

CRISLEY DO NASCIMENTO GUIMARÃES

**MAPEAMENTO GEOTÉCNICO DA BACIA CÓRREGO DA
BARRA, APLICAÇÃO DO PENETRÔMETRO DE IMPACTO EM
ESTUDOS DE PROCESSOS EROSIVOS SÃO PEDRO – SP –
ESCALA 1:10.000**

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. Osni José Pejon

São Carlos/SP
2008

*Aos meus pais (Benedicto e Maria
Auxiliadora,) e ao meu esposo Alberto.*

A G R A D E C I M E N T O S

A Deus por sua presença constante em minha vida.

Aos meus pais Benedicto e Maria Auxiliadora, minhas irmãs (Sueli, Regina, Harley Camila) e ao meu irmão (Didito) pela força e apoio nos momentos quando mais precisava.

Ao meu esposo Alberto, que esteve presente em todos os momentos, com muito amor, compreensão, dedicação, me orientando e auxiliando no decorrer de todo o trabalho e de minha vida.

Ao professor Dr. Osni José Pejon, pela amizade, paciência e principalmente pelo incentivo e orientação durante este período.

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

Aos professores do Departamento de Geotecnia pelos conhecimentos adquiridos.

Aos funcionários Maristela, Álvaro, Neiva, Herivelto, e aos técnicos Antônio Garcia, José Luiz Guerra, Oscar, Décio pela dedicação, amizade e auxílio para desenvolvimento deste mestrado.

Aos amigos da pós-graduação do Departamento de Geotecnia em especial: Valeria Lopes Rodrigues, Fagner França, Cleber Decassis, Luciene Moraes, Simone Furegatti Wanessa Cartaxo, Junio Renee, Leonardo Soares, meus sinceros agradecimentos.

A todos aqueles que de alguma forma contribuíram para realização desta dissertação.

GUIMARAES, C. N. Mapeamento geotécnico da bacia córrego da barra, aplicação do penetrometro de impacto em estudos de processos erosivos – São Pedro – SP – escala 1:10.000. 2007. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

Este trabalho consiste em um mapeamento geotécnico da bacia do córrego da Barra, localizada no Município São Pedro, no Estado de São Paulo, apresentando uma área aproximada de 56,50 km². Para realização deste trabalho, efetuou-se um levantamento dos trabalhos anteriores realizados na área, fotointerpretação, e trabalhos de campo. Foram elaborados documentos cartográficos na escala 1:10.000: mapa de substrato rochoso, mapa de materiais inconsolidados, declividade e inventário das feições erosivas. Utilizou-se o penetrômetro de impacto (modelo IAA/ Planalsuca – Stolf) para a determinação da resistência a penetração, entre as profundidades de 10 a 60 cm. Em seguida estes resultados foram correlacionados com a ocorrência de erosões na bacia, determinando assim qual o solo e qual o tipo de uso que favorecem a ocorrência e a evolução dos processos erosivos.

Palavras chaves: penetrômetro de solo, mapeamento geotécnico, erosão, São Pedro/SP.

GUIMARAES, C. N. Engineering geological Mapping of the Barra stream basin using soil penetrometer in the study of erosive processes in São Pedro – SP – scale: 1:10.000. 2007. Ms Thesis – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

An engineering geological mapping was carried out in the basin of stream Barra, located in the São Pedro municipality in the state of São Paulo-Brasil. The area of 56,5 km² were mapped based on information of previous works, photointerpretation, and field works. The following cartographic documents were performed in 1:10.000 scale: rock substratum, unconsolidated materials, slope and inventory of erosive features. The penetrometer for soil (IAA/Planalsucar-Stolf) was utilized to determine the penetration resistance of the soil from 10 to 60 cm of depth. Soon afterwards the results of penetration resistance, soil type, use and occupation were correlated to establish the main factors in the erosion process.

Key words – Soil Penetrometer, engineering geological mapping, erosion, São Pedro/SP

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Os fatores que condicionam a formação de erosão (Yamanout, 2003)	Pág. 14
Figura 2.2 - Tipos de encostas segundo Troeh (1965) apud, Rodrigues 1982)	18
Figura 2.3 – Classificação de boçoroca de acordo com o tipo de seção transversal. Formatos “U” e “V”, respectivamente, Fendrich (1997)	27
Figura 2.4 – Penetrometro utilizado na execução dos ensaios in-situ	31
Figura 3.1 – Fluxograma com as etapas de trabalho	36
Figura 3.2 – Fonte: Mapas topográficos elaborados na escala 1:10000 para o governo do Estado de São Paulo, Secretaria de Economia e Planejamento/ Coordenadoria de Ação Regional, Divisão de Geografia/ Plano cartográfico do Estado de São Paulo (1979)	38
Figura 3.3 – Cilindro de vidro graduado , com uma pedra porosa saturada revestida por um cilindro PVC.	41
Figura 3.4 – Volume de água absorvido por unidade de área da base do corpo de prova (q) versus raiz quadrada do tempo (\sqrt{t}).	42
Figura 3.5 – Suporte para colocar a amostra (anel+amostra+suporte) e pirex	43
Figura 3.6 – Gráfico de porcentagem de perda versus índice de absorção.	43
Figura 3.7 – Penetrômetro de Impacto Modelo IAA/Planalsucar – Stolf e o trado utilizado para coletar amostra para umidade	45
Figura 4.1 – Localização da área de estudo	47
Figura 4.2 – Fotografia aérea mostrando a geomorfologia da área	49
Figura 4.3 – Basalto com esfoliação esferoidal	52
Figura 4.4 – Paredão de arenito da Fm. Botucatu	53
Figura 4.5 – Linha de seixos separando os materiais transportados do residual	57
Figura 4.6 – Feição erosiva	63
Figura 4.7 – Feição erosiva	63
Figura 4.8 – Sulcos decorrentes de trilha de gado	64

Figura 4.9 – Boçorocas de beira de estrada	65
Figura 4.10 - Comportamento do NTG e umidade média no solo retrabalhados arenosos com pedregulhos. Uso: laranja (1 a 8).	68
Figura 4.11 - Comportamento do NTG e umidade média no solo Residuais de Pirambóia. Uso: pastagem 0 a 9; laranja 9 a 16; eucalipto 17 a 20 e cana de açúcar 21 a 25.	68
Figura 4.12 - Comportamento do NTG e umidade média no solo Retrabalhados arenosos em topo com Uso: pastagem 1 a 6; Cana de açúcar 7 a 14; laranja 15 a 17; eucalipto 18.	68
Figura 4.13 - Comportamento do NTG e umidade média no solo Retrabalhados arenoargilosos, com uso: pastagem 1 a 8 cana de açúcar 9 a 14.	69
Figura 4.14 - Comportamento do NTG e umidade média no solo Retrabalhados arenosos da serra, com uso: cana de açúcar 1 a 5. Pastagem 6 a 11.	69
Figura 4.15 - Comportamento do NTG e umidade média no solo Residuais de Itaqueri, com uso: pastagem 1 a 3; Cana de açúcar 4 a 7.	69
Figura 4.16 - Comportamento do NTG e umidade média no solo Residuais de Serra Geral, com uso: pastagem 1 a 6.	70
Figura 4.17 - Comportamento do NTG e umidade média no solo Residuais de Botucatu, com uso: pastagem 1 a 4.	70
Figura 4.18 – Correlação de NTG x Umidade média para as umidades de material retrabalhados arenosos em topo, considerando uso do solo: cultura de cana de açúcar.	71
Figura 4.19 – Correlação de NTG x Umidade média para as umidades de material retrabalhados arenosos em topo, sem o ponto 24, considerando o uso do solo: cultura de cana de açúcar.	72
Figura 4.20 – Correlação de NTG x Umidade média para as umidades de material retrabalhados arenosos com pedregulho considerando o uso do solo: cultivo de laranja.	72
Figura 4.21 – Correlação de NTG x Umidade média para as umidades de material retrabalhados arenosos com pedregulho considerando o uso do solo: cultura de laranja sem o ponto 19.	72
Figura 4.22 – Correlação de NTG x Umidade média para as umidades de material retrabalhados arenosos em topo, considerando o uso do solo: manejo de pastagem.	73
Figura 4.23 – Correlação de NTG x Umidade média para as umidades de material retrabalhados arenosos em topo, considerando o uso do solo:	73

cultivo de laranja.

Figura 4.24 – Correlação de NTG x Umidade média para as umidades de material retrabalhados arenosos em topo, considerando o uso do solo: cultivo de laranja e eucalipto. 73

Figura 4.25 – Correlação de NTG x Umidade média para as umidades de material retrabalhados arenoargilosos, considerando o uso do solo: cultura de cana de açúcar. 74

Figura 4.26 – Correlação de NTG x Umidade média para as umidades de material retrabalhados areno argilosos , considerando o uso do solo: pastagem. 74

Figura 4.27 – Correlação de NTG x Umidade média para as umidades de material, residuais da Fm. Pirambóia considerando o uso do solo: cana de açúcar. 74

Figura 4.28 – Correlação de NTG x Umidade média para as umidades de material, residuais da Fm. Pirambóia considerando o uso do solo: cultivo de laranja. 75

Figura 4.29 - Correlação de NTG x Umidade média para as umidades de material, residuais da Fm. Pirambóia considerando o uso do solo: eucalipto. 75

Figura 4.30 – Correlação de NTG x Umidade média para as umidades de material, residuais da Fm. Pirambóia considerando o uso do solo: manejo de pastagem. 75

Figura 4.31 – Correlação de NTG x Umidade média para as umidades de material, Retrabalhados arenosos da serra, considerando o uso do solo cultivo de cana de açúcar 76

Figura 4.32 – Correlação de NTG x Umidade média para as umidades de material, retrabalhados arenosos da serra, considerando o uso do solo: pastagem. 76

Figura 4.33 – Correlação de NTG x Umidade média para as umidades de material, residuais da Fm. Itaqueri, considerando o uso do solo: cultivo de cana de açúcar. 76

Figura 4.34 – Correlação de NTG x Umidade média para as umidades de material, residuais da Fm. Itaqueri , considerando o uso do solo: pastagem. 77

Figura 4.35 - Correlação de NTG x Umidade média para as umidades de material, residuais da Fm. Serra Geral, considerando o uso do solo: pastagem. 77

Figura 4.36 – Correlação de NTG x Umidade média para as umidades de material, residuais da Fm.Botucatu , considerando o uso do solo: pastagem. 77

Figura 4.37 - Comportamento da resistência a penetração frente a práticas 81

de pastagem, laranja, cana e eucalipto nos materiais inconsolidados Residuais Pirambóia.

Figura 4.38 - Comportamento da resistência a penetração frente a pratica de cana de açúcar, pastagem laranja e eucalipto, nos materiais inconsolidados Retrabalhados arenosos em topo. 81

Figura 4.39- Comportamento da resistência a penetração frente a pratica de cana de açúcar e pastagem, nos materiais inconsolidados Retrabalhados arenoargilosos. 82

Figura 4.40 - Comportamento da resistência a penetração frente a pratica de cana de açúcar e pastagem, nos materiais inconsolidados Retrabalhados arenosos da serra. 83

Figura 4.41 - Comportamento da resistência a penetração frente a pratica de cana de açúcar e pastagem, nos materiais inconsolidados Residual Itaquerí. 83

Figura 4.42 - Comportamento da resistência a penetração frente a praticas de laranja para materiais inconsolidados Retrabalhados arenosos com pedregulho. 84

Figura 4.43 - Comportamento da resistência a penetração frente a praticas de pastagem para materiais inconsolidados Residuais da Fm. Serra geral. 84

Figura 4.44 - Comportamento da resistência a penetração frente a praticas de pastagem para materiais inconsolidados Residuais da Fm. Botucatu. 85

Figura 4.45 - Esboço da boçoroca onde foram realizados os ensaios com penetrômetro de impacto. 85

Figura 4.46 – Boçoroca de jusante para montante. 86

Figura 4.47 - Lado esquerdo da boçoroca, processo erosivo está ativo. 86

Figura 4.48 – Lado esquerdo da boçoroca, processo erosivo está ativo. 86

Figura 4.49 – Boçoroca de montante para jusante 87

Figura 4.50 - Comportamento da resistência a penetração frente as práticas de cana e pastagem para materiais inconsolidados Retrabalhados em topo, na voçoroca em análise. 87

Figura 4.51 - Comportamento da resistência de penetração considerando dois teores de umidade. 90

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1- Propriedades do solo BERTONI & LOMBARDI NETO (1999), modificado.	Pág. 20
Tabela 2.2- Estágio evolutivo das voçorocas, Fiores e Soares (1976), modificado.	26
Tabela 4.1- Distribuição das formações por área	51
Tabela 4.2- Distribuição das materiais inconsolidados por área	54
Tabela 4.3 – Resultados de ensaios de caracterização dos materiais inconsolidados	55
Tabela 4.4 – Classes de declividade	59
Tabela 4.5 – Tabela de atributos de cada feição erosiva	61
Tabela 4.6 – Relação de valores NTG x umidade gravimétrica média, para os diferentes tipos de materiais inconsolidados e atividades de uso do solo	66
Tabela 4.7 – Valores de correlação NTG x umidade por tipo de ocupação do solo	79
Tabela 4.8. Valores de umidade mínimas e máximas encontrada nos ensaios	80

SUMÁRIO

Capítulo 1 - Introdução	11
1.1 OBJETIVOS.....	12
Capítulo 2 – Revisão bibliográfica	13
2.1 EROSÃO.....	13
2.1.1 FATORES QUE INFLUENCIAM NA EROSÃO.....	14
2.1.1.1 <i>Erodibilidade</i>	15
2.1.1.2 <i>Erosividade</i>	15
2.1.1.3 <i>Chuvas e infiltração</i>	16
2.1.1.4 <i>Topografia do relevo</i>	17
2.1.1.5 <i>cobertura vegetal</i>	18
2.1.1.6 <i>Tipos de Solo</i>	19
2.1.1.7 <i>Atividade Antrópica</i>	20
2.2 TIPOS DE ESCOAMENTOS.....	21
2.2.1 ESCOAMENTO SUPERFICIAL.....	21
2.2.2 ESCOAMENTO SUBSUPERFICIAL.....	22
2.3 TIPOS DE EROSÃO.....	22
2.3.1 EROSÃO EM SULCO.....	23
2.3.2 EROSÃO EM RAVINA.....	24
2.3.3 EROSÃO EM BOÇOROCA.....	24
2.3.3.1 <i>BOÇOROCAS URBANAS</i>	25
2.3.3.2 <i>BOÇOROCAS RURAIS</i>	25
2.3.4 EROSÃO EM PIPING.....	27
2.4 ZONAS DE OCORRENCIA DE FEIÇÕES EROSIVAS.....	27
2.4.1 ZONAS URBANAS.....	27
2.4.2 ZONAS RURAIS.....	29
2.5 COMPACTAÇÃO DO SOLO.....	30
Capítulo 3 – Materiais e Métodos	35
3.1 PRIMEIRA ETAPA.....	35
3.2 SEGUNDA ETAPA.....	37
3.2.1 MAPA DE DOCUMENTAÇÃO.....	37
3.2.2 MODELO DIGITAL DO TERRENO.....	38
3.2.3 DECLIVIDADE.....	39
3.2.4 MAPA DO SUBSTRATO ROCHOSO E DE MATERIAIS INCONSOLIDADOS.....	39
3.2.5 INVENTÁRIO DAS FEIÇÕES EROSIVAS.....	39
3.2.6 ENSAIO DE CARACTERIZAÇÃO.....	40
3.2.7 ENSAIO DE ERODIBILIDADE.....	40
3.3 TERCEIRA ETAPA.....	44
3.3.1 ENSAIOS COMO O PENETROMETRO DE IMPACTO.....	44
Capítulo 4 – Resultados	47
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA.....	47
4.1.1 LOCALIZAÇÃO.....	47
4.1.2 GEOMORFOLOGIA.....	48
4.1.2.1 <i>Planalto Ocidental</i>	50
4.1.2.2 <i>Cuestas Basálticas</i>	50
4.1.2.3 <i>Depressão Periférica</i>	50
4.1.3 VEGETAÇÃO.....	50
4.1.4 CLIMA.....	50

4.2 MAPA DE DOCUMENTAÇÃO	51
4.3 MAPA DO SUBSTRATO ROCHOSO	51
4.3.1 FORMAÇÃO ITAQUERI.....	51
4.3.2 FORMAÇÃO SERRA GERAL.....	52
4.3.3 FORMAÇÃO BOTUCATU	52
4.3.4 FORMAÇÃO PIRAMBÓIA.....	53
4.4 MAPA DE MATERIAIS INCONSOLIDADOS.....	53
4.4.1 RESIDUAIS FORMAÇÃO ITAQUERI (UNIDADE 1).....	54
4.4.2 RESIDUAIS FORMAÇÃO SERRA GERAL (UNIDADE 2).....	54
4.4.3 RESIDUAIS FORMAÇÃO BOTUCATU (UNIDADE 3).....	56
4.4.4 RESIDUAIS FORMAÇÃO PIRAMBÓIA (UNIDADE 4).....	56
4.4.5 RETRABALHADOS ARENOSOS DA SERRA (UNIDADE 5).....	56
4.4.6 RETRABALHADOS ARENOSOS EM TOPO (UNIDADE 6).....	57
4.4.7 RETRABALHADOS ARENO-ARGILOSOS (UNIDADE 7).....	57
4.4.1 RETRABALHADOS ARENOSOS COM PEDREGULHOS (UNIDADE 8).....	58
4.4.1 RETRABALHADOS ALUVIÃO.....	58
4.5 CARTA DE DECLIVIDADE.....	59
4.6 INVENTÁRIO DAS EROSÕES.....	59
4.7 RESULTADOS DO ENSAIO COM O PENETROMETRO DE IMPACTO.....	65
4.7.1 COMPORTAMENTO DOS MATERIAIS INCONSOLIDADOS CONSIDERANDO A ANÁLISE DE ENSAIO DE PENETRAÇÃO.....	80
4.7.1.1 <i>Material inconsolidado Residual Pirambóia</i>	80
4.7.1.2 <i>Material inconsolidado Retrabalhado Arenoso em topo</i>	81
4.7.1.3 <i>Material inconsolidado Retrabalhado Areno-argiloso</i>	82
4.7.1.4 <i>Material inconsolidado Retrabalhado Arenoso da Serra</i>	82
4.7.1.5 <i>Material inconsolidado Residual Itaqueri</i>	83
4.7.1.6 <i>Materiais inconsolidados Retrabalhados arenosos com pedregulho, Residual de Serra Geral, Residual de Botucatu</i>	84
4.7.2 ANÁLISE DETALHADA DE UMA FEIÇÃO EROSIVA UTILIZANDO O PENETROMETRO.....	85
4.7.3 ANÁLISE CONJUNTA DOS NTG DOS SOLOS E OS DIFERENTES USOS.....	88
 Capítulo 5 – Conclusão.....	 93
 Capítulo 6 – Referências Bibliográficas.....	 97
 <i>ANEXO I – Mapa de Documentação</i>	
 <i>ANEXO II – Mapa de Substrato Rochoso</i>	
 <i>ANEXO III – Mapa de Materiais Inconsolidados</i>	
 <i>ANEXO IV – Carta de Declividade</i>	
 <i>ANEXO V – Inventário das Feições Erosivas</i>	

Devido ao crescimento desordenado das cidades, um dos problemas comuns é o relacionado a formação de processos erosivos. Quando esses estão associados à ação antrópica, tornam-se um sério problema ambiental e econômico.

Um dos principais problemas ambientais que afeta algumas cidades é a erosão urbana, devido ao processo de ocupação sem planejamento e às práticas de parcelamento do solo inadequadas e deficientes. Nas áreas rurais, os problemas são causados pelo uso do solo, onde o seu manejo inadequado, aliado ao desmatamento e ao uso intensivo da agricultura, resulta na sua instabilidade e conseqüente erosão. Os fatores determinantes dos processos erosivos podem ser de ordem natural (clima, relevo, solo, vegetação) e antrópica (desmatamentos, cultivo de terras, etc). Chuvas concentradas, encostas desprotegidas de vegetação, contato solo-rocha abrupto, descontinuidades litológicas e pedológicas, encostas íngremes são algumas condições naturais que podem acelerar os processos. Apesar das causas naturais, por si só, deflagrarem processos de degradação ambiental, a ocupação humana desordenada, aliada às condições naturais de risco, podem provocar desastres, que envolvem, muitas vezes, prejuízos materiais e perdas humanas (GUERRA & CUNHA, 1996).

A magnitude do processo erosivo pode ultrapassar valores críticos, ou seja, acima da capacidade dos sistemas ambientais de absorver os efeitos instantâneos e subseqüentes, tornando-se um problema à preservação ambiental e a manutenção da qualidade de vida humana. Trata-se, portanto de um fenômeno de risco ambiental, que pode constituir-se num impedimento ao processo de desenvolvimento sustentável em espaços urbanos. (COELHO NETO, 1998).

Apesar do Município São Pedro/SP possuir vários estudos relacionados aos processos erosivos, o problema continua, tornando necessário que novas abordagens e novas suposições sejam levantadas, para uma tentativa de melhor equacionar esses problemas.

A compactação do solo ocasionada por atividades antrópicas interfere nas suas propriedades, principalmente no balanço infiltração/escoamento superficial. Atividades agrícolas intensivas, com uso de máquinas, tendem a provocar a compactação do solo até profundidades que podem atingir 60 cm ou mais. Esta alteração nas características superficiais dos solos, por aumentar o escoamento superficial em algumas áreas, levar ao surgimento ou aceleração dos processos erosivos, principalmente por fluxos de água concentrados.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é estudar os efeitos da compactação do solo em diferentes usos agrícolas, utilizando um penetrômetro de impacto e correlacionar esses dados com o inventário de erosões lineares realizado na região de São Pedro – SP. Como objetivo secundário pretende-se contribuir para o melhor conhecimento do meio físico da região com a execução de diversos documentos cartográficos, tais como: mapa de documentação, mapa de Inventario de erosões, mapa de substrato rochoso, mapa de materiais inconsolidados.

2.1 EROSÃO

Erosão é um processo de desagregação e remoção de partículas do solo ou de fragmentos e partes da rocha, pela ação combinada de gravidade, água, vento, gelo e ou organismos (IPT, 1996).

