I - Atributos e procedimentos básicos para elaboração de mapas e cartas. Geociências, 16 (2), p. 491-524.
- ZUQUETTE, L.V.; PEJON, O.J.; GANDOLFI, N.; PARAGUASSU, A.B (1995) - Considerações básicas sobre a elaboração de Cartas de Zoneamentos de Probabilidade ou Possibilidade de Ocorrer Eventos Perigosos e riscos associados. Geociências, 14 (2), p 9-39 .
- ZUQUETTE, L.V. (1993) - Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio físico: Fundamentos e guia para elaboração. São Carlos. Tese de Livre Docência, 1993, 2V., USP/EESC, 330p.
- ZUQUETTE, L.V. (1987) - Análise crítica sobre a cartografia geotécnica e proposta metodológica para as condições brasileiras. Tese de Doutoramento. Escola de Engenharia de São Carlos (ESSC-USP).