A degradação dos solos pode ser considerada um dos mais importantes problemas ambientais. Dentre os tipos de degradação, a erosão hídrica é considerada a que mais tem afetado a capacidade produtiva dos solos, facilitada e acelerada pelo homem com suas práticas inadequadas de manejo agrícola (CARVALHO et al., 2001).

Segundo Prandi & Vilar (1993) a erosão consiste em um conjunto de processos pelos quais os materiais da crosta terrestre são desagregados, dissolvidos ou desgastados e transportados de um ponto para outro pelos agentes erosivos, tais como geleiras, os rios, mares, vento ou a chuva.

Para ter-se a compreensão dos processos erosivos devem ser levados em consideração os fatores controladores que determinam as variações nas taxas de erosão tais como: erosividade da chuva (total pluviométrico, intensidade e energia cinética); as propriedades dos solos; cobertura vegetal; características das encostas (declividade, comprimento, forma); uso e manejo do solo (atuação do homem de forma inadequada), e também o reconhecimento das várias formas erosivas como a erosão em lençol, ravinas, voçorocas e o papel dos escoamentos superficial e subsuperficial (GUERRA et.al.2001).

2.1.1 FATORES QUE INFLUENCIAM NA EROSÃO

Os processos erosivos estão relacionados aos fatores intervenientes do meio físico, e estes são classificados como predisponentes, deflagradores e modificadores (SOUZA, 2001).

Os atributos predisponentes referem-se a um conjunto de características naturais, intrínsecas aos terrenos nos quais os processos vão ocorrer. Neste caso são as características físicas, químicas e a erodibilidade do solo, além das configurações do relevo. Os atributos deflagradores são responsáveis por desencadear os processos erosivos, como a erosividade da chuva, escoamento superficial, escoamento subsuperficial, infiltração e armazenamento da água. Os atributos modificadores são aqueles capazes de modificar as condições naturais do meio físico, neste caso é a ação antrópica (ALMEIDA FILHO & VIRGILI, 1998).

Segundo Yamanout (2003) a erosão é resultado da combinação entre os agente deflagrador/transportador e predisponente, com as características do solo, do relevo, da água, da cobertura vegetal, e das atividades antrópicas (Figura 2.1).

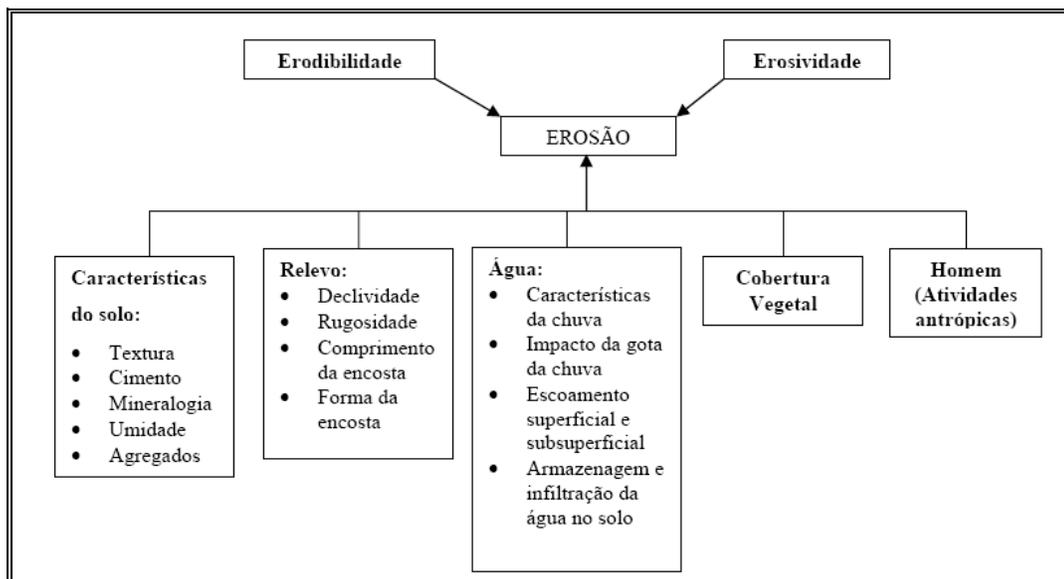


Figura 2.1 - Os fatores que condicionam a formação de erosão (Yamanout, 2003)

2.1.1.1 Erodibilidade

Segundo Owoputi & Stole (2001) existem vários fatores que podem reduzir a erodibilidade dos solos como: compactação do solo pelo impacto das gotas da chuva, maior profundidade do fluxo e uma menor declividade na zona erodida.

A erodibilidade dos materiais inconsolidados está relacionada a dois fatores principais, que são a destacabilidade e a transportabilidade das partículas. Para solos finos a destacabilidade das partículas é mais difícil, devido às forças de atração entre elas, mas uma vez destacadas, mantêm - se em suspensão e são transportadas com facilidade. No caso dos solos grossos, normalmente não existem forças de coesão, assim as partículas destacam-se mais facilmente, mas a medida que a granulométrica aumenta, diminui a sua transportabilidade (PEJON, 1992). A erodibilidade pode ser conceituada como o índice relativo às propriedades inerentes ao solo, e que reflete a sua suscetibilidade à erosão (STEIN, 1987).

2.1.1.2 Erosividade

O conceito de erosividade corresponde às perdas por erosão devidas as chuvas, em um solo perfeitamente uniforme, com comprimento de rampa e declividade padronizado, totalmente homogêneo, com cobertura vegetal também padronizada. Desta forma, poderíamos conceituar a erosividade das chuvas como a influência do fator chuva sobre as perdas de solo, desde que todas as outras variáveis permanecessem idealmente constantes, ou seja, a erosividade é a capacidade potencial da chuva em causar erosão do solo.

Segundo Morgan (1996) a erosividade da chuva é um índice baseado na energia cinética da chuva. Assim a erosividade de uma chuva é em função da sua

intensidade e duração, e da massa, diâmetro e velocidade da gota de chuva. Para Nishiyama (1998) capacidade da chuva em causar erosão do solo é atribuída à intensidade e ao tamanho das gotas os quais determinam a energia da chuva.

2.1.1.3 Chuvas e Infiltração

Para entender os processos erosivos é necessário entender dois eventos importantes: o impacto da gota de chuva e o escoamento superficial e subsuperficial. O impacto das gotas de chuvas na superfície do solo promove desagregação e liberação das partículas, já o escoamento permite o transporte das partículas liberadas. As gotas de chuva ao atingirem a superfície do solo deslocam os materiais da sua posição inicial, iniciando assim o processo de erosão do solo.

Segundo Selby (1993), a erosão pelo impacto da gota da chuva é responsável por quatro efeitos: desagregação das partículas do solo; pequeno deslocamento lateral (rastejamento); saltação de partículas juntamente com as gotas de chuva (“splash”) e distribuição das partículas. Já Kinnell (2001) sugere quatro tipos de destacamento e transporte de partículas na geração dos processos erosivos, são eles: destacamento pelo impacto da gota de chuva e transporte por “splash”, destacamento pelo impacto da gota de chuva e transporte por fluxo induzido por esta, destacamento pelo impacto da gota de chuva e transporte por fluxo natural, destacamento e transporte por fluxo natural de escoamento.

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

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

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, denudando assim o terreno (RODRIGUES, 1982).

2.1.1.4 Topografia do Relevo

A topografia é um fator natural que determina a velocidade dos processos erosivos. Maiores velocidades de erosão podem ser 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 trecho percorrido pela água que escoar, ou seja, quanto maior for o comprimento da encosta. Por isso, a influência da topografia na erosão é analisada pela ponderação de dois fatores: declividade e comprimento da encosta (DAEE, 1990).

Rodrigues (1982) atribuiu 3 componentes do relevo que condicionam a erosão do solo: formas da encosta; extensão e grau de declividade. A declividade é o fator mais relevante no desenvolvimento dos fenômenos erosivos acelerados.

Rodrigues (1982) associa diferentes tipos de erosão à forma das encostas. Ainda cita que as encostas convexas coletoras, e secundariamente em encostas convexas

dispersoras, desenvolvem-se boçorocas. A encosta côncava (dispersora ou coletora) é a menos propensa a erosão por esta feição. O autor utilizou a classificação das formas de encosta de (Troeh, 1965, apud Rodrigues (1982)).

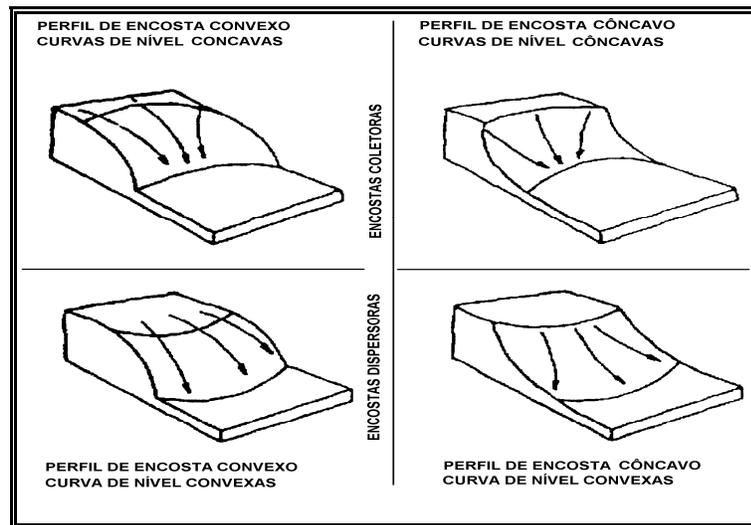


Figura 2.2 - Tipos de encostas segundo Troeh (1965) apud, Rodrigues (1982)

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

2.1.1.5 Cobertura Vegetal

Segundo Bertoni & Lombardi Neto (1999), a cobertura vegetal é a defesa natural de um terreno contra a erosão, sendo que o efeito na erosão pode ser assim resumido: proteção direta contra o impacto das gotas de chuva; dispersão da água interceptando-a e evaporando-a antes que atinja o solo; decomposição das raízes das plantas que formando canalículos no solo aumentam a infiltração; melhoramento

da estrutura do solo pela adição de matéria orgânica, aumentando a sua capacidade de retenção de água; diminuição da velocidade de escoamento superficial.

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

A densidade e o tipo de cobertura vegetal são importantes para minimizar a ação dos processos erosivos no solo.

2.1.1.6 Tipos de Solo

O solo é considerado um fator intrínseco, pois além de comandar a erosão, o mesmo, também é afetado por ela. O tipo de solo é um fator que determina a susceptibilidade a erosão, a erodibilidade, ou seja, maior ou menor facilidade dos solos serem erodidos (FONTES, 1998).

Segundo Bitar (1995) as propriedades físicas do solo, principalmente textura, estrutura, permeabilidade, e densidade, e as características químicas, biológicas e mineralógicas, exercem diferentes influências na erosão, ao conferir maior ou menor resistência a ação das águas.

Na Tabela 2.1 podem-se observar as propriedades do solo que influenciam na erodibilidade do solo.

Tabela 2.1 - Propriedades do solo BERTONI & LOMBARDI NETO (1999), modificado.

Propriedade do solo	Características
Textura	Textura, ou seja, o tamanho das partículas influi na capacidade de infiltração e de absorção da água de chuva, interferindo no potencial de escoamento superficial e quantidade de solo arrastado pela erosão, pois solos de textura arenosa são mais porosos, rápida infiltração. Solos de textura argilosas, que atuam como uma ligação entre as partículas maiores, apresenta maior facilidade para a remoção das partículas, como se verifica mesmo em pequenas enxurradas;
Estrutura	Modo como se arranjam as partículas do solo igualmente a textura, influi na capacidade de infiltração e absorção da água de chuva, e na capacidade de arraste da partícula do solo.
Permeabilidade	Esta determina a maior ou menor capacidade de infiltração das águas de chuva, estando diretamente relacionada com a porosidade do solo.
Densidade	É a relação entre a sua massa total e volume, é inversamente proporcional à porosidade e permeabilidade. A compactação do solo favorece um aumento da densidade, com a diminuição dos macroporos, tornando o solo mais erodível.
Matéria orgânica	A matéria orgânica incorporada no solo permite maior agregação e coesão entre as partículas, tornando o solo mais estável em presença de água, mais poroso e com maior poder de retenção de água. A matéria orgânica aumenta a capacidade de infiltração do solo.

2.1.1.7 Atividades Antrópica

Para Rodrigues (1982), a implantação de núcleos urbanos, preferencialmente no topo das colinas, altera completamente o meio físico, onde a pavimentação diminui a infiltração, levando a um aumento do escoamento superficial, inclusive concentrando-o, sendo assim, responsáveis pelo desenvolvimento de erosões Peri-urbanas.

Segundo Fontes (1998) a ocupação do meio físico pelo homem está relacionada a uma série de aspectos destrutivos. Esses foram associados principalmente ao uso de técnicas impróprias e a um total desconhecimento de processos interdependentes, que são responsáveis pela existência equilibrada do meio físico. Desta forma o homem é um agente modificador do meio físico mais atuante nos processos erosivos, devido a sua atuação a erosão natural torna-se

acelerada, degradando o meio físico desencadeando o desequilíbrio do meio, ocasionando problemas sócio-econômicos da área afetada por processos erosivos acelerados.

2.2 TIPOS DE ESCOAMENTO

2.2.1 ESCOAMENTO SUPERFICIAL

Ocorre o escoamento superficial, quando a capacidade precipitada é superior a capacidade de infiltração do solo, o excedente de água que não infiltra forma uma lamina de água que é denominado escoamento superficial, podendo ser escoamento laminar ou concentrado.

O escoamento superficial é um importante agente de erosão, ao mesmo tempo que realiza o destacamento, transporte e deposição das partículas do solo (FONTES, 1998).

A água do escoamento superficial é o mais importante agente de transporte, quando a erosão é causada pela chuva. O escoamento pode se mover sobre o terreno, de diversas maneiras, como em amplas superfícies, sem apresentar canais perceptíveis, como uma lâmina delgada de água denominando escoamento laminar, ou então a água se movimenta concentrada em micro-canais temporários, canais definitivos ou canais profundos, denominando escoamento concentrado (PEJON & ZUQUETTE, 2001).

Bigarella e Mazuchowsky (1985) afirmam que o escoamento superficial no terreno desempenha um papel importante no mecanismo erosivo e que a intensidade do fenômeno depende da sua velocidade do escoamento. Nas vertentes mais íngremes, a ação da gravidade acentua o processo. Desta forma, a erosão

acelerada afeta, principalmente, as vertentes mais íngremes, as mais arenosas, aquelas despidas de vegetação e os terrenos mal utilizados pela agricultura.

2.2.2 ESCOAMENTO SUBSUPERFICIAL

Parte da água da chuva ao atingir o solo se infiltra. A parcela de água, com exceção da água que é retida pela umidade do solo, que se movimenta em direção à jusante do ponto de infiltração, é a que compõem o escoamento subsuperficial (NISHIYAMA, 1998).

Quando o escoamento subsuperficial movimenta-se através de condutos, ocorre o processo erosivo interno no substrato rochoso e/ou no perfil de alteração chamado de piping, que é a formação de canais subsuperficiais de drenagem com configuração tubular, desenvolvendo a feição erosiva denominada de entubamento ou piping. (Yamanout, 2003).

2.3 TIPOS DE EROSÃO

Pejon (1992) classifica a erosão como natural quando a atuação dos processos erosivos se faz em ambiente onde é controlada somente pelo equilíbrio dos fatores naturais, se processando lentamente ao longo do tempo geológico. Em resumo, refere-se ao processo que ocorre naturalmente (em tempo geológico), sem influência antrópica. Para Fiori e Soares (1976) a erosão é acelerada quando a velocidade de remoção de material é tão rápida que não permite o desenvolvimento da vegetação.

Guerra & Cunha (1995) consideram três tipos básicos de erosão: erosão em lençol ou laminar: quando o escoamento superficial se distribui pela encosta de forma dispersa, não se concentrando em canais; erosão em ravinas: quando o

escoamento superficial se torna canalizado; erosão em boçorocas: relacionadas ao alargamento e aprofundamento das ravinas, sendo que algumas têm sua origem na erosão causada pelo escoamento subsuperficial.

Clayton (1972) classifica como dois tipos básicos de erosão hídrica: Erosão por escoamento laminar: erosão por escoamento superficial difuso; Erosão por escoamento concentrado (erosão linear): o fluxo de água se concentra em canais estáveis, a erosão linear é causada por escoamento superficial concentrado, cujo desenvolvimento pode ocorrer na forma: de sulcos, ravinas e num estágio mais avançado, como as boçorocas (DAEE, 1980).

Neste estudo será abordada a erosão linear, essa classificação possibilita uma melhor identificação das feições erosivas, podendo ser classificadas como: sulco, ravinas e boçorocas.

2.3.1 EROSIÃO EM SULCO

Sulco é uma forma de erosão que apresenta como pequenas incisões na superfície terrestre em forma de filetes rasos, e perpendiculares as curvas de nível (CANAL, 1995).

Para Bigarella & Mazuchowski (1985), os sulcos se encaixam na superfície, seguindo a direção de maior inclinação da vertente, e assim a velocidade da água causa erosão cada vez mais intensa. Para DAEE (1980), apresentando em geral profundidade e largura inferiores a cinquenta centímetros, tendo em suas bordas pequena ruptura na superfície do terreno.

Segundo Cerri et al. (1997), o termo sulco é utilizado quando se pode recuperar o entalhe erosivo por operações normais de preparo do solo. Geralmente,

a erosão em sulco apresenta-se associada a trilhas de gado e em locais de solo exposto devido à movimentação de terra.

2.3.2 EROSÃO EM RAVINA

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

As ravinas são iniciadas a uma distância crítica do topo da encosta, onde o escoamento superficial se torna canalizado, podendo ser formadas próximo à base, onde uma pequena incisão recua em direção ao topo (Guerra & Cunha, 1995).

Ridente Júnior (2000) considera as ravinas como produto do escoamento superficial concentrado, que forma as feições erosivas lineares, e ainda considera que os mecanismos de erosão envolvem movimentos de massa, representados pelos pequenos deslizamentos nos seus taludes laterais, causados por solapamento de suas bases devido ao escoamento superficial em seu interior, que provoca seu alargamento. A erosão linear em ravina é considerada de grande porte com largura superior a 1m, e profundidade superior a 0,5m, a feição das bordas são abruptas, com ruptura instável da superfície do terreno. Há um transporte intenso de sedimentos.

2.3.3 EROSÃO EM BOÇOROCAS (EROSÃO ACELERADA)

A erosão acelerada, conhecida por boçoroca se desenvolve pelo escoamento da água condicionado a fatores locais (RODRIGUES, 1982). As águas superficiais são responsáveis pelo aparecimento das boçorocas, enquanto que à água subsuperficial cabe a responsabilidade de desencadear o avanço lateral destas,

através de várias formas de atuação, inclusive pelo arraste de partículas do maciço (RODRIGUES & VILAR, 1984).

Segundo Morgan (1996), as voçorocas (ou boçorocas) são cursos de água relativamente permanente com paredes altas, que conduzem pequenos fluxos durante as chuvas. As boçorocas se caracterizam por ter uma cabeceira e diferentes ressaltos ao longo de seu curso. Estas feições são consideradas como erosão acelerada, portanto, são consideradas formas de paisagens instáveis.

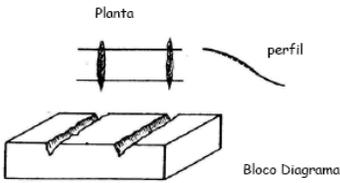
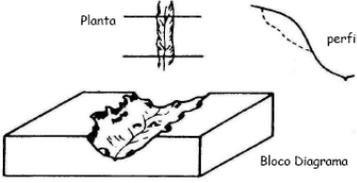
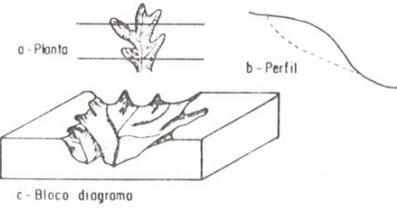
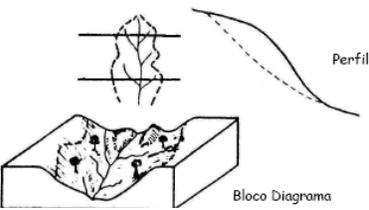
Alguns autores classificaram os tipos boçorocas, tais como Brice (1966), que classificou em 3 tipos: de cabeceira, de fundo de vale e de encosta; Fiore e Soares (1976) classificam as boçorocas em 4 estágios: inicial, juvenil, maturo e senil. A Tabela 2.2 foi elaborado com base em Fiore e Soares (1976).

Iwasa & Prandini (1980) classificam as erosões de acordo com seu local de ocorrência em:

2.3.3.1 Boçorocas Urbanas: são aquelas que ocorrem em cidades instaladas em terrenos de baixa resistência à erosão, que quando não calçadas apresentam ravinamento iniciados nas próprias ruas, visto que estas são as principais adutoras de águas captadas pelos telhados, sendo isso somado ao “runoff” local. Estas ravinas se transformam em voçorocas assim que atingem o lençol freático. Os alargamentos das feições destroem casas e obras públicas.

2.3.3.2 Boçorocas Rurais: desenvolvem-se nas pastagens e culturas de má cobertura, sujeitas a manejo inadequado e segundo se acredita, na maioria das vezes, são produtos do ravinamento iniciado ao longo de valas de demarcação, trilhas e linhas de plantio. O fenômeno se manifesta

quando uma ravina intercepta o lençol freático e se transforma em uma boçoroca típica, podendo sua seção ser em U ou em V.

Tabela 2.2 Estágio evolutivo das boçorocas, Fiore e Soares (1976), modificado.	
Estágio das Boçorocas	Características
<p>Inicial</p>  <p>Planta</p> <p>perfil</p> <p>Bloco Diagrama</p>	<p>O leito apresenta-se com perfil irregular, acompanhando a encosta; Seção transversal em V, com paredes retilíneas; Não tem ramificações e os limites apresentam-se regulares; A base do sulco está elevada em relação a base da encosta.</p>
<p>Juvenil</p>  <p>Planta</p> <p>perfil</p> <p>Bloco Diagrama</p>	<p>Perfil de leito irregular, com forma similar a encosta, porém com gradiente independente; Seção transversal em V aberto, com paredes côncavas para o vale; Linha de contorno irregular, porém sem ramificações; A base da boçorocas esta elevada em relação a base da encosta.</p>
<p>Maturo</p>  <p>a - Planta</p> <p>b - Perfil</p> <p>c - Bloco diagrama</p>	<p>O perfil do leito é regular, independente do perfil da encosta côncava; A base da boçoroca atingiu o nível de base de encosta; A boçoroca apresenta ramificações com linhas de contorno irregulares, estas ramificações podem apresentar as características do estágio juvenil; Seção transversal em U; fundo chato e paredes côncavas.</p>
<p>Senil</p>  <p>Perfil</p> <p>Bloco Diagrama</p>	<p>Perfil do leito apresenta-se como estágio maduro; Linha de contorno pouco irregular; Ramificação com as mesmas características do leito principal; Paredes com inclinação suave e relevo arredondado; Cobertura vegetal em toda parte; leito maior coberto com depósitos aluviais.</p>

Outra classificação é de Fendrich (1997), em que as boçorocas, podem ser classificadas de acordo com alguns aspectos, tais como: a seção transversal, o tamanho, a profundidade, o formato em planta, entre outros. De acordo com a seção

transversal, elas podem ser diferenciadas em boçorocas com vale em formato “U” e boçorocas com vales em formato “V”, figura 2.3.

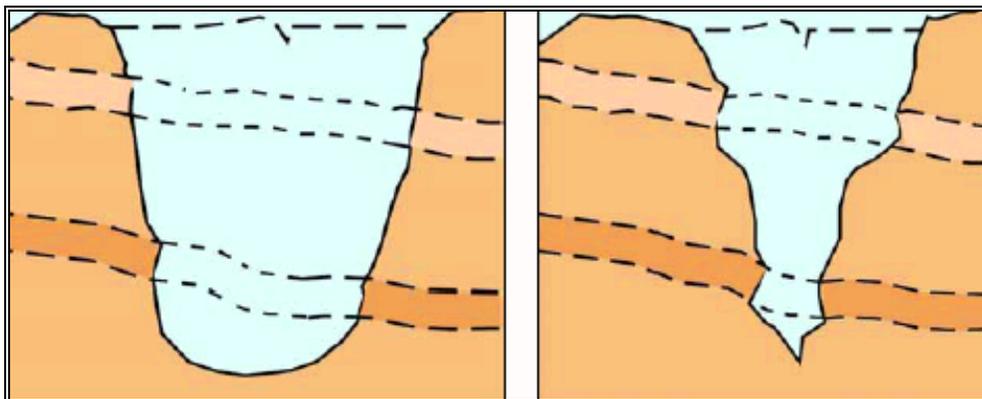


Figura 2.3 - Classificação de boçorocas de acordo com o tipo de seção transversal. Formatos “U” e “V”, respectivamente. Fendrich, (1997)

2.3.4 EROSIÃO EM *PIPING*

Quando os vazios criados no interior do solo pelo *piping* tornam-se significativos, podem dar origem a colapsos do terreno, com desabamento que alargam as voçorocas ou criam novos ramos. Associam-se também aos processos de erosão interna os deslocamentos e solapamento da base das paredes das boçorocas, que provocam desmoronamento ou escorregamento de solos (DAEE,1990).

2.4 ZONAS DE OCORRÊNCIAS DAS FEIÇÕES EROSIVAS

2.4.1 ZONAS URBANAS

Salomão e Iwasa (1995) mencionam que as erosões urbanas estão associadas a uma carência de um planejamento adequado, que leve em consideração as particularidades do meio físico, como também, às condições sociais e econômicas das tendências de desenvolvimento da área urbana. Para ele, os resultados da ampliação das áreas construídas e pavimentadas, aumentam

substancialmente o volume e a velocidade das enxurradas, concentrando o escoamento, acelerando os processos de ravinamento e boçorocamento. O mesmo autor chama a atenção para o fato de haver outros problemas como o assoreamento dos cursos de água, além do entupimento das redes de galerias intensificados pela erosão.

Segundo Ridente e Almeida Filho (1998), na origem, a erosão urbana está associada à falta de planejamento adequado, que considere as particularidades do meio físico, às condições socioeconômicas e às tendências de desenvolvimento da área urbana. Este desenvolvimento amplia as áreas construídas e pavimentadas aumentando substancialmente o volume e a velocidade dos escoamentos e, desde que não dissipadas, concentra os escoamentos, acelerando os processos de desenvolvimento de ravinas e voçorocas, com perdas significativas para a população e o poder público local.

O desenvolvimento das boçorocas nas áreas urbanas provoca algumas conseqüências ao meio ambiente como pode ser visto na Tabela 2.3.

Além dos impactos sociais e econômicos, devido o desencadeamento destas feições atingirem imóveis e infra-estruturas representadas por: obras de redes de água, esgoto, telefone, eletricidade, drenagem pluvial e pavimentação, este autor cita ainda como conseqüências indiretas a paralisação do tráfego e depreciação imobiliária. Além de todos estes problemas a erosão é um fator limitante da expansão urbana, em função dos altos custos de correção, desenvolvimento de focos de doenças (pela prática comum de aterro com lixo urbano e despejo de esgoto) e assoreamento de galerias e fundos de vale (acarretando graves problemas de inundações e perda da capacidade de armazenamento d'água dos reservatórios de abastecimento público).

Tabela 2.3. Impactos ambientais da ocupação sobre o meio físico (modificada de Chiossi, 1983) apud Almeida Filho (1998).

	Ocupação	Intervenção	Impactos	Conseqüências
Urbana	Loteamento	Remoção e cobertura vegetal e terraplenagem; cortes e aterros.	Erosão e modificação da paisagem	Assoreamento; Inundação/enchente
	Área industrial	Remoção e cobertura vegetal e terraplenagem; cortes e aterros.	Erosão localizada, poluição do ar, solo e água.	Assoreamento, contaminação do ar, solo e água.
	Sistema Viário	Desmatamento; terraplenagem; cortes e aterros; sistema de drenagem.	Erosão; escorregamento	Assoreamento
	Infra-estrutura urbana	Escavações; Sistema de drenagem; terraplenagem; cortes e aterros.	Erosão; escorregamento	Assoreamento; Inundação/enchente.

2.4.2 ZONAS RURAIS

Nas áreas rurais, os problemas causados pelo uso da terra se manifestam de formas variadas, onde o seu manejo inadequado aliado ao desmatamento, e ao uso intensivo da agricultura resulta na sua instabilidade, podendo resultar em erosão, movimentos de massa que podem acarretar o assoreamento do curso d'água e inundações. Esse uso inadequado da terra, aliado à intensa mecanização e à monocultura podem provocar erosão do tipo laminar, ravinas e boçorocas. A concentração das chuvas, os elevados teores de silte e areia fina, os baixos teores de matéria-orgânica e a elevada densidade aparente contribuem para o aumento da degradação nessas áreas (GUERRA & CUNHA, 1996).

Segundo Iwasa & Prandini (1980), as boçorocas em áreas rurais se desenvolvem geralmente em pastagens e em solos de culturas com má cobertura, sujeitas a manejo inadequado, e que na maioria das vezes o ravinamento é iniciado

ao longo de valas de demarcação, trilhas de linhas de plantio, e quando a ravina intercepta o lençol freático, e se transforma em uma voçoroca típica. Segundo esses autores a mudança do regime de escoamento, devido ao desmatamento, permite uma maior velocidade do escoamento da água pluvial, já que diminuem os obstáculos e estruturas retentoras de água.

É de extrema importância conhecer e entender os fatores responsáveis pelo surgimento e evolução das feições erosivas, para que medidas de controle possam ser estabelecidas.

2.5 COMPACTAÇÃO DO SOLO

Solos com elevado grau de compactação, apresentam uma estruturação que dificulta a infiltração da água e aumenta o escoamento superficial, o que favorece a atuação do processo de erosão pela retirada da camada superficial do solo. Por outro lado, solos com baixo grau de compactação apresentam melhor capacidade de infiltração, menores velocidade de escoamento superficial, conseqüentemente menor atuação da erosão (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1999). Silva (2005) ressalta que a quantificação do grau de compactação do solo, tem grande relevância, pois se relaciona diretamente com o escoamento e a infiltração da água no solo. Do ponto de vista físico, as variações nos conteúdos de água no solo provocam variações na consistência, sendo os solos muito resistentes às pressões a baixa umidade do solo, e muito suscetíveis a compactar-se com alta umidade do solo (HORN et al., 1995).

O teor de umidade do solo é um fator determinante no processo de compactação. Sendo assim, o estudo da compactação em solos sob vários potenciais de umidade e densidade inicial é de grande importância a fim de verificar

em que condições ela ocorre de maneira mais acentuada e qual o comportamento compressivo do solo em diferentes teores de umidade, para que se consiga minimizá-la (FERREIRA, et al, 2002).

Para quantificar o estado de compactação do solo o método mais comum é o que utiliza penetrômetros (Figura 2.4). Estes medem a resistência à penetração, como a força ou pressão necessária para inserir um cone de tamanho padrão no solo (BRADFORD, 1986). O método de cravação permite que a resistência a penetração de um solo seja inferida, a partir da relação entre o número de impactos executados e o valor de profundidade penetrado (SILVA, 2005).



Figura 2.4 – Penetrômetro utilizado na execução dos ensaios in situ.

O penetrômetro é muito utilizado na agricultura devido à facilidade, rapidez e à possibilidade de efetuar grande número de repetições na obtenção de dados, embora possa ocorrer dificuldades na interpretação dos resultados obtidos, devido à dependência desses em relação ao conteúdo de água e à densidade do solo (CASSEL et al., 1978 apud TAVARES FILHO, 1999).

Segundo Stolf et al. (1983), a determinação da resistência à penetração do solo, por ensaios de penetrometria pode ser realizada por meio do cálculo do índice de resistência a penetração (IRP) e por meio da quantificação do número total de golpes executados (NTG) para penetrar um valor de profundidade fixo. O IRP é calculado para diferentes profundidades do perfil ensaiado, e permite caracterizar o comportamento da resistência a penetração de um solo ao longo de um perfil de penetração. O NTG informa o comportamento de resistência a penetração de um local ensaiado e permite que seja verificado o comportamento da resistência a penetração de um solo frente a diferentes atividades de uso vigentes, por meio da comparação de medidas. O valor de NTG é calculado pelo número total de golpes até alcançar a profundidade do perfil ensaiado (60 cm).

O penetrômetro de impacto tem sido amplamente utilizado no campo para caracterizar a compactação provocada pelo uso e manejo do solo (TORMENA & ROLOFF, 1996). Os penetrômetros são utilizados para avaliar a resistência do solo à penetração em sistemas de uso e manejo, em que a haste penetra no solo em decorrência do impacto de um peso que cai em queda livre de uma altura constante (STOLF, 1991).

A umidade do solo é um parâmetro importante na quantificação da resistência à penetração, pois há elevada dependência dos resultados com relação ao conteúdo de água no solo. Beltrame et al. (1981) verificaram que, para um aumento de umidade do solo, ocorre redução na resistência do solo à penetração. O teor de água intervém, modificando a coesão entre as partículas do solo, que é maior no solo seco e decresce à medida que o teor de água aumenta provocando a separação das partículas.

Segundo Klein et al. (1998), pequenas reduções na umidade proporcionam incrementos acentuados da resistência do solo à penetração.

A resistência do solo à penetração é uma das características físicas do solo que exprime o grau de compactação e esse método de penetrômetro de impacto torna-se importante em razão do baixo custo, da não-necessidade de calibração. Para determinar a resistência a penetração é necessário que a mesma esteja relacionada com teor de umidade do solo

Para Gomar et al, (2002) a resistência à penetração pode ser utilizada para medir a resistência do solo ao tráfego com maquinaria, a resistência à penetração de raízes, e o estado de compactação existente.

Silva (2005) analisou medidas de resistência a penetração, utilizando tipos diferentes de materiais inconsolidados e os tipos de uso vigentes, considerando como parâmetro: o NTG (numero total de golpes em 60 cm de profundidade) e o valor de umidade dos perfis ensaiados na caracterização do comportamento de resistência a penetração dos materiais.

Para realização deste trabalho selecionou-se uma área com ocorrência de vários problemas de erosão, localizada no município de São Pedro-SP (Figura 4.1.) O estudo foi realizado na bacia do córrego da Barra, afluente da margem direita da represa de Barra Bonita, compreendendo uma área de 56,5 km². Inicialmente efetuou-se um levantamento dos trabalhos anteriores realizados na área. Em seguida, com auxílio da fotointerpretação e trabalhos de campo foram elaborados os seguintes documentos cartográficos na escala 1:10.000: mapa de substrato rochoso, mapa de materiais inconsolidados, uso e ocupação do solo e carta de declividades.

Desenvolveu-se em seguida uma extensiva atividade de campo para fazer o inventário das feições erosivas previamente identificadas nas fotografias aéreas. Nesta etapa procedeu-se também a coleta de amostras para ensaios de caracterização. Por fim foram realizados os ensaios de penetração com penetrômetro de impacto (modelo IAA/ Planalsuca – Stolf) e determinação de umidade até a profundidade de 60 cm em 121 pontos na área (2,1 ensaios /km²).

Para execução desta dissertação, as atividades foram divididas em três etapas (Figura 3.1):

- 1º Etapa em atividades de escritório,
- 2º Etapa em trabalhos de campo e laboratório,
- 3º Etapa elaborações dos mapas e Investigações utilizando o penetrômetro de impacto.

3.1 PRIMEIRA ETAPA

Nesta etapa foi desenvolvida a revisão e o levantamento de dados existentes e a delimitação da área de estudo (Córrego da Barra).

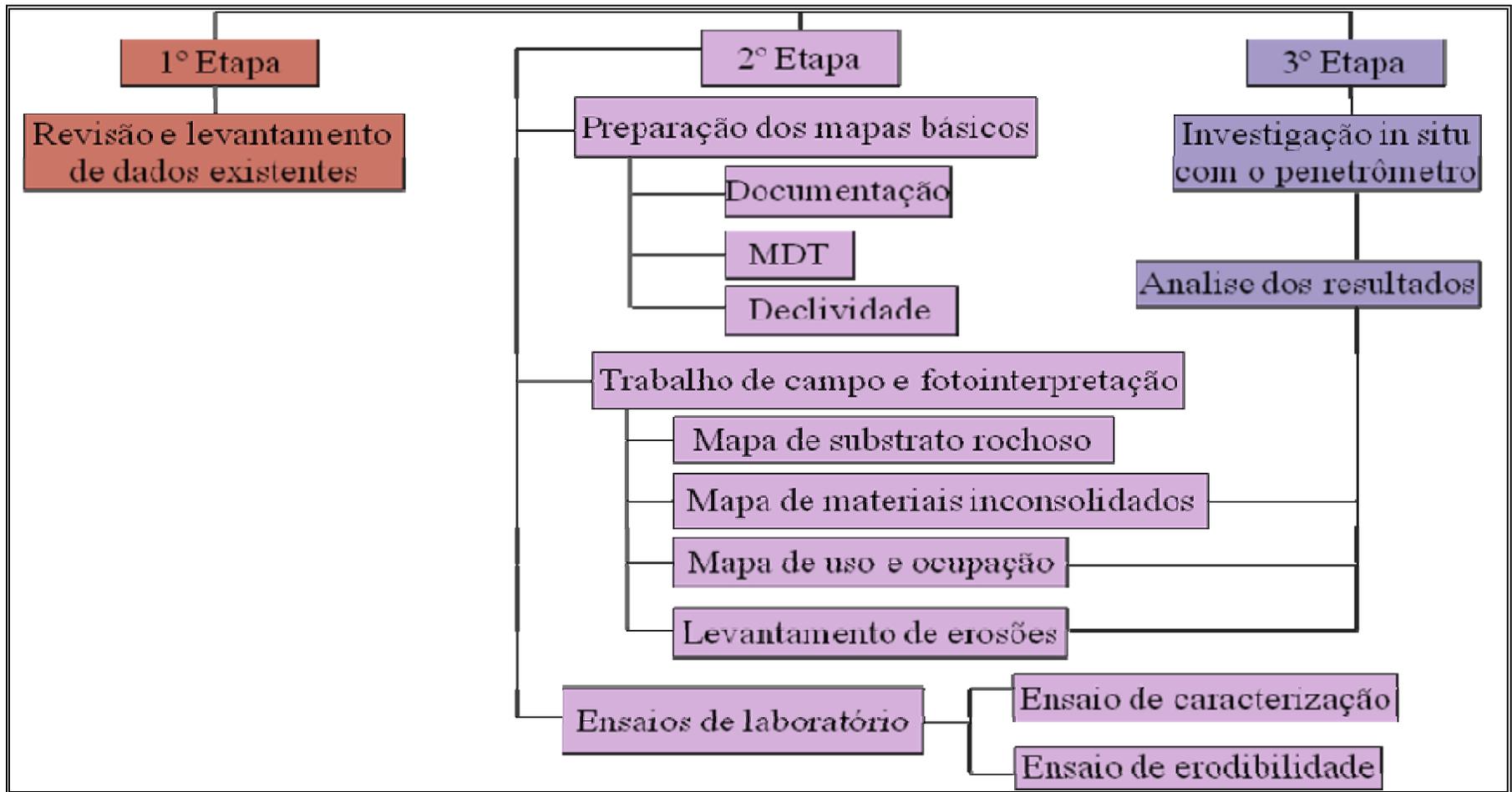


Figura 3.1 - Fluxograma com as etapas de trabalho

3.2 SEGUNDA ETAPA

Nesta etapa foram elaborados os documentos cartográficos básicos, como: mapa de documentação, modelo digital do terreno (MDT) e a carta de declividades. Foram realizados trabalhos de campo e fotointerpretação para elaboração do mapa do substrato rochoso e do mapa de materiais inconsolidados, além do levantamento das erosões e do uso do solo. Este levantamento, em conjunto com os dados pré-existentes, permitiu a elaboração dos documentos cartográficos na escala de 1:10.000. Nesta etapa foram também coletadas amostras de material inconsolidado e realizados ensaios laboratoriais de caracterização.

3.2.1 MAPA DE DOCUMENTAÇÃO

Este mapa foi elaborado utilizando a base cartográfica formada pelas seguintes folhas topográficas na escala 1:10.000 (figura 3.2): Fazenda São José, Santa Julia, Fazenda Boa Esperança, Fazenda Rosário, Fazenda Água Bonita, Fazenda Monte Líbano, Barra Bonita e Fazenda Tanqua. As folhas foram georreferenciadas e tiveram digitalizadas as curvas de níveis com equidistância de 5m. Este mapa tem por objetivo documentar os pontos com descrições e com coleta de amostras (79 pontos) além dos 98 pontos com ensaio de compactação.

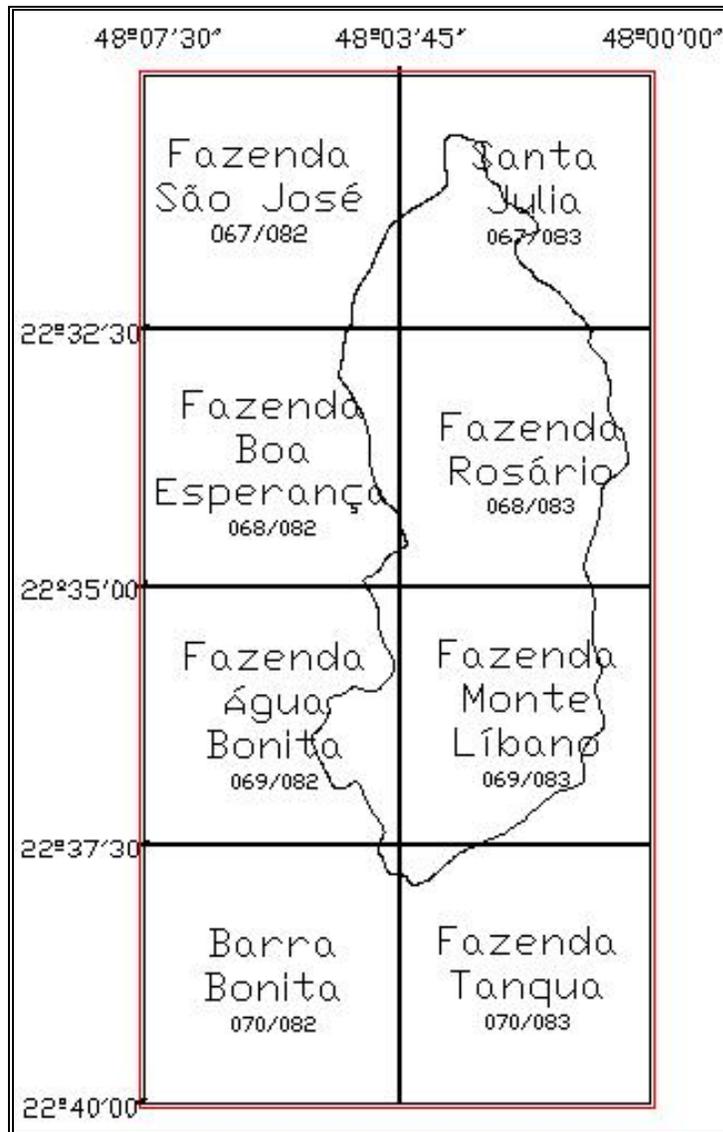


Figura 3.2 – Articulação das folhas topográficas.

Fonte: Mapas topográficos elaborados na escala 1: 10.000 para o governo do Estado de São Paulo, Secretaria de Economia e Planejamento/ Coordenadoria de Ação Regional, Divisão de Geografia/Plano Cartográfico do Estado de São Paulo (1979).

3.2.2 MODELO DIGITAL DO TERRENO (MDT)

O modelo digital do terreno (MDT) é uma ferramenta para analisar o relevo, permitindo uma análise tridimensional. Para obtenção do MDT foram digitalizadas as curvas de nível no software AutoCad™ e exportado no AutoCadMap em formato shp (shape) e importado no ArcView 3.2. A partir das curvas de nível, na

ferramenta *3D Analyst*, criou-se um TIN (Triangular Integrated Network), criando o modelo digital do terreno.

3.2.3 DECLIVIDADE

A declividade é um parâmetro fundamental na análise de feições erosivas, dependendo da declividade os processos erosivos vão estar presentes ou não, em determinada área.

Para a elaboração da carta de declividade utilizou-se o modelo digital do terreno (MDT) e em seguida utilizando a ferramenta de *surface derive Slope* criou-se a carta de declividade, que foi gerada com tamanho de pixel de 5 metros e classificado em 8 classes em porcentagem (%), nos seguintes intervalos: < 2, 2 a 5, 5 a 10, 10 a 15, 15 a 20, 20 a 30, 30 a 45, > 45.

3.2.4 MAPA DO SUBSTRATO ROCHOSO E DE MATERIAIS INCONSOLIDADOS

Foi realizado trabalho de campo para identificação das diferentes litologias na área e tipos de materiais inconsolidados, baseado no mapa de Ferreira (2006) na escala 1:50.000. Com o auxílio da fotointerpretação e descrição de campo e das amostras foi possível o detalhamento dos contatos de maneira compatível com a escala 1:10.000.

3.2.5 INVENTÁRIO DAS FEIÇÕES EROSIVAS

Este levantamento de feições erosivas é de fundamental importância para identificar todas as feições presentes na área de estudo, definindo o tipo quanto sulco, ravinas e voçorocas e quantificando quanto ao tamanho destas feições. As feições maiores foram delimitadas nas fotografias aéreas escala 1:25.000 de 2000.

Para uma melhor caracterização dos materiais presentes nas erosões foram realizados ensaios de laboratório de caracterização e de erodibilidade.

3.2.6 ENSAIO DE CARACTERIZAÇÃO

Para a caracterização dos materiais foram realizados ensaios obedecendo a normas técnicas e recomendações estabelecidas. O ensaio de massa específica dos sólidos (ρ_s) foi realizado segundo ABNT-NBR 6508/84, Granulometria conjunta segundo ABNT-NBR 7181/84, massa específica aparente seca (ρ_d) de acordo com o método de ZUQUETTE (1993).

3.2.7 ENSAIO DE ERODIBILIDADE

Este ensaio foi realizado através do método proposto por NOGAMI & VILLIBOR (1979) e modificado por PEJON (1992).

Este ensaio é dividido em duas etapas: o ensaio de absorção de água e perda de massa por imersão. Os materiais utilizados neste ensaio são: 3 anéis de PVC bisselados, com dimensões aproximadas de 2,50 cm de altura e 4.5 cm de diâmetro.

Amostras indeformadas são retiradas do local desejado, usando esses anéis de PVC, os anéis são envelopados com filme PVC. No laboratório as amostras são rasadas e colocadas para secar na sombra por um período de 7 dias ou até a massa da amostra permanecer constante.

Para o ensaio de absorção de água utilizou-se um cilindro de vidro graduado, com uma pedra porosa saturada revestida por um cilindro conectado na extremidade oposta ao início do cilindro de vidro e suporte para amostra (Figura 3.3). O anel mais a amostra é colocado sobre a pedra porosa e as leituras de volumes são realizadas no intervalo de tempo 5,10,15,20,25,30,45,60,75,90,120 (em segundos), o ensaio é

finalizado com o aparecimento de uma mancha de água na superfície da amostra figura 3.3.

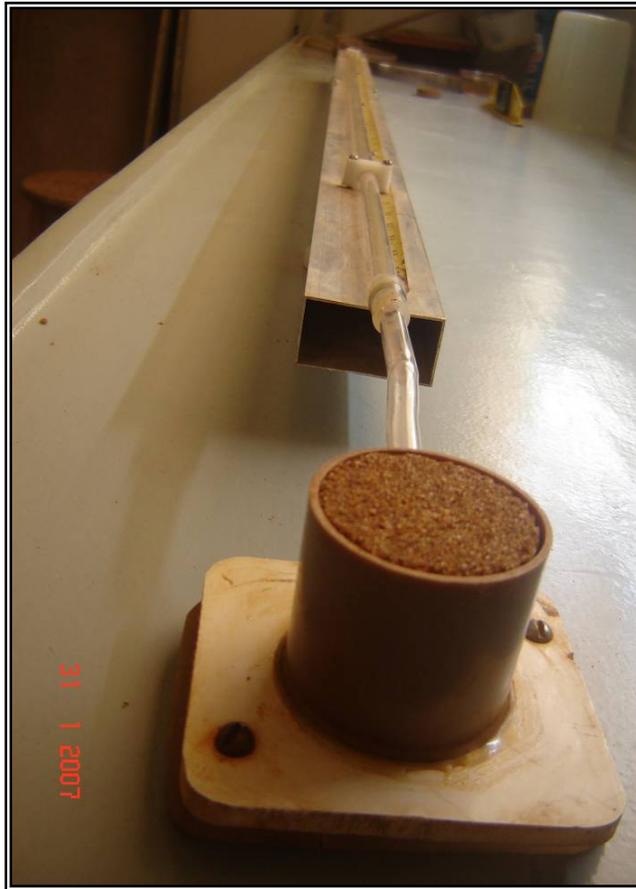


Figura 3.3 - Cilindro de vidro graduado, com uma pedra porosa saturada revestida por um cilindro PVC.

O índice de absorção é obtido através de um gráfico contendo o volume de água absorvido por unidade de área da base do corpo de prova(q) em função da raiz quadrada do tempo em minutos (\sqrt{t}). O índice S é o coeficiente angular da reta, figura 3.4.

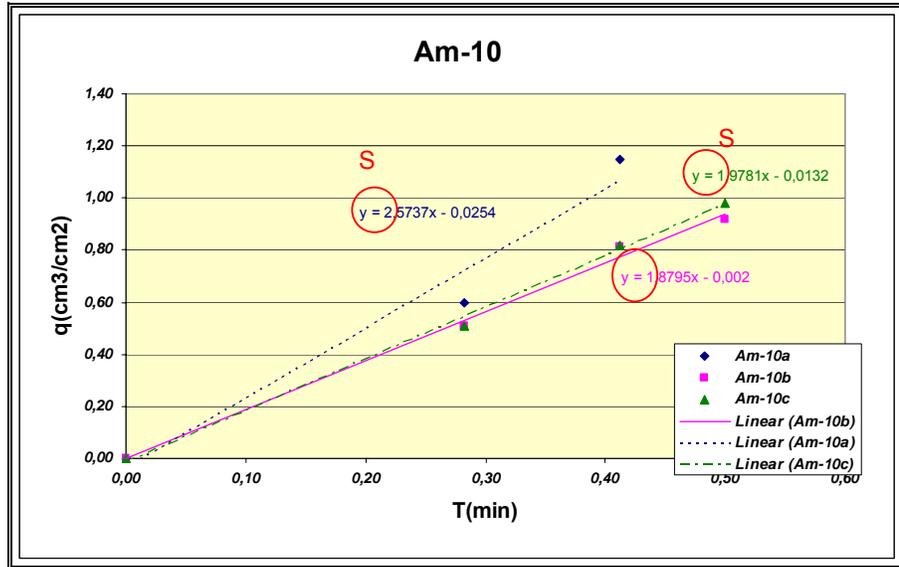


Figura 3.4 - Volume de água absorvido por unidade de área da base do corpo de prova (q) versus raiz quadrada do tempo (\sqrt{t}).

Para o ensaio perda de massa por imersão é necessário utilizar um tanque com água, suporte para colocar a amostra no tanque e um pirex para coletar a amostra desagregada (Figura 3.5). Após o ensaio de absorção a amostra é adaptada a um suporte, e esse conjunto (anel+amostra+suporte) é imerso no tanque de modo que o topo da amostra fique na horizontal, até sua saturação completa. Em seguida gira-se a amostra de maneira que seu topo fique na vertical e coloca-se sobre o suporte (Figura 3.5). A amostra deve permanecer no tanque por um período de 24h, após esse tempo o pirex deverá ser removido com cuidado para que não ocorra perda de material e levado a estufa para secar. Após a secagem determina-se a massa de solo perdido e, dividindo-se pela massa original da amostra seca, obtém-se a perda de massa por imersão em porcentagem (P).



Figura 3.5 - Suporte para colocar a amostra conjunto (anel+amostra+suporte) e pirex.

O índice de erodibilidade foi calculado utilizando a proposta do PEJON (1992), onde foi adotado $E = 40 \frac{S}{P}$ (**Equação 1**)

Se o valor $E < 1$ os materiais tem alta erodibilidade, se $E > 1$ os material tem baixa erodibilidade (Figura 3.6).

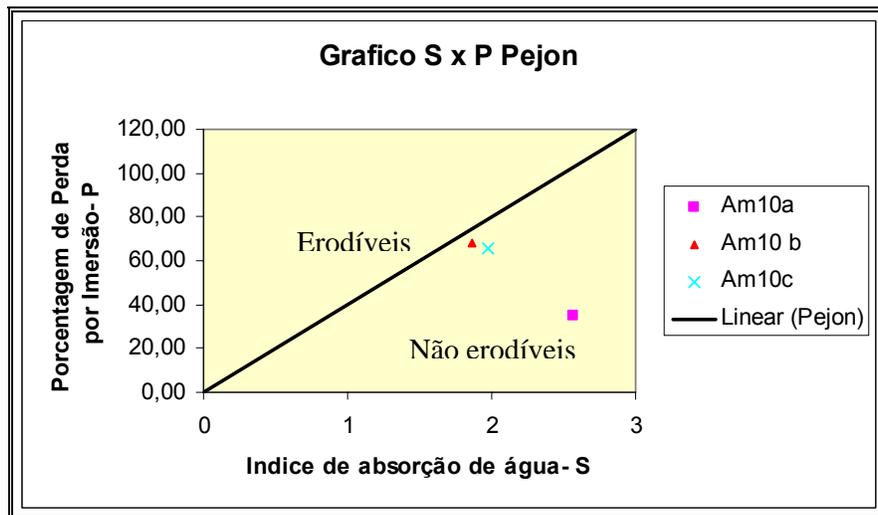


Figura 3.6 – Gráfico de porcentagem de perda versus índice de absorção.

3.3 TERCEIRA ETAPA

Foi realizada a investigação in situ utilizando o penetrômetro de impacto e as análises utilizando informações obtidas nas etapas anteriores. Os ensaios com o penetrômetro foram realizados segundo as descrições a seguir:

3.3.1 ENSAIOS COM O PENETRÔMETRO DE IMPACTO

O aparelho utilizado para este trabalho é um penetrômetro de impacto Modelo IAA/Planalsucar – Stolf que tem a finalidade de medir a resistência do solo a penetração. Como a resistência a penetração varia com a umidade do solo, foi também determinado a umidade ao longo do perfil de solo ensaiado.

O aparelho utilizado tem as seguintes características (Figura 3.7):

- O peso que provoca o impacto: 4 kg,
- Curso de queda livre: 40 cm,
- Cone: ângulo sólido 30°,
- Diâmetro da haste que penetra no solo: 9,5mm.
- Comprimento da haste 70cm.

Para o início do ensaio é necessário limpar o local onde serão realizados os ensaios. As determinações de resistência do solo à penetração foram realizadas com o penetrômetro de impacto em pontos em diferentes tipos de solos e usos, nas profundidades de 10 cm; 20cm, 30 cm, 40cm, 50 cm, 60 cm. O penetrômetro de impacto foi introduzindo perpendicularmente à superfície do solo, a haste do aparelho penetra no solo através do impacto do peso (4 kg) que cai de uma altura constante de 40 cm, em queda livre, contando-se o número de impactos necessários para que o aparelho penetre primeiramente 10 cm (NG). Em seguida, continua-se a cravação da haste, sempre contando o número de golpes, até atingir a profundidade

de 20 cm, anotando-se o NG. Este processo se repete até atingir a profundidade de 60 cm. Após finalizar este procedimento torna-se necessário a obtenção da umidade gravimétrica a cada 10 cm do perfil ensaiado e a obtenção de uma amostra indeformada para a determinação da massa aparente seca (ρ_d). Essas amostras são coletadas ao lado do local onde se realizou o ensaio, utilizando um trado de 2 polegadas. É necessário anotar além do NG, qualquer anomalia durante o ensaio, como também o uso do solo.

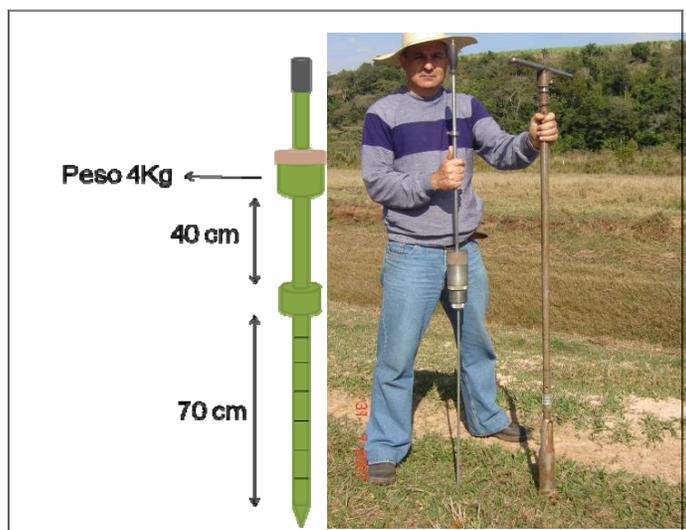


Figura 3.7- Penetrômetro de Impacto Modelo IAA/Planalsucar – Stolf e o trado utilizado para coletar amostra para umidade

Para determinação da umidade, em cada ponto de ensaio são retiradas 6 amostras de solo em diferentes profundidades. Essas amostras devem ser armazenadas em sacos plásticos, bem lacrados para evitar perda de umidade durante o transporte do campo para o laboratório.

Ao chegar ao laboratório as amostras coletadas em campo, são separadas por ponto para a determinação da umidade em cada profundidade.

O cálculo da resistência será segundo Stolf et al. (1983), determinado pela quantificação do número total de golpes executados (NTG) para penetrar um valor

de profundidade fixo que no nosso caso é 60cm. O NTG informa o comportamento de resistência a penetração de um local ensaiado e permite que seja verificado o comportamento da resistência a penetração de um solo frente a diferentes atividades de uso vigentes, por meio da comparação de medidas.

$$\text{NTG} = \sum \text{NG} \quad (\text{Equação 2})$$

NTG= Número total de golpes em 60 cm

NG= Número de golpes a cada 10 cm

Tendo os valores da umidade é possível fazer um gráfico para cada ponto, de umidade x NG, em seguida calcula-se o NTG e a umidade média, e agrupam-se os pontos de acordo com o tipo de material inconsolidado e uso do solo.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

4.1.1 LOCALIZAÇÃO

A área em estudo é uma bacia hidrográfica e está localizada no município de São Pedro que dista da Cidade de São Paulo cerca de 200 km. A bacia do córrego da Barra está localizada a direita da barragem de Barra Bonita, entre o córrego Vermelho (Leste) e Córrego das Tabaranas (Oeste). A área tem cerca de 56,50 km², compreendida entre as coordenadas 801000/809000E e 7509000/7493000N da zona UTM 22 (Figura 4.1).

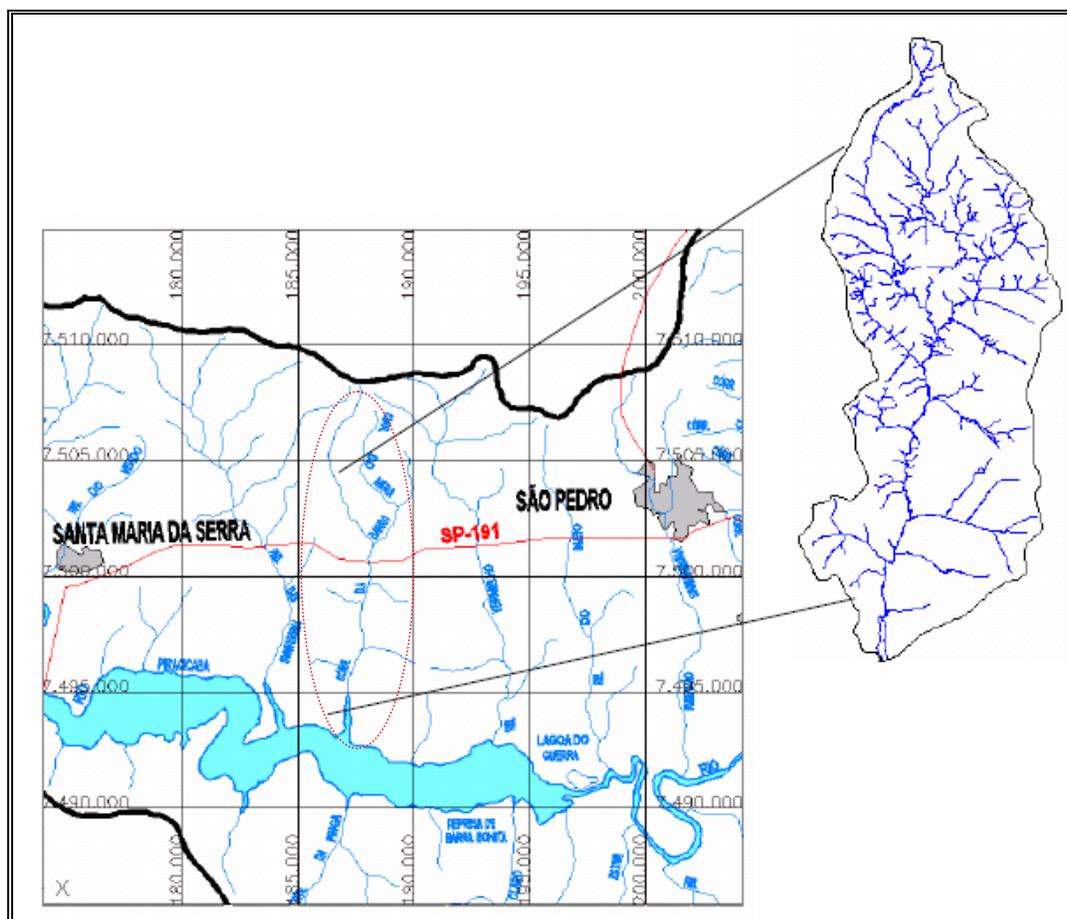


Figura 4.1 - Localização da área de estudo

4.1.2 GEOMORFOLOGIA

A região está inserida na região denominada de planalto ocidental representado por terrenos com as cotas elevadas, as cuestas basálticas, com declividade muito elevada que separa o planalto ocidental da depressão Periférica (Ponçano et al, 1981), (Figura 4.2).



Figura 4.2 Fotografia aérea mostrando a geomorfologia da área (1-Planalto Ocidental; 2-Cuestas basálticas; 3-Depressão Periférica.)

4.1.2.1 Planalto Ocidental

Representado por terrenos com as cotas superiores a 900m. As rochas presentes são das Formações Serra Geral e Itaqueri (com arenitos, siltitos e argilitos e com características texturais variadas).

4.1.2.2 Cuestas basálticas

Ocorrem com declividade em torno de 75° e altitude variando entre 500 e 900m onde se encontram os basaltos da Formação Serra Geral e na porção inferior das escarpas arenitos silicificados da Fm. Botucatu.

4.1.2.3 Depressão Periférica

Ocorre em cotas mais baixas que 500 m onde se encontram arenitos da Formação Pirambóia.

4.1.3 VEGETAÇÃO

A vegetação de maior porte (Mata) é encontrada na porção das cuestas basálticas, enquanto que no restante da bacia predominam atividades agrícolas como a de cana de açúcar, laranja e as pastagens.

4.1.4 CLIMA

O clima da região é CWA da classificação Koppen, ou seja, quente e úmido, com estação chuvosa no verão e seco no inverno, com temperatura máxima de 28⁰C e mínima de 15⁰ C, e índice pluviométrico anual de 1.175mm, média mensal 140 e 220 mm (meses chuvosos) e 20 mm (meses mais secos).

4.2 MAPA DE DOCUMENTAÇÃO (Anexo I)

Este mapa apresenta a localização de todos os pontos onde foram obtidas informações no campo. Estão indicados 79 pontos de descrições e coleta de amostras e 121 pontos onde foram realizados os ensaios com o penetrômetro de impacto.

4.3 MAPA DO SUBSTRATO ROCHOSO (Anexo II)

Essa bacia é formada por 4 formações geológicas sendo denominadas: Formação Itaqueri, Formação Serra Geral, Formação Botucatu e Formação Pirambóia, todas pertencentes à bacia sedimentar do Paraná. A Tabela 4.1 apresenta a distribuição das formações por área.

Tabela 4.1 – Tabela de distribuição das Formações por área.

Formações	Área (km ²)
Fm Itaqueri	5,1
Fm Botucatu	2,7
Fm Serra Geral	2,7
Fm Pirambóia	46

4.3.1 FORMAÇÃO ITAQUERI

Esta unidade recobre os derrames basálticos da Formação Serra Geral. Em geral são arenitos grosseiros, conglomeráticos, e juntamente com os seixos de quartzitos de tamanhos centimétricos variados, e presença de seixos laterizados. Sua ocorrência é restrita a região do Planalto Ocidental no norte da área.

4.3.2 FORMAÇÃO SERRA GERAL

Esta unidade litológica tem como característica sua ocorrência restrita nos altos da Serra, ao longo das escarpas e no sopé do talude. Vários afloramentos são observados na porção noroeste da bacia. Foi observado basalto com esfoliação esférica (Figura 4.3) e basalto vesicular.



Figura 4.3 - Basalto com esfoliação esférica.

4.3.3 FORMAÇÃO BOTUCATU

Sobreposto aos arenitos da Formação Pirambóia, esta unidade litológica ocorre restritamente ao longo da metade inferior das escarpas e pé da serra.

Os arenitos eólicos da Formação Botucatu são de granulometria fina a média, bem selecionados e silicificados, de coloração amarelada e avermelhada. A sua grande resistência aos processos de intemperismo oferece uma melhor sustentabilidade ao relevo (Figura 4.4). Apresentam estruturas plano-paralelas e estratificações cruzadas de médio à grande porte.



Figura 4.4 - Paredão de arenito da Fm. Botucatu

4.3.4 FORMAÇÃO PIRAMBÓIA

Está exposto ao longo de toda a faixa de ocorrência dos sedimentos mesozóicos na depressão periférica. Esses arenitos têm origem fluvio-continental. Ocupam cerca de 70 % da bacia estudada.

A Formação Pirambóia compreende as rochas mais antigas aflorantes na área e encontra-se recoberta por materiais inconsolidados retrabalhados que podem chegar a mais de 10m de espessura. Litologicamente é composta por arenitos finos a médios de cores vermelha, rosa, branca e amarela, com intercalações de siltitos, folhelhos, lamitos e níveis de conglomerados, que variam na textura ao longo do perfil de alteração da rocha.

4.4 MAPA DE MATERIAIS INCONSOLIDADOS (Anexo III)

Na área de estudo destaca-se a presença marcante de solos arenosos. Ferreira (2006) identificou 9 tipos de materiais inconsolidados. Foi realizado trabalho de campo para um refinamento das unidades, onde foram realizados 79 pontos para descrição do material, além da coleta de amostra deformada para análise táctil e

visual e caracterização do solo. Os materiais foram divididos em dois grupos os residuais e retrabalhados. A Tabela 4.2 apresenta a distribuição dos materiais inconsolidados por área e a Tabela 4.3 apresenta os resultados dos ensaios de caracterização dos materiais inconsolidados.

Tabela 4.2 – Distribuição dos materiais inconsolidados por área.

Materiais Inconsolidados	Área (km ²)
Residuais Fm. Itaqueri	2,60
Residuais Fm. Serra Geral	2,90
Residuais Fm. Botucatu	2,60
Residuais Fm. Pirambóia	9,00
Retrabalhados arenosos da serra	2,07
Retrabalhados arenosos em topo	24,80
Retrabalhados areno argilosos	6,90
Retrabalhados arenosos com pedregulhos	4,00
Retrabalhados aluvião	1,63

4.4.1 RESIDUAIS FM ITAQUERI (UNIDADE 1)

Estes materiais ocorrem na porção mais elevada, no topo da serra de São Pedro, com espessuras menores que 5m. Em termos texturais são arenosos e argilo - siltosos. Com cor predominante marrom a rosado de tonalidade clara, constituída de seixos e concreções. Foi observada presença de rocha alterada misturada no material inconsolidado. A área deste material é entorno de 2,60 km².

4.4.2 RESIDUAIS DA FM SERRA GERAL (UNIDADE 2)

Estes materiais ocorrem em uma faixa estreita entre os residuais da Fm Itaqueri e os residuais da Fm Botucatu, ocupando uma área de 2,90 km².

São materiais silto-argilosos, estão sobre a rocha alterada. Apresentam cor predominante vermelha de tonalidade escura e de granulometria fina, típica da alteração de basalto.

Tabela 4.3 - Resultados de Ensaio de Caracterização dos Materiais Inconsolidados.

Unidade	Tipo	Descrição	ρ_s (g/cm ³)	ρ_d (g/cm ³)	E 40	Granulometria			
						Areia	Silte	Argila	Pedregulho
1	Residuais Fm Itaquerí	Areno- argilosos	2.52	1.28	> 1	67	11	22	0
2	Residuais Fm Serra Geral	Areia argilo-siltosa	3.13	1.42	> 1	44	17	39	0
3	Residuais Fm Botucatu	Arenosos	2.66	1.53	-	85	6	9	0
4	Residuais Fm Pirambóia	Arenosos	2.61	1.62	1,55	85	10	5	0
5	Retrabalhados	Arenosos da serra	2.68	1.57	> 1	68	6	26	0
6	Retrabalhados	Arenosos em topo	2.65	1.56	0,49	79	5	16	0
7	Retrabalhados	Areno-argilosos	2.87	1.37	0.83	47	18	35	0
8	Retrabalhados	Arenosos c/ pedregulhos	2.69	1.67	-	80	8	6	6
9	Retrabalhados	Aluviões arenosos	2.61	1.65	-	95	2.3	2.7	0

4.4.3 RESIDUAIS FM BOTUCATU (UNIDADE 3)

Ocorrem na porção inferior da escarpa numa área de 2,60 km², são predominantemente rasos (< 2m) e recobertos por colúvios areno-argilosos.

Esta unidade é composta por materiais que resultaram da alteração do arenito silicificado da Formação Botucatu, de textura arenosa com porcentagens de areia elevada, com coloração alaranjada, e consistência/coerência média. Nas escarpas sua observação é muito difícil pela ocorrência de colúvio e cobertura vegetal.

4.4.4 RESIDUAIS FM PIRAMBÓIA (UNIDADE 4)

São caracterizados por tratar-se de materiais arenosos, com espessuras variadas, apresentando uma camada superior bem desenvolvida e uma inferior com presença de estruturas da rocha original como estratificação plano-paralela (saprolito).

Apresenta coloração que varia de rosada a esbranquiçada que pode ser facilmente observada em afloramentos em cortes, em feições erosivas e margens de canais de drenagem, ocupam uma área de 9 km², é a segunda unidade mais representativa desta bacia.

4.4.5 RETRABALHADOS ARENOSOS DA SERRA (UNIDADE 5)

Ocorrem nos platôs da serra recobrimo os residuais da Formação Itaqueri e ocupam uma área de 2,07 km². Apresentam heterogeneidade lateral, podendo apresentar-se mais ou menos argilosos em função da posição no relevo e associação com os residuais da Fm Itaqueri.

4.4.6 RETRABALHADOS ARENOSOS EM TOPO (UNIDADE 6)

Estes materiais ocorrem recobrendo principalmente os residuais do Fm Pirambóia, na porção central da bacia e nos divisores mais em direção a jusante. Estes materiais apresentam espessuras que variam desde poucos centímetros até superiores a 20m. Na figura 4.5 pode-se observar uma acentuada linha de seixos separando o material transportado do residual.

São materiais muito arenosos homogêneos e contínuos de cor marrom avermelhado, com textura variando de areia fina à média. Estes materiais apresentam comportamento altamente erodível, verificado em campo. As erosões foram encontradas em maior porcentagem neste material. Esse material ocupa uma área de 24,80 km², ocorre praticamente em 50% da bacia em análise.



Figura 4.5 - Linha de seixos separando os materiais transportados do residual.

4.4.7 RETRABALHADOS ARENO-ARGILOSOS (UNIDADE 7)

Estes materiais retrabalhados apresentam contribuição da Formação Serra Geral ocorrem entre o sopé das escarpas e a ocorrência dos arenosos em topo,

como registros de antigos colúvios ocupam uma área de 6,90 km². São materiais de textura areno-argilo-siltosa, mas com alta percentagem de argila.

As espessuras destes materiais são menores que 5m, predominantemente inferiores a 2m. Em termos de relevo caracterizam feições bem definidas, com encostas suaves.

4.4.8 RETRABALHADOS ARENOSO COM PEDREGULHO (UNIDADE 8)

Estes materiais estão depositados sobre os residuais da Fm Pirambóia em área de baixa declividade, próximo a represa da Barra. São materiais com espessuras inferiores a 2m, em algumas áreas foi observado a presença de pedregulhos. Os divisores são recobertos por materiais arenosos, porém sem pedregulhos e com maior presença de finos. A distribuição areal destes materiais é significativa, ocorrendo principalmente na porção jusante da bacia, numa área de 4,00 km².

4.4.9 RETRABALHADOS ALUVIÃO (UNIDADE 9)

Ocorre nas porções à jusante, as margens dos canais de drenagem. Apresentando características diversas, mas são predominantemente arenosos, com presença significativa de matéria orgânica na (porção sul) e com pedregulhos basicamente de basaltos próximo a serra (porção norte), com espessura maiores que 2m, e estão misturados a materiais arenosos. Esse material ocorre em uma pequena área de 1,63 Km²

4.5 CARTA DE DECLIVIDADES (Anexo IV)

A carta de declividade foi gerada com 8 classes (Tabela 4.4) em porcentagem, as classes foram divididas em < 2, 2 – 5, 5 – 10, 10 – 15, 15 – 20, 20 – 30, 30 – 45, >45. A classe predominante foi a 5-10, seguida da classe 10-15. Analisando as feições erosivas e relacionando-as com a declividade, observou-se que 27% das erosões catalogadas estão na classe de declividade (10-15). E 12,12% de erosões nas classes 5-10, 15-20, 20-30 e 30-45. Na classe < 2 foi encontrado 9,1% de erosões, e 6,06 % na classe > 45.

Tabela 4.4 Classes de declividades.

Classe	Intervalo
1	< 2
2	2 – 5
3	5 – 10
4	10 – 15
5	15 – 20
6	20 – 30
7	30 – 45
8	>45

4.6 INVENTÁRIO DAS EROSÕES (Anexo V)

Foram identificadas e catalogadas 33 feições erosivas sendo: 6 sulcos, 14 ravinas, 13 voçorocas. Em cada feição foram levantadas as seguintes características: comprimento, largura, profundidade, material inconsolidado, uso do solo e declividade (Tabela 4.5). O comprimento, a largura e a profundidade foram obtidos através das fotos aéreas e de estimativas visuais em campo. As feições erosivas estão distribuídas nas unidades de materiais inconsolidados da seguinte maneira: 36,4% nos retrabalhados arenosos em topo; 21,2% nos Residuais Serra Geral (feições de pequeno porte muitas são decorrentes das trilhas de gado); 21,2 % Residuais da Fm. Piramboia; 15,1% Retrabalhados areno argilosos e 6,1% das feições erosivas no Residual da Fm. Itaqueri. Observando-se esses valores de

distribuições percebe-se que as boçorocas ocorrem em sua maioria nos materiais retrabalhados, quanto a utilização do solo as erosões ocorrem predominantemente associados ao manejo de pastagem.

Tabela 4.5 (Continua) Atributos de cada feição erosiva.

Feições	Classificação	Comprimento (m)	Largura (m)	Profundidade (m)	Materiais inconsolidado	Uso do solo	Declividade (%)
1	boçoroca	150	75	15	Retrabalhados em topo	Cana	5-10
2	boçoroca	200	200	20	Residuais. Fm. Pirambóia	Pastagem	> 45
3	boçoroca	35 a 40	6 a 17	3,5 a 5	Retrabalhados Areno-argilosos	Pastagem	15-20
4	sulcos	-	-	-	Residuais Fm. Pirambóia	Pastagem	< 2
5	boçoroca	80	40	3 a 4	Retrabalhados em topo	Pastagem	15-20
6	boçoroca	100	30	5 a 6	Retrabalhados em topo	Pastagem	10-15
7	ravinas	-	-	-	Residuais da Fm. Pirambóia	Cana	< 2
8	ravina	9	1.5	1	Residuais da Fm. Pirambóia	Cana	15-20
9	ravinas	-	-	-	Residuais da Fm. Serra Geral	Pastagem	10-15
10	ravina	10	1.5	0.7	Residuais da Fm. Serra Geral	Pastagem	20-30
11	ravina	9	6.5	2	Residuais da Fm. Serra Geral	Pastagem	30-45
12	ravina	6	6	1.5	Residuais da Fm. Serra Geral	Pastagem	30-45
13	sulcos	0.7 a 1	0.40	0.3 a .5	Residuais da Fm. Itaqueri	Pastagem	10-15
14	ravinas	100	3	0.5 a 1	Residuais da Fm. Itaqueri	Pastagem	20-30
15	ravinas	3	10	1 a 2	Residuais da Fm. Serra Geral	Pastagem	20-30
16	ravinas	3	5	1 a 1.5	Residuais da Fm. Serra Geral	Pastagem	< 2
17	sulcos	0.6	0.4	0.1 a 0.5	Residuais da Fm. Serra Geral	Pastagem	>45
18	ravina	-	-	-	Retrabalhados em topo	Pastagem	10-15
19	ravina	-	-	-	Retrabalhados em topo	pastagem	15-20
20	boçoroca	10	5 a 6	4	Retrabalhados em topo	pastagem	5-10

Tabela 4.5 (Conclusão) - Atributos de cada feição erosiva.

Feições	Classificação	Comprimento (m)	Largura (m)	Profundidade (m)	Materiais inconsolidado	Uso do solo	
							Declividade (%)
21	boçoroca	100	5	2	Retrabalhados Arenos -argilosos	Pastagem	5-10
22	ravina	-	-	-	Retrabalhados Arenos -argilosos	Pastagem	5-10
23	boçoroca	150	25	5	Residuais da Fm. Pirambóia	Cana	20-30
24	boçoroca	150	3 a 4	2 a 5	Retrabalhados Arenos -argilosos	Pastagem	15-20
25	boçoroca	-	-	-	Retrabalhados Arenos-argilosos	Pastagem	5-10
26	ravinas	2	0.7	0.6	Retrabalhados em topo	laranja	10-15
27	boçoroca	25	70	2	Retrabalhados em topo	pastagem	30-45
28	sulcos	0.5	0.2 a 0.4	0.4	Retrabalhados em topo	Pastagem	10-15
29	Ravina	-	-	-	Retrabalhados em topo	pastagem	30-45
30	sulcos	3	0.5	0.2	Retrabalhados em topo	pastagem	10-15
31	boçoroca	-	-	-	Residuais da Fm. Pirambóia	Pastagem	10-15
32	boçoroca	-	-	-	Retrabalhados em topo	Pastagem	5-10
33	sulcos	-	-	-	Residuais da Fm. Pirambóia	pastagem	5-10

Algumas boçorocas encontram-se em estágio ativo, como é o caso mostrado nas Figuras 4.6 e 4.7. Quanto a distribuição das erosões na área, essas encontram-se em sua maioria no centro da bacia do córrego da Barra.



Figura 4.6 - Feição erosiva em processo ativo



Figura 4.7 - Feição erosiva em processo ativo.

As feições erosivas estão presentes nas formações Pirambóia e Serra Geral, sendo que há um predomínio destas feições na Fm. Pirambóia. Quanto ao tipo de cultura as feições erosivas estão em sua maioria associadas a pastagem.

As maiorias das feições erosivas, principalmente de grande porte, estão localizadas em material inconsolidados Retrabalhados em topos, que são materiais muito arenosos e homogêneos.

A área mostrada na Figura 4.8, está localizada em um sitio onde a atividade agrícola predominante é a pastagem. Observa-se que em decorrência das trilhas de gado há intensa concentração de sulcos que, em algumas partes, estão evoluindo para ravinas. Na cabeceira da boçoroca que pode ser vista na Figura 4.6, o uso atual do solo é a cana de açúcar, mais aproximadamente há uns 20 anos atrás era cultivado café nesta área. Vale ressaltar que o tipo de uso atual e antecessor são de extrema importância para as análises conjunta com os resultados de resistência a penetração.

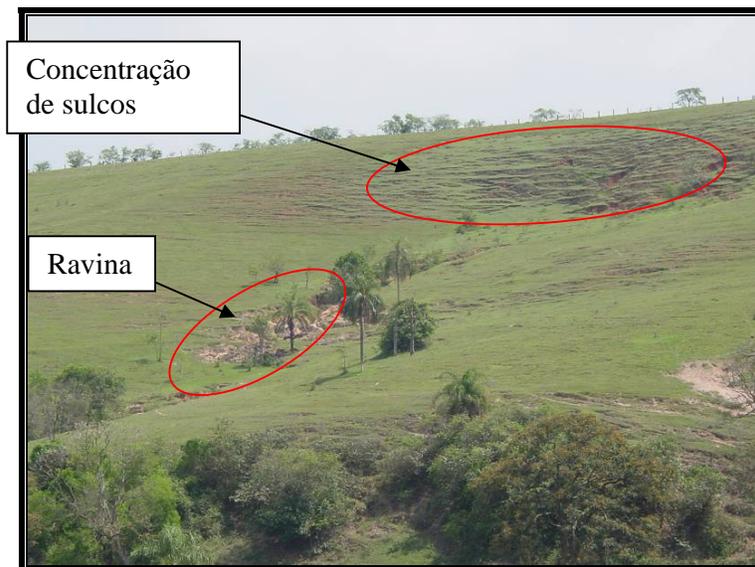


Figura 4.8 - Sulcos decorrentes de trilha de gado

A boçoroca (figura 4.9) é decorrente do corte de estrada. O material inconsolidado neste local é bem arenoso e associado ao fato do uso ser pastagem e

do desnível de altura, esse local torna-se um cenário excelente para a atuação dos processos erosivos.



Figura 4.9 - Boçorocas de beira de estrada

4.7 RESULTADOS DO ENSAIO COM O PENETROMETRO DE IMPACTO

Esse ensaio propiciou a quantificação do grau de compactação do solo, podendo ser relacionado com a infiltração da água no solo e com o escoamento superficial e posteriormente com a evolução das feições erosivas. O teor de umidade do solo é um fator determinante no processo de compactação. Foram programados pontos para realização do ensaio com finalidade de recobrir todos os diferentes materiais inconsolidados em toda extensão da bacia e em diferentes tipos de uso. Os usos predominantes na área são manejos de pastagem, cultivos de cana, laranja e eucalipto. Nesta área foram mapeados 9 tipos de solo, mas o material que se apresenta em maiores proporções na bacia são os arenosos em topos.

As medidas de resistência a penetração (NTG) foram realizadas para cada tipo de material inconsolidado em diferentes usos, possibilitando verificar o comportamento do NTG frente aos diferentes tipos de usos, considerando também o valor da umidade média.

No primeiro momento foi realizada uma análise pontual relacionando a umidade ao número de golpes necessário para cravar 60 cm. Em seguida, considerou-se os parâmetros de NTG e umidade média para caracterização do comportamento de resistência a penetração do solo (Tabela 4.6).

Tabela 4.6 (continua) - Relação de valores NTG x umidade gravimétrica média, para os diferentes tipos de materiais inconsolidados e atividades de uso do solo

Material inconsolidado s	Uso do solo							
	Pastagem		Cana de açúcar		Laranja		Eucalipto	
	NTG	W média	NTG	W média	NTG	W média	NTG	W média
Residual Botucatu	27	4,28	-	-	-	-	-	-
	28	5,43						
	15	7,13						
Residual Pirambóia	10	6,8	52	2,78	23	5,95	33	9,13
	21	6,53	41	5,13	18	7,31	84	3,72
	127	3,24	32	8,3	66	5,31	49	4,05
	16	8,16	31	6,41	22	6,27	56	7,05
	68	5,23	33	4,77	70	2,69		
	27	6,84			36	6,17		
	49	5,75						
	13	6,21						
Retrabalhados Arenosos com pedregulho					34	5,31		
					44	1,79		
					49	9,31		
	-	-	-	-	13	5,6	-	-
					13	8,33		
					21	6,02		
					16	6,43		
					14	9,22		
Retrabalhados Arenosos em topo	47	6,7	52	7,34	59	4,62	33	4,17
	34	3,66	71	7,58	38	4,26		
	37	8,02	93	9,9	8	4,26		
	15	16,1	71	7,63				
	34	8,2	27	6,32				
	29	12,4	30	5,34				
			17	5,33				
		139	4,5					

Wmédia- umidade gravimétrica média; NTG- número total de golpes em 60 cm

Tabela 4.6 (continuação) - Relação de valores NTG x umidade gravimétrica média, para os diferentes tipos de materiais inconsolidados e atividades de uso do solo

Material inconsolidados	Uso do solo							
	Pastagem		Cana de açúcar		Pastagem		Eucalipto	
	NTG	W média	NTG	W média	NTG	W média	NTG	W média
Retrabalhados areno argilosos	24	5,18	63	6,13				
	30	5,37	140	4,68				
	22	11,06	68	5,39				
	16	12,74	44	7,71	-	-	-	-
	15	10,55	47	7,41				
	27	8,6	86	5,56				
	25	7,17						
	28	6,88						
Retrabalhados arenosos da Serra	34	21,09	67	15,37				
	28	21,31	22	24,05				
	35	19,82	17	18,18	-	-	-	-
	35	16,66	37	15,95				
	31	17,28	41	11,42				
	26	7,54						
Residual Itaqueri	68	29,23	30	8,67				
	83	21,02	29	11,49	-	-	-	-
	49	30,21	32	9,27				
			20	22,94				
Serra Geral	36	31,43						
	27	27,03						
	53	18,96					-	
	39	25,86	-	-	-	-		-
	53	18,96						
	37	31,15						

Wmédia- umidade gravimétrica média; NTG- número total de golpes em 60 cm

Para melhor análise do comportamento da resistência à penetração do solo, os dados foram relacionados em gráficos, os quais representam as variações do NTG e da umidade frente a diferentes usos do solo e materiais inconsolidados (Figura 4.10 a 4.17).

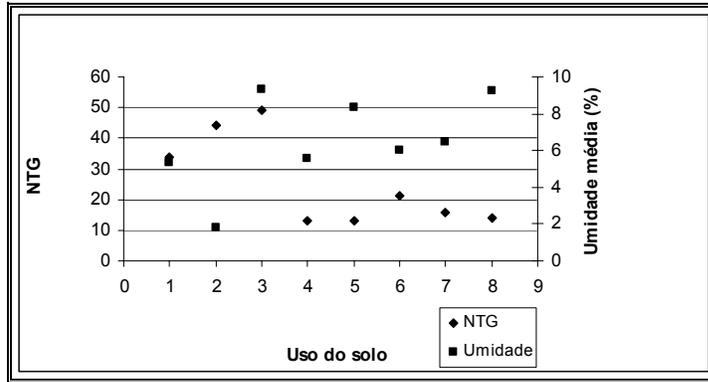


Figura 4.10 - Comportamento do NTG e umidade média no solo retrabalhados arenosos com pedregulhos. Uso: laranja (1 a 8).

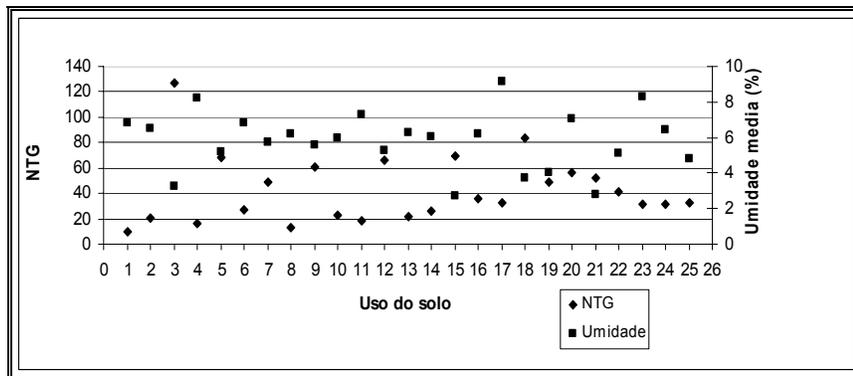


Figura 4.11 - Comportamento do NTG e umidade média no solo Residuais de Pirambóia. Uso: pastagem 0 a 9; laranja 9 a 16; eucalipto 17 a 20 e cana de açúcar 21 a 25.

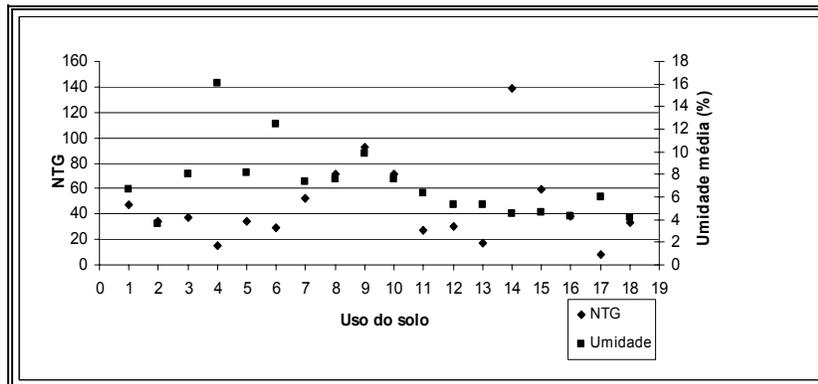


Figura 4.12 - Comportamento do NTG e umidade média no solo Retrabalhados arenosos em topo com Uso: pastagem 1 a 6; Cana de açúcar 7 a 14; laranja 15 a 17; eucalipto 18.

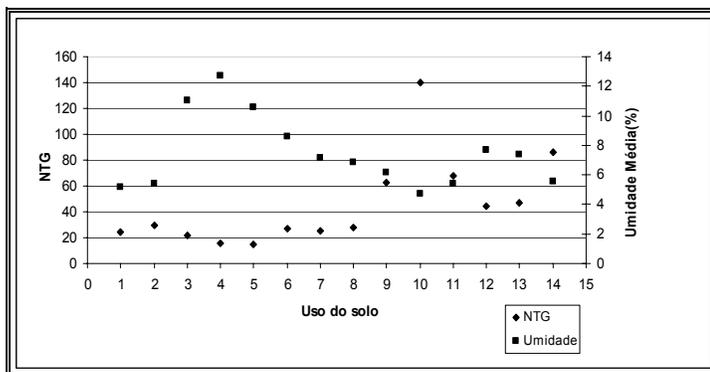


Figura 4.13 - Comportamento do NTG e umidade média no solo Retrabalhados arenoargilosos, com uso: pastagem 1 a 8 cana de açúcar 9 a 14.

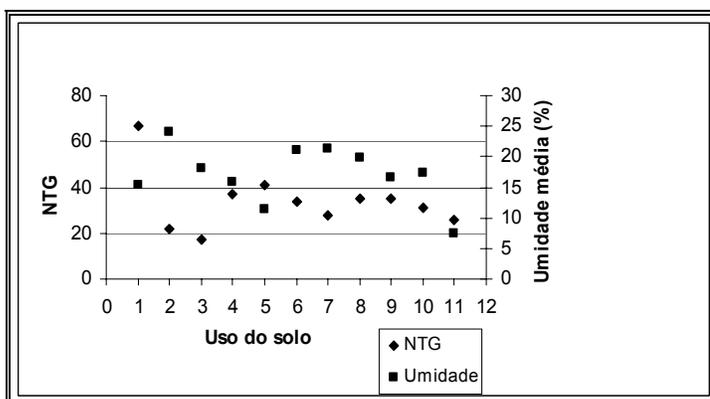


Figura 4.14 - Comportamento do NTG e umidade média no solo Retrabalhados arenosos da serra, com uso: cana de açúcar 1 a 5 .Pastagem 6 a 11,

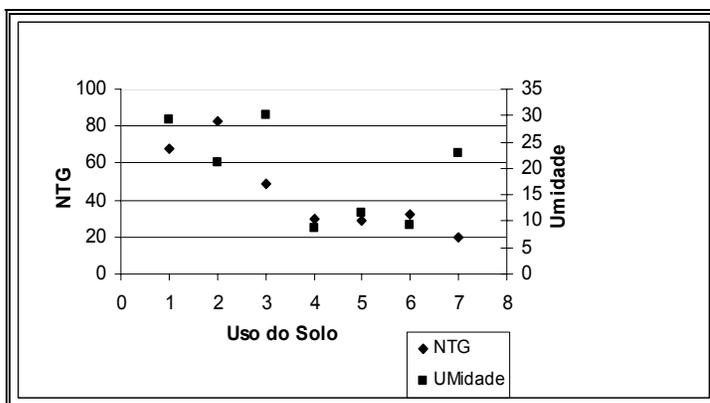


Figura 4.15 - Comportamento do NTG e umidade média no solo Residuais de Itaqueri, com uso: pastagem 1 a 3; Cana de açúcar 4 a 7.

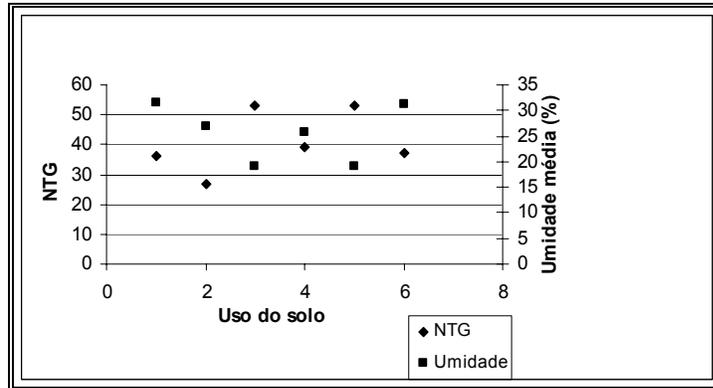


Figura 4.16 - Comportamento do NTG e umidade média no solo Residuais de Serra Geral, com uso: pastagem 1 a 6.

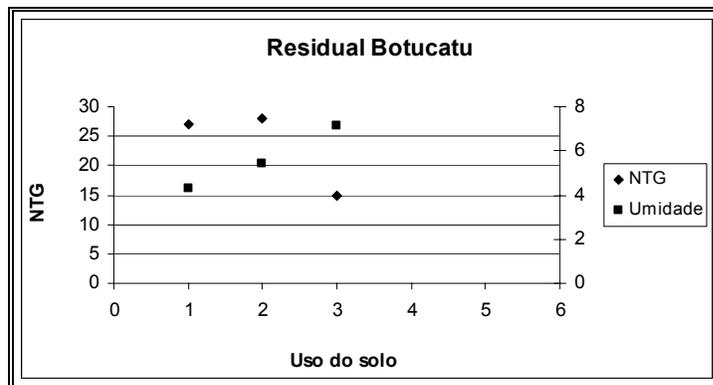


Figura 4.17 - Comportamento do NTG e umidade média no solo Residuais de Botucatu, com uso: pastagem 1 a 4.

Com a análise das Figuras 4.10 a 4.17 constatou-se que é difícil verificar a existência da correlação entre o NTG e a umidade média, apesar de estarem separados por materiais inconsolidados. Os diferentes tipos de uso no mesmo gráfico dificultam a análise já que em diferentes usos a resistência a penetração do solo pode apresentar um comportamento diferente. Para verificar a existência de correlação entre o NTG e a umidade média, esses parâmetros foram plotados em gráficos separados por tipo de solo e de uso (Figura 4.18 a 4.36). Observando-se os gráficos nota-se que na maioria dos solos ocorre uma diminuição do NTG com o aumento da umidade média, como era esperado. Em alguns casos como os da Figura 4.18 e 4.32 isto não ocorre.

No primeiro caso Figura 4.18, notou-se um ponto discrepante, que após análise das amostras coletadas, verificou-se a presença de pedregulhos que poderiam ter causado este resultado anômalo. A retirada deste ponto permitiu a obtenção de uma correlação melhor dos resultados, mostrado na Figura 4.19. No entanto, a correlação é inversa da esperada, ou seja, ocorre um aumento do NTG com o aumento da umidade.

Este resultado anômalo poderia ser devido ao tipo de uso, no caso cana de açúcar, que possui vários estágios e que poderiam resultar em diferente influência na compactação do solo. Outra possível explicação é a ocorrência de variabilidade natural do solo, dentro das unidades mapeadas, que poderia ocasionar este tipo de resultado, como é o caso também dos solos da Figura 4.32.

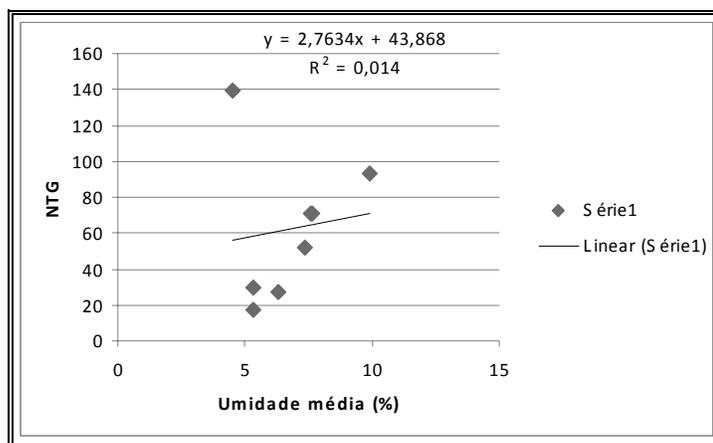


Figura 4.18 – Correlação de NTG x Umidade média para as umidades de material retrabalhados arenosos em topo, considerando uso do solo:cultura de cana de açúcar.

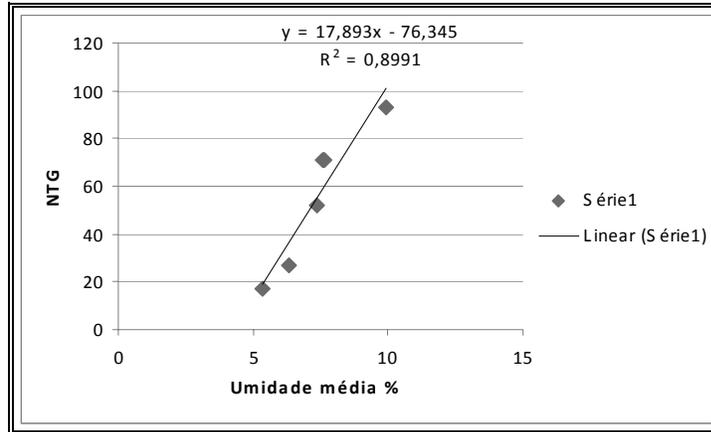


Figura 4.19 – Correlação de NTG x Umidade média para as umidades de material retrabalhados arenosos em topo, sem o ponto 24, considerando o uso do solo: cultura de cana de açúcar.

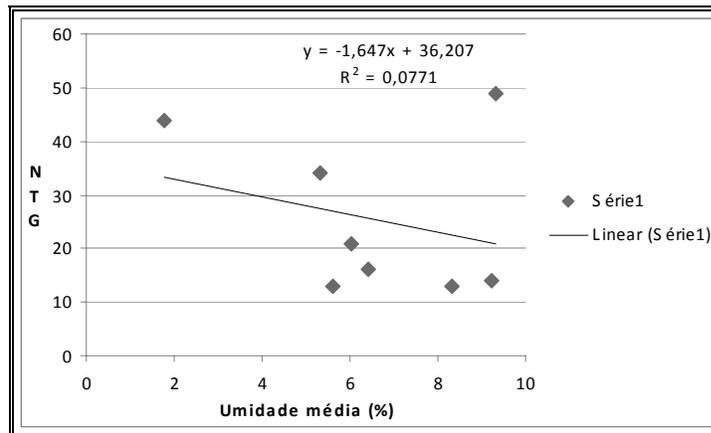


Figura 4.20 – Correlação de NTG x Umidade média para as umidades de material retrabalhados arenosos com pedregulho considerando o uso do solo: cultivo de laranja.

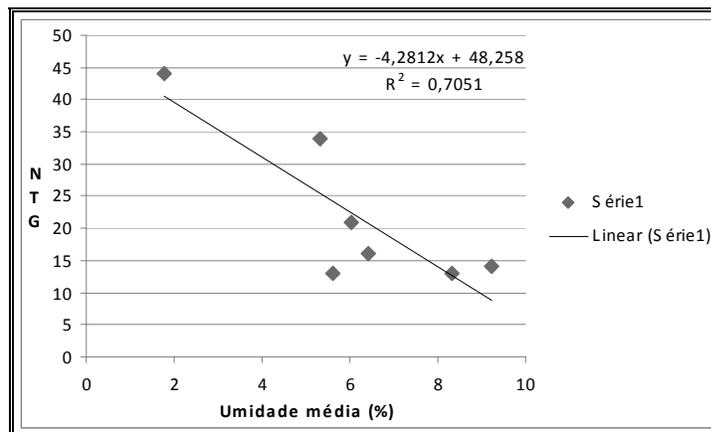


Figura 4.21 – Correlação de NTG x Umidade média para as umidades de material retrabalhados arenosos com pedregulho considerando o uso do solo: cultura de laranja sem o ponto 19.

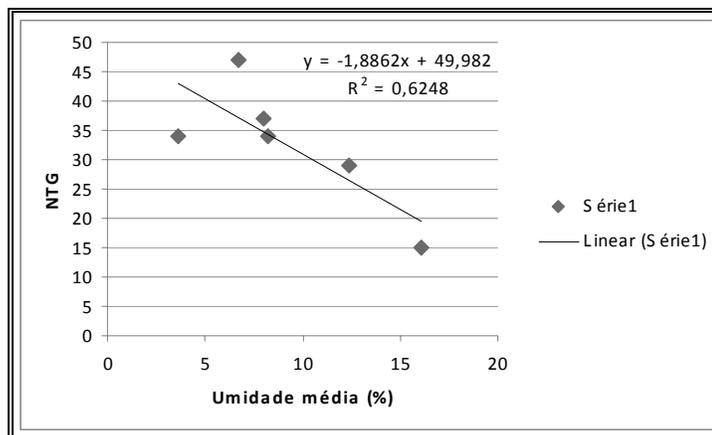


Figura 4.22 – Correlação de NTG x Umidade média para as umidades de material reutilizados arenosos em topo, considerando o uso do solo: manejo de pastagem.

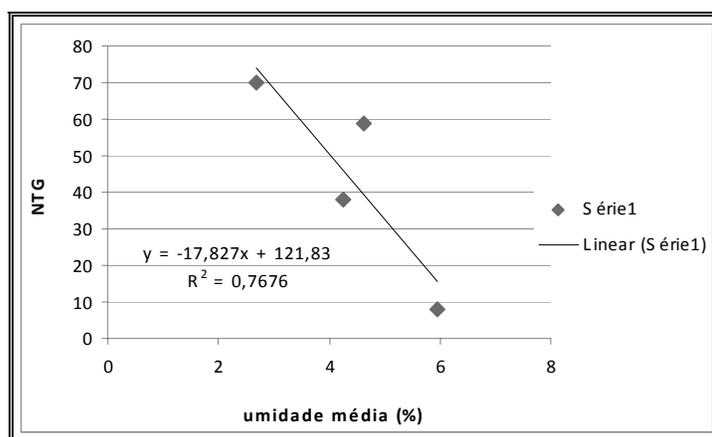


Figura 4.23 – Correlação de NTG x Umidade média para as umidades de material reutilizados arenosos em topo, considerando o uso do solo: cultivo de laranja.

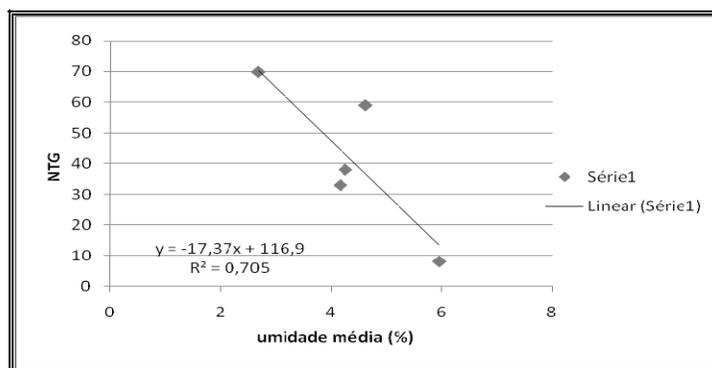


Figura 4.24 – Correlação de NTG x Umidade média para as umidades de material reutilizados arenosos em topo, considerando o uso do solo: cultivo de laranja e eucalipto.

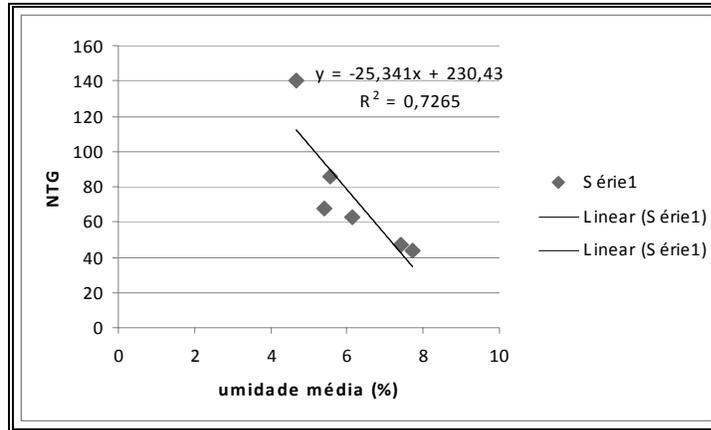


Figura 4.25 – Correlação de NTG x Umidade média para as umidades de material retrabalhados arenoargilosos, considerando o uso do solo: cultura de cana de açúcar.

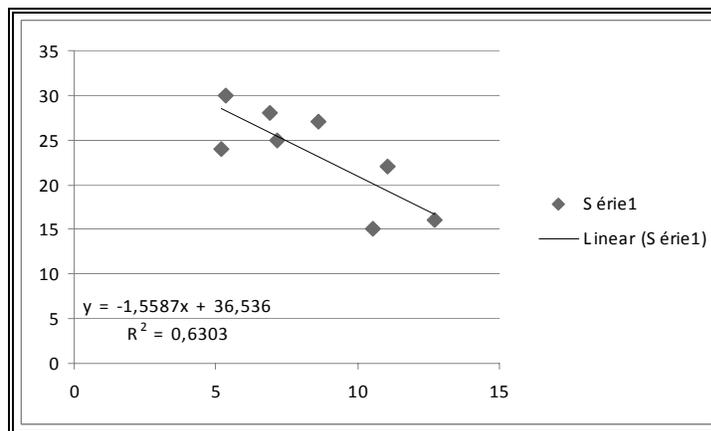


Figura 4.26 – Correlação de NTG x Umidade média para as umidades de material retrabalhados arenoargilosos, considerando o uso do solo: pastagem.

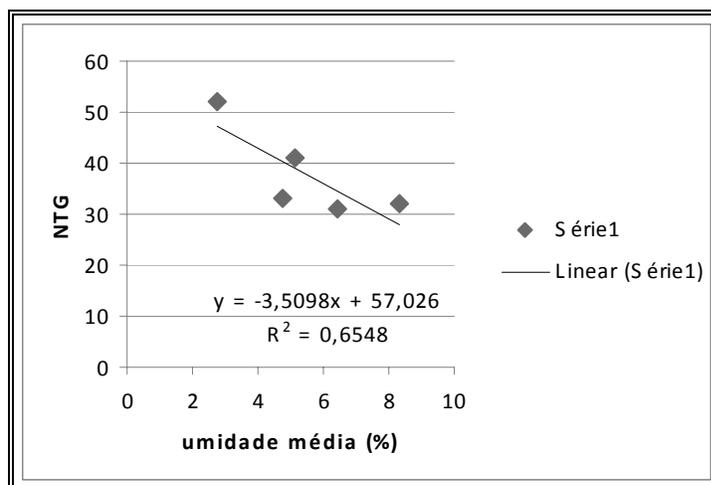


Figura 4.27 – Correlação de NTG x Umidade média para as umidades de material, residuais da Fm. Pirambóia considerando o uso do solo: cana de açúcar.

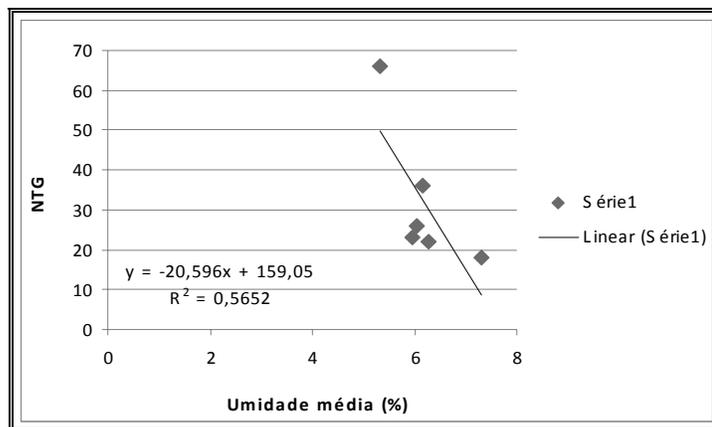


Figura 4.28 – Correlação de NTG x Umidade média para as umidades de material, residuais da Fm. Pirambóia considerando o uso do solo: cultivo de laranja.

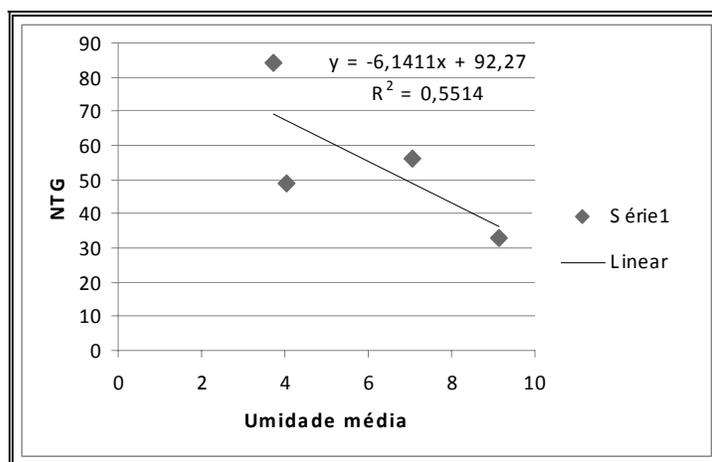


Figura 4.29- Correlação de NTG x Umidade média para as umidades de material, residuais da Fm. Pirambóia considerando o uso do solo: eucalipto.

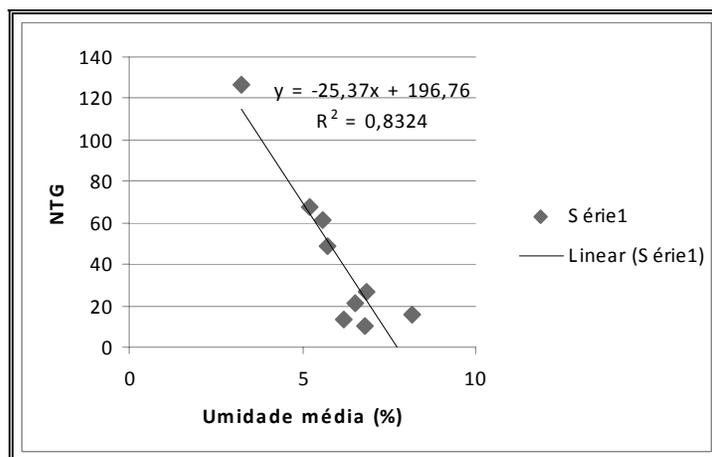


Figura 4.30 – Correlação de NTG x Umidade média para as umidades de material, residuais da Fm. Pirambóia considerando o uso do solo: manejo de pastagem.

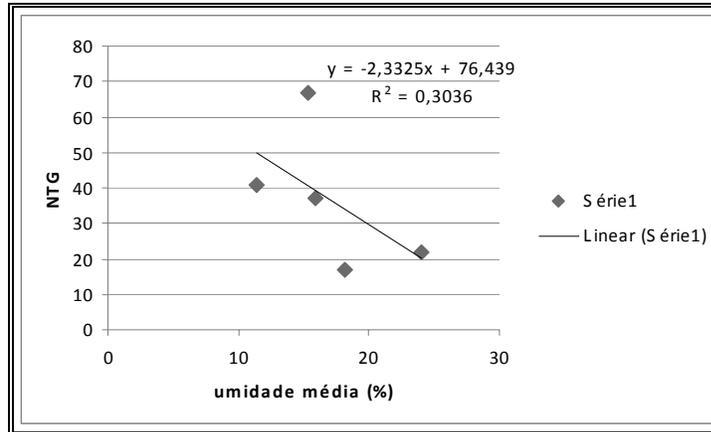


Figura 4.31 – Correlação de NTG x Umidade média para as umidades de material, Retrabalhados arenosos da serra, considerando o uso do solo cultivo de cana de açúcar.

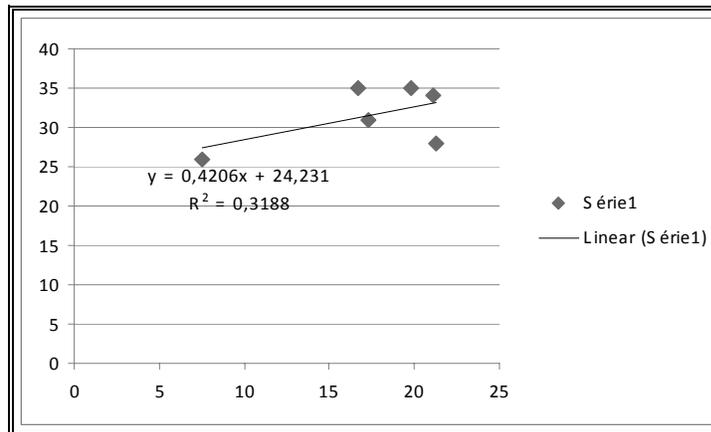


Figura 4.32 – Correlação de NTG x Umidade média para as umidades de material, retrabalhados arenosos da serra, considerando o uso do solo: pastagem.

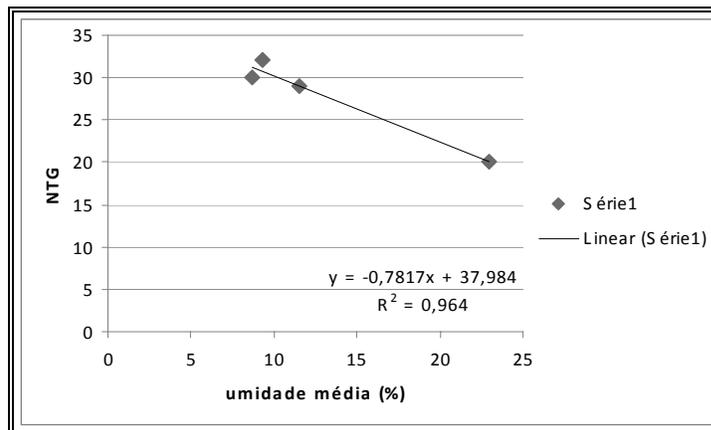


Figura 4.33 – Correlação de NTG x Umidade média para as umidades de material, residuais da Fm. Itaqueri, considerando o uso do solo: cultivo de cana de açúcar.

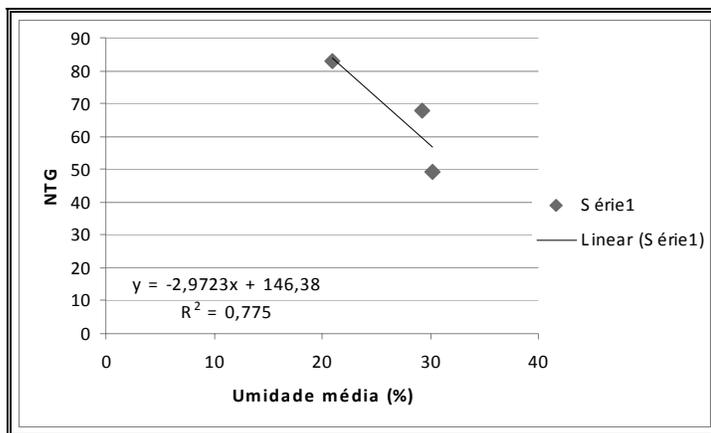


Figura 4.34 – Correlação de NTG x Umidade média para as umidades de material, residuais da Fm. Itaqueri , considerando o uso do solo: pastagem.

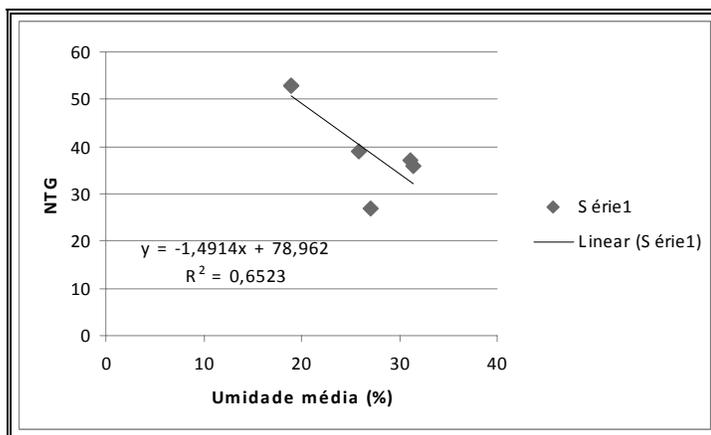


Figura 4.35 - Correlação de NTG x Umidade média para as umidades de material, residuais da Fm. Serra Geral, considerando o uso do solo: pastagem.

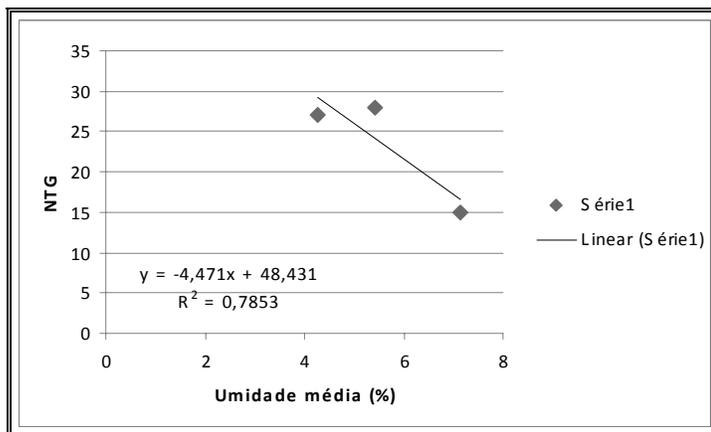


Figura 4.36 – Correlação de NTG x Umidade média para as umidades de material, residuais da Fm. Botucatu , considerando o uso do solo: pastagem.

Os coeficientes de determinação dos gráficos variam de muito baixos ($R^2=0,30$) a bastantes altos ($R^2=0,96$). O número de pontos disponível pode ser uma das causas. A outra pode estar relacionada com a heterogeneidade das unidades de materiais inconsolidados como é o caso da figura 4.20, onde se observou um comportamento diferente de um dos pontos em relação aos demais e observando a descrição de campo e laboratório, notou-se que a partir da profundidade de 40 cm apresentou alguns pedregulhos. Analisando-se os dados do ponto notou-se que nessa mesma profundidade houve um aumento considerável do número de golpes para a penetração destes últimos centímetros. Tornando necessário excluir esse ponto da análise, e gerar um novo gráfico (Figura 4.21).

Na Tabela 4.7, pode-se observar as equações de correlação e o R^2 para diferentes tipos de materiais inconsolidados frente a diferentes usos dos solos. Com esses dados é possível constatar a influência do tipo de uso no comportamento de resistência a penetração, levando em conta o mesmo tipo de materiais inconsolidados. Torna-se necessário determinar o tipo de uso que influencia mais no comportamento de resistência a penetração, seja aumentando ou diminuindo.

Como os teores de umidades médias, máximos e mínimos observados no campo apresentam variabilidade (Tabela 4.8), é necessário estabelecer diferentes teores de umidades para que todos os materiais inconsolidados sejam comparados nas mesmas umidades para obter-se a resistência a penetração a partir das equações de correlação. Definiram-se teores de umidade no intervalo de 1,7% a 9%. Os valores negativos de NTG no material inconsolidado, retrabalhados arenosos em topo com atividade no solo de cana de açúcar para $w=1,7\%$, 2% e 3% , são devidos a linha de tendência apresentada na figura 4.19, que tem comportamento inverso dos demais. Serão considerados para análise de todos os materiais até a umidade

de 6%, pois alguns valores para umidades mais altas deram resistência a penetração negativa, então os valores válidos para análise serão entre umidade de 1,7% a 6%.

Tabela 4.7 - Valores de correlação NTG x Umidade por tipo de ocupação do solo

Material Inconsolidados	Práticas de Uso	Nº de pontos ensaiados	Coef. R²	Equações de correlação
Residual Botucatu	pastagem	3	0,78	NTG= - 4,471*(umidade)+48,43
Residuais Fm Piramboia	pastagem	9	0,83	NTG=- 25,37*(umidade)+196,76
	laranja	7	0,71	NTG= - 12,80*(umidade)+109,1
	cana	5	0,65	NTG= - 3,51*(umidade)+57,026
	eucalipto	4	0,55	NTG= - 6,141*(umidade)+92,27
Retr.Arenosos c/Pedregulho	laranja	9	0,71	NTG= -4,281*(umidade)+48,25
Arenosos em topo	Cana	8	0,84	NTG=13,64 *(umidade)-41,39
	Pasto	6	0,62	NTG= -1,886 *(umidade)+49,98
	laranja	4	0,76	NTG= -17,82 *(umidade)+121,8
	Laranja.eucalipto	5	0,70	NTG= -17,37*(umidade)+116,9
Retrab. areno argilosos	Pastagem	8	0,61	NTG= -1,482*(umidade)+35,56
	Cana	6	0,73	NTG= - 25,34*(umidade)+230,4
Retrab. arenosos da Serra	Cana	5	0,30	NTG= -3325*(umidade)+76,439
	Pastagem	6	0,32	NTG=0,4206*(umidade)+24,231
Residuais de Itaqueri	Cana	4	0,96	NTG=-0,781*(umidade)+37,984
	Pastagem	3	0,77	NTG=-,9723*(umidade)+146,38
Res. Serra Geral	pastagem	6	0,65	NTG=-0,4914*(umidade)+78,962

Tabela 4.8 - Valores de umidades mínimas e máximas encontrada nos ensaios.

Materiais inconsolidados	Menor Umidade	Maior umidade
Residual Botucatu pastagem	6,88	29,23
Residual Pirambóia pastagem	3,24	8,18
Residual Pirambóia laranja	2,69	7,31
Residual Pirambóia cana de açúcar	2,78	8,3
Residual Pirambóia eucalipto	3,72	9,3
Retrabalhados Arenosos c/ pedregulho laranja	1,79	9,31
Retrabalhados Arenosos em topo cana de açúcar	4,50	9,90
Retrabalhados Arenosos em topo pastagem	3,33	16,1
Retrabalhados Arenosos em topo laranja	4,26	5,95
Retrabalhados Arenosos em topo laranja+eucalipto	4,17	5,95
Retrabalhados Arenoargilosos pastagem	5,18	12,74
Retrabalhados Arenoargilosos cana de açúcar	4,68	7,71
Retrabalhados Arenosos serra cana de açúcar	11,42	24,05
Retrabalhados Arenosos serra pastagem	7,54	21,31
Residual Itaquerí cana de açúcar	8,67	22,94
Residual Itaquerí pastagem	21,02	29,23
Residual Serra Geral pastagem	18,96	31,43

4.7.1. COMPORTAMENTO DOS MATERIAIS INCONSOLIDADOS CONSIDERANDO A ANÁLISE DO ENSAIO DE PENETRAÇÃO

4.7.1.1 Material Inconsolidado Residual Pirambóia

Neste solo a atividade que obteve o valor mais alto de resistência a penetração foi a pastagem, seguida do cultivo da laranja e eucalipto (Figura 4.37). O cultivo de cana de açúcar foi o que apresentou o valor mais baixo de resistência a penetração. O Residual Pirambóia com usos de pastagem apresentou 4 erosões sendo 2 voçorocas e 2 concentrações de sulcos, com uso cana de açúcar apresentou 3 erosões, sendo 1 voçoroca e 2 ravinas. Apesar do solo com uso cana apresentar uma resistência baixa, outros parâmetros, como a declividade, foram analisados e notou-se que as ravinas encontram-se em declividade de 15 a 20 % e a voçoroca em uma declividade de 20 a 30 %, sendo, portanto fatores determinantes.

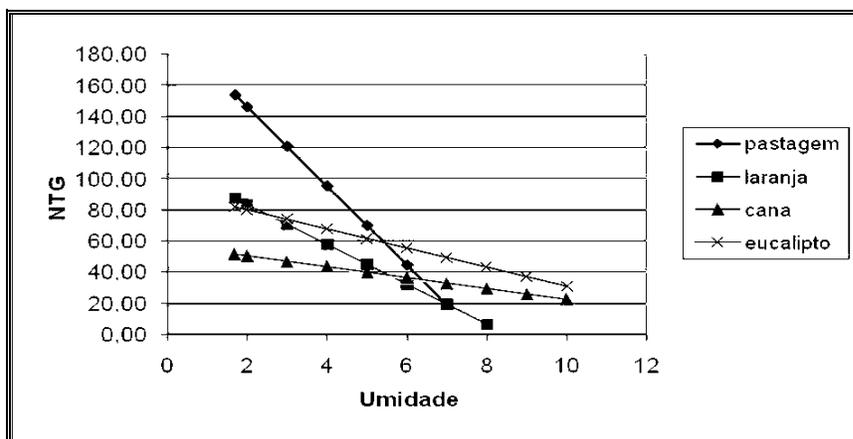


Figura 4.37 - Comportamento da resistência a penetração frente a práticas de pastagem, laranja, cana e eucalipto nos materiais inconsolidados Residuais Pirambóia.

4.7.1.2 Material Inconsolidado Retrabalhados arenosos em topo

A atividade para a qual o solo apresentou um alto valor de resistência a penetração foi o cultivo da laranja (Figura 4.38), mas em campo foi verificado que a o maior número de feições se encontra no uso de manejo de pastagem, seguido de cana e laranja com apenas uma feição erosiva em cada uso. O menor valor de resistência a penetração foi na atividade de pastagem, mas se encontra a uma declividade de 10 a 15%, 15 a 20, 30 a 45.

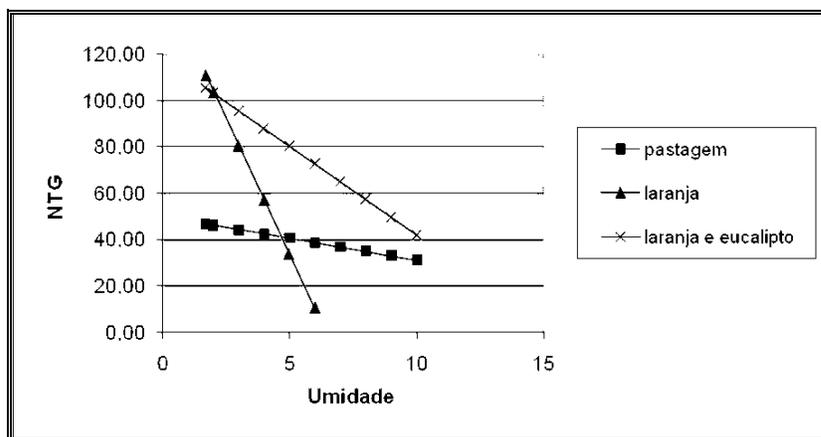


Figura 4.38 - Comportamento da resistência a penetração frente a prática de cana de açúcar, pastagem laranja e eucalipto, nos materiais inconsolidados Retrabalhados arenosos em topo.

4.7.1.3 Material Inconsolidado Retrabalhados areno argilosos

Neste material a atividade responsável pelos valores mais elevados de resistência à penetração é a cana de açúcar (Figura 4.39), vale ressaltar que apenas este material inconsolidado com a atividade de pastagem foi o que apresentou as erosões.

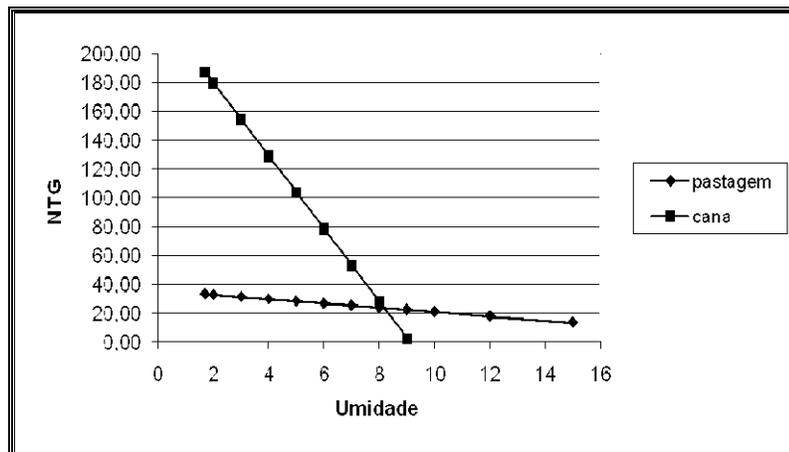


Figura 4.39 - Comportamento da resistência a penetração frente a prática de cana de açúcar e pastagem, nos materiais inconsolidados Retrabalhados areno argilosos.

4.7.1.4 Material Inconsolidado Retrabalhados arenosos da Serra

Neste material foi encontrado um coeficiente de correlação muito baixo, o que torna difícil uma análise coerente dos dados obtidos. Analisando os dados para as duas atividades presentes, o cultivo da cana apresenta um índice de resistência a penetração maior que a atividade de pastagem (Figura 4.40). Não foi encontrada nenhuma erosão nesta unidade.

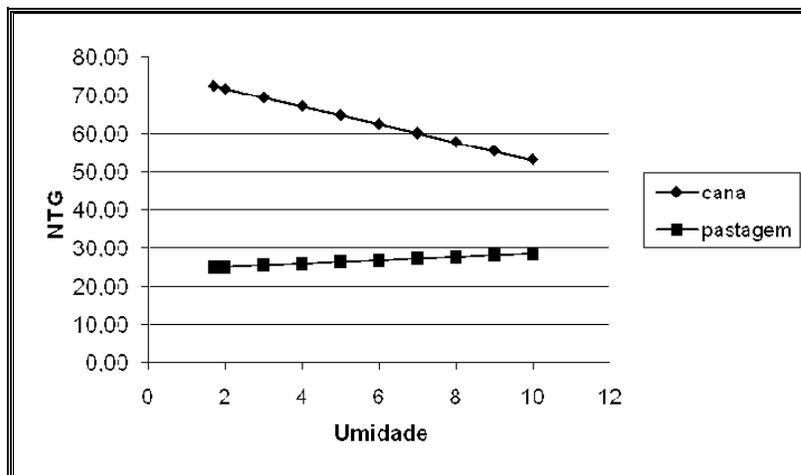


Figura 4.40 - Comportamento da resistência a penetração frente a pratica de cana de açúcar e pastagem, nos materiais inconsolidados Retrabalhados arenosos da serra.

4.7.1.5 Material Inconsolidado Residual Itaquerí

A atividade de pastagem apresenta o valor mais elevado de resistência a penetração (Figura 4.41), o cultivo de cana de açúcar apresenta um valor bem inferior de resistência a penetração. Neste solo com o manejo de pastagem apresentou 2 feições erosivas.

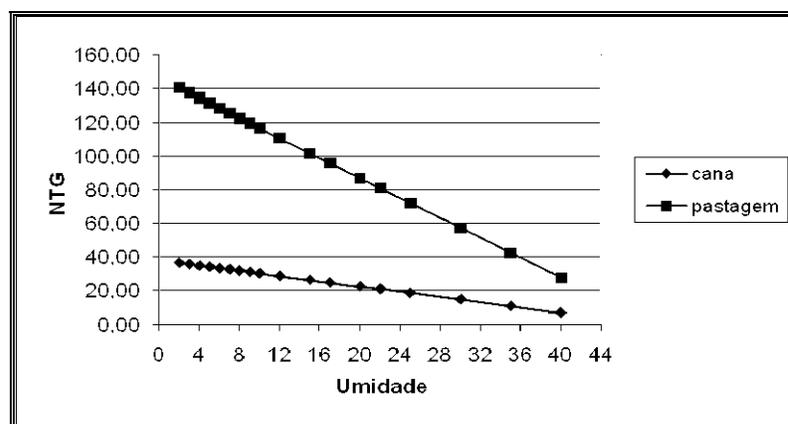


Figura 4.41 - Comportamento da resistência a penetração frente a pratica de cana de açúcar e pastagem, nos materiais inconsolidados Residual Itaquerí.

4.7.1.6 Materiais Inconsolidados Retrabalhados arenosos com pedregulho, Residual de Serra Geral, Residual Botucatu

Nestes materiais inconsolidados o ensaio foi realizado em apenas um uso do solo, não sendo necessário que ele seja o mesmo para todos. A atividade antrópica presente nos retrabalhados arenosos com pedregulho é o cultivo da laranja (Figura 4.42) e nos Residuais Serra Geral e Residuais de Botucatu atividade é o manejo de pastagem (Figura 4.43 e 4.44). O Residuais de Fm. Serra Geral apresentaram muitas erosões, uma alta resistência a penetração, além de apresentar uma alta declividade. No entanto as erosões verificadas são de pequeno porte, principalmente sulcos e ravinas.

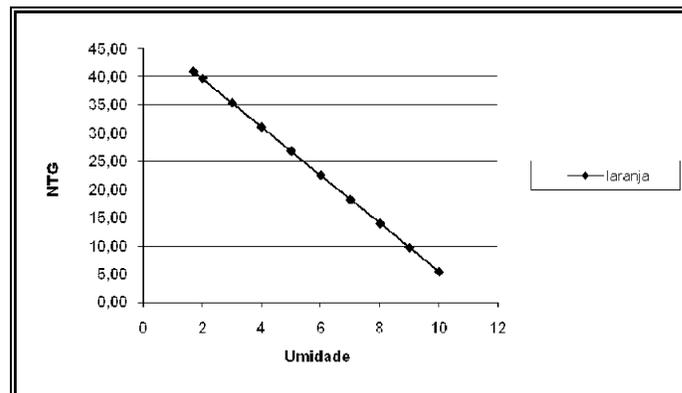


Figura 4.42 - Comportamento da resistência a penetração frente a praticas de laranja para materiais inconsolidados Retrabalhados arenosos com pedregulho.

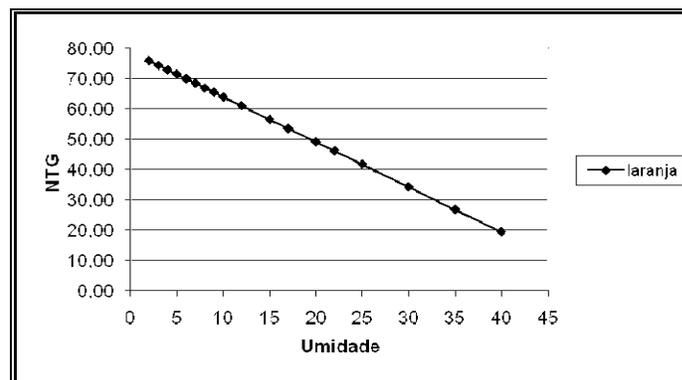


Figura 4.43 - Comportamento da resistência a penetração frente a praticas de pastagem para materiais inconsolidados Residuais da Fm. Serra geral.



Figura 4.44 - Comportamento da resistência a penetração frente a práticas de pastagem para materiais inconsolidados Residuais da Fm. Botucatu.

4.7.2 ANÁLISE DETALHADA DE UMA FEIÇÃO EROSIVA UTILIZANDO PENETRÔMETRO

Foram realizados 17 ensaios (Figura 4.45) circundantes a boçoroca. Essa feição se encontra em processo ativo, mas notou-se que o processo erosivo está mais atuante no lado esquerdo da mesma, enquanto que o outro lado encontra-se mais estável (Figuras 4.46 a 4.49). É uma feição que em parte se encontra vegetada e o uso do solo ao redor é uma vegetação de pequeno porte (pastagem).

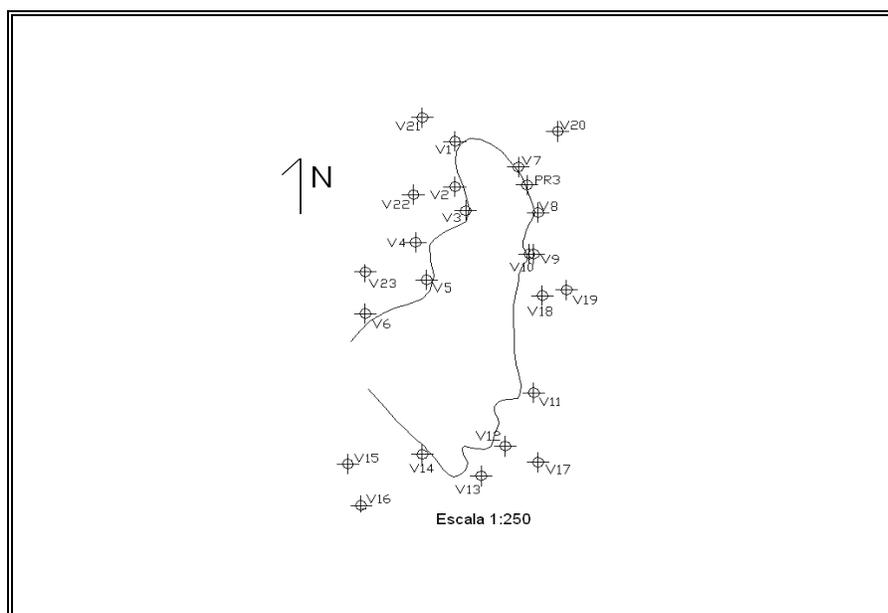


Figura 4.45 - Esboço da boçoroca onde foram realizados os ensaios com penetrômetro de impacto.



Figura 4.46 – Boçoroca de jusante para montante.



Figura 4.47- Lado esquerdo da boçoroca, processo erosivo está ativo.



Figura 4.48 – Lado esquerdo da boçoroca, processo erosivo está ativo.



Figura 4.49 – Boçoroca de montante para jusante

Com as análises de resistência a penetração notou-se que o lado onde está ocorrendo o avanço dos processos erosivos, é onde ocorre uma diminuição da compactação do solo. Como se pode observar no gráfico da Figura 4.50 nota-se que à medida que aumenta a umidade a resistência a penetração do lado esquerdo cai bruscamente comparada ao lado direito.

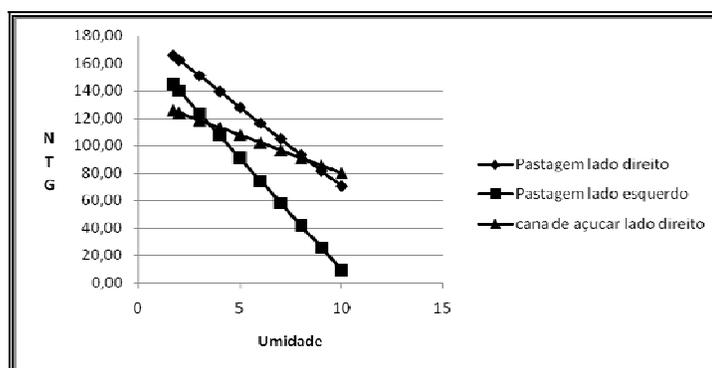


Figura 4.50 - Comportamento da resistência a penetração frente as práticas de cana e pastagem para materiais inconsolidados Retrabalhados em topo, na voçoroca em análise.

Nesta área, onde se tem o mesmo tipo de material inconsolidado e situação topográfica semelhante, mas com uso agrícola diferente, observa-se um comportamento diferenciado tanto quanto resistência a penetração quanto em

relação a erosão. Verifica-se que a parte mais ativa da erosão, lado esquerdo, encontra-se em material, que quando seco, apresentou valor 140 de NTG (não foi maior que o lado direito onde está mais estável), mas que com o aumento da umidade mostrou uma queda muito acentuada do NTG (Figura 4.50). Este aspecto poderia estar relacionado com a evolução do processo erosivo, uma vez que no início de um evento chuvoso, o material ainda com baixa umidade, teria maior resistência, mas a medida que fosse aumentando seu teor de umidade perderia a resistência o que facilitaria a aceleração da erosão.

Os materiais presentes no lado mais estável da erosão, apesar de apresentarem também altos valores de NTG quando secos mostram-se menos sensíveis às variações de umidade, apresentando uma menor queda de resistência com o aumento da umidade.

4.7.3 ANÁLISE CONJUNTA DO NTG DOS SOLOS E OS DIFERENTES USOS.

A Figura 4.51 apresenta os dados de NTG para todas as unidades de materiais inconsolidados em função da variação de umidade e dos tipos de uso. Nesta figura pode-se observar que a resistência a penetração varia significativamente para muitos solos e usos a medida que aumenta a umidade, enquanto que para outros como é o caso dos Residuais Serra Geral, Residuais da Fm Itaqueri e Retrabalhados arenosos da Serra o NTG a variação é menor.

Para um mesmo tipo de solo, pode-se dizer que a maior resistência a penetração indica uma maior compactação, o que pode dificultar a infiltração da água e aumentar o escoamento superficial, ficando o solo suscetível a atuação dos processos erosivos. A Figura 4.51 mostra que o NTG variou significativamente entre as unidades de material inconsolidado e que dentro de uma mesma unidade as variações ocorreram em função dos diferentes tipos de uso. No entanto quando se

busca uma correlação dos índices de resistência a penetração com as erosões não está clara esta influência. Como se sabe, muitos fatores interferem no processo erosivo e conseqüentemente podem sobrepujar a influência da compactação do solo.

Embora em caráter preliminar, mas algumas observações sobre os dados da Figura 4.51 chamam a atenção. Observa-se que a variabilidade nos valores de NTG x umidade foi pequeno, quando comparado com os demais, para o uso do solo como pastagem, mesmo considerando 6 materiais inconsolidados diferentes. Este tipo de uso parece impor ao solo uma característica mais uniforme em termos de resistência a penetração e coincidentemente foi o tipo de uso que de longe apresentou o maior número de feições de todos os tipos (28 em 22), sendo 11 boçorocas, 11 ravinas e 6 sulcos.

Portanto, verifica-se que para analisar se um solo é mais susceptível ou não aos processos erosivos, é necessário que sejam analisados, além da resistência a penetração, todas características da área. Notou-se que o uso influencia no comportamento do solo tornando-se um parâmetro fundamental para análise, desde que os outros parâmetros do terreno sejam mantidos constantes para um mesmo solo.

A unidade Residual da Fm Pirambóia apresentou cerca de 0,77 feições por Km². O solo Residual da Fm Itaqueri apresentou cerca de 0,77 feições por Km².

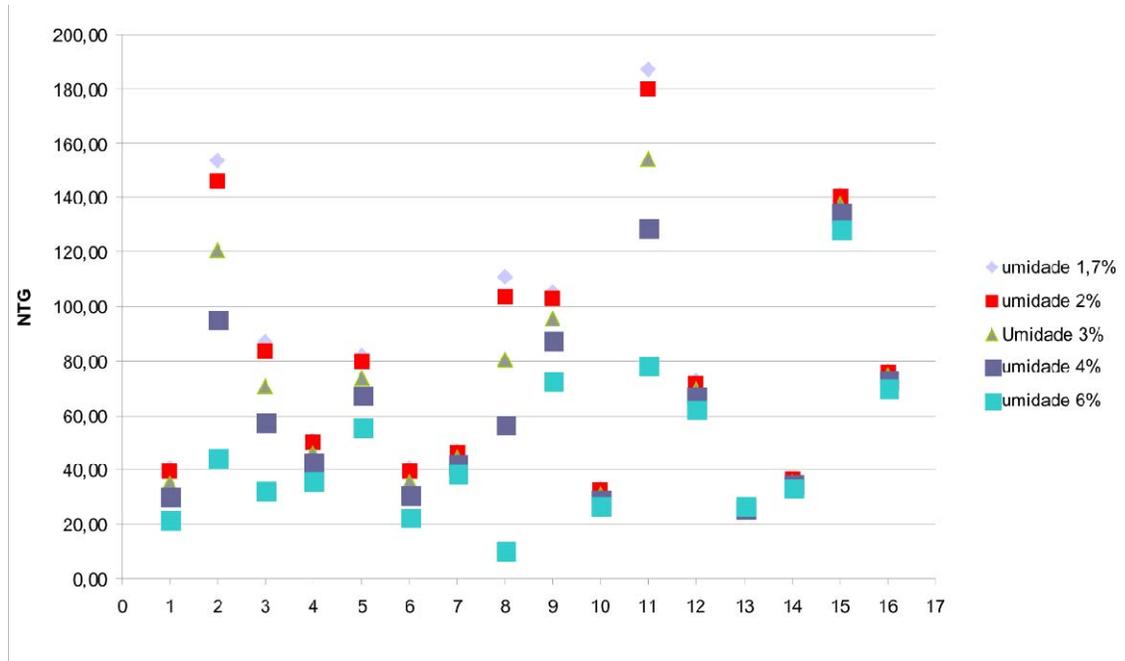


Figura 4.51 - Comportamento da resistência de penetração considerando dois teores de umidade. (1- Residual Botucatu pastagem, 2- Residual Pirambóia pastagem, 3- Residual Pirambóia laranja, 4- Residual Pirambóia cana açúcar, 5- Residual Pirambóia eucalipto, 6- Retrabalhados Arenosos c/ pedregulho laranja, 7- Retrabalhados Arenosos em topo pastagem, 8- Retrabalhados Arenosos em topo laranja, 9- Retrabalhados Arenosos em topo laranja+eucalipto, 10- Retrabalhados Arenoargilosos pastagem, 11- Retrabalhados Arenoargilosos cana de açúcar, 12- Retrabalhados Arenosos serra cana de açúcar, 13- Retrabalhados Arenosos serra pastagem, 14- Residual Itaqueri cana de açúcar, 15- Residual Itaqueri pastagem, 16- Residual Serra Geral pastagem)

A unidade Retrabalhados arenosos em topo apresentou cerca de 0,49 feições por Km², sendo a unidade com maior número de feições. É interessante observar que esta unidade foi uma das poucas que apresentou o índice de erodibilidade inferior a 1, característico de solos com alta erodibilidade. Portanto, dada a fragilidade natural destes solos aos processos erosivos, as formas de uso inadequado conduziram a um maior número de feições erosivas. O mesmo observa-se para a unidade retrabalhados areno argilosos que apresentou cerca de 0,74

feições por Km², um dos maiores índices para a área e também tem índice de erodibilidade inferior a 1.

Quando analisada em termos de área erodida notou-se que os solos residuais da Fm. Serra Geral, dentre os solos que foram afetados por erosões, foi o que obteve a menor percentagem de área erodida (0,004%), e o que apresentou maior percentagem de área erodida foi o solo residual da Fm. Pirambóia (0,48%), seguido das Fm. Retrabalhados arenosos em topo (0,08%), Retrabalhados areno-argilosos (0,024%) e Residuais da Fm. Itaqueri.

O inventário das feições erosivas foi importante, pois delimitou as áreas que apresentam maiores concentrações de erosões, e permitiu relacionar com os parâmetros que contribuem para a evolução dos processos erosivos, bem como o aumento das mesmas.

A maioria das erosões está presente nos retrabalhados arenosos em topo, ocupando cerca de 36,4%; 21,2% nos Residuais Serra Geral; 21,2 % Residuais da Fm. Piramboia; 15,1% Retrabalhados areno argilosos e 6,1% das feições erosivas no Residual da Fm. Itaqueri. Notou-se que as boçorocas ocorrem predominantemente em materiais retrabalhados.

Quanto a análise da concentração de erosão levando em conta a área do material inconsolidado:

- A unidade Residual da Fm Pirambóia apresentou cerca de 0,77 feições por Km².
- O solo Residual da Fm Itaqueri apresentou cerca de 0,77 feições por Km².
- A unidade Retrabalhados arenosos em topo apresentou cerca de 0,49 feições por Km², sendo a unidade com maior número de feições e a maior área de materiais inconsolidados.
- Retrabalhados areno argilosos que apresentou cerca de 0,74 feições por Km².

As feições erosivas estão presente cerca de 27% na classe de declividade 10-15%, e 12% de erosões em cada uma das classes 5-10,15-20, 20-30 e 30-45.

O método para a determinação do NTG utilizando penetrômetro de impacto mostrou-se fácil e rápido de executar e trouxe informações importantes sobre a compacidade dos solos. Seria interessante que fosse utilizado uma sonda acoplada

a um TDR que permitisse a obtenção da umidade diretamente no campo, como aquela utilizada por Silva (2005). Este procedimento evitaria a coleta e transporte de grande quantidade de amostra para o laboratório, agilizando ainda mais a obtenção dos resultados a penetração.

Notou-se que a análise do NTG e umidade média, separado apenas por tipo de solo, desconsiderando o uso, não obteve bom resultado.

Considerando o uso do solo e o tipo de material inconsolidado, a resistência à penetração variou de forma inversamente proporcional a umidade média.

Analisando a resistência a penetração com a ocorrência de erosões, o tipo de uso e o tipo de material inconsolidado observaram-se:

- No material Residual da Fm. Pirambóia o uso pastagem que apresentou uma maior compactação apresentando 2 boçorocas e 2 sulcos. O uso cana de açúcar apresentou baixa compactação, mas devido a alta declividade este uso apresentou erosões.
- No solo retrabalhados arenosos em topo o uso pastagem apresentou um baixo índice de resistência penetração, mas apresentou erosões, o fator determinante foi a alta declividade.
- O solo Residual da Fm. Serra Geral apresentou uma alta compactação e a área esta localizada em alta declividade, as ocorrências de erosões são de pequeno porte, proveniente de trilhas de gado.
- Na erosão onde foi realizado o ensaio com penetrômetro, constatou-se que o lado que está mais instável apresentou um valor de compactação menor que do lado mais estável, mas com o aumento da umidade a resistência do solo reduziu-se consideravelmente, podendo ser o causador do avanço, deste lado esquerdo da boçoroca.

Sabendo que o uso influencia na resistência a penetração, logo, torna-se necessário um controle maior nas culturas que propiciam o aumento da resistência, para tentar um maior controle quanto aos processos erosivos atuantes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**CAPITULO 6**

ABNT-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1984) - Norma:

Determinação da Massa Específica do Solo: Terminologia (NBR 6508/84).

ABNT-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1984) - Norma: **Solo-**

Análise granulométrica: Terminologia (NBR 7181/84).

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

BELTRAME, L.F.S.; GOLDIN, L.A.R & TAYLOR, J.C. **Estruturas e compactação na permeabilidade de solos do Rio Grande do Sul**. Revista brasileira de Ciências do Solo. Campinas, 1981. V.5 p. 145-149.

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

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

BRADFORD, J.L; Penetrability. In: A. Klute (ed) **Methsity on penetration resistance. Finally, comparison of ods of soil analysis**. Part 1. 2nd ed. gron. Monogr. 9. ASA and gravimetric water content with measurements obtained SSSA, Madison, WI. 1986. p 463–478.

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

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

CLAYTON, K.M (ed). Slopes. Edinburg, Oliva & Boyd, 1972. 288 p

COELHO NETO. **Diagnóstico de erosão para planejamento regional: subsídios metodológicos sob enfoque geo-hidroecológico**. In: VI simpósio Nacional de Controle de Erosão. Anais... CD ROOM. Presidente Prudente-SP: ABGE, 1998.

DAEE. **A atuação do departamento de águas e energia elétrica no combate à erosão urbana do Estado de São Paulo. Diretoria de Obras do Departamento de Águas e Energia Elétrica**. In: Simpósio sobre o controle de Erosão. Curitiba-PR: ABGE, 1990. p 69-71 (1980)

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

FERREIRA, P.F; SECCO, D.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; GENRO JUNIOR, S.A. **Influência da compactação do solo sobre parâmetros de resistência ao**

cisalhamento em latossolo vermelho distroférico sob sistema plantio direto.
2002.

FERREIRA, M.D. **Relatório “Processos erosivos: fatores que controlam a ocorrência espacial e temporal em escala de bacia”** EESC, Departamento de Geotecnia, 2006.

FENDRICH, R.; OBLADEN, N.L.; AISSE, M.M. **Drenagem e Controle da Erosão Urbana.** 4º Ed. Curitiba: Champagnat, 1997. 486 p.

FIORIE, O. C.; SOARES, P.C. - **Aspectos Evolutivos das voçorocas.** Notícias Geomorfológicas. Campinas, 1976. V16. N°32. p 114-124.

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

GABRIELS, D. **The effect of slope length on the amount and size distribution of eroded silt loam soil: short slope laboratory experiments on interrill erosion.** Geomorphology Elsevier, 1999. N° 28 p 169-172.

GOMAR, P. E.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. **Resistência à Penetração de Vertissolo a Diferentes Umidades e Uso do Solo.** XIV Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, Cuiabá, MT. 2002.

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

GUERRA, A. J. T. & CUNHA, S. B. **Geomorfologia e Meio Ambiente**. Bertrand Brasil, 1996. p. 337-376.

HORN, R.; DOMZAL, H.; SLOWINSKA-JURKIEWITCZ, A.; VAN OWERKERK, C.
Soil compaction processes and their effects on the structure of arable soils and the environment. Soil & Till. Res 35:23-36. 1995

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

KLEIN, V.A. *et al.* **Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes condições de densidade de solo e teor de água**. *Eng. Agric.*, Jaboticabal, v.18, n.2, p.45-54, 1998.

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

MORGAN, R.P.C. **Soil erosion and conservation**. 2nd ed. Harlow Essex England: Longman; New York: Wiley, 1996

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

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

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

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

PEJON, O. J.; ZUQUETTE, Lázaro Valentin. **Carta de predisposição à erosão acelerada - área de Piracicaba, Estado de São Paulo, Brasil: Metodologia e Avaliação dos resultados.** Geotecnia, Portugal, 2001, N. 93, p. 33-60.

PRANDI, E. C; VILAR, O. M.; **Erosão dos Solos.** In: J.C.A.Cintra; J.H.Albiero. (Org.). SOLOS DO INTERIOR DE SÃO PAULO. São Carlos-SP: ABMS, 1993, V. 1, p. 179.

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

RIDENTE JUNIOR, J.L. **Prevenção e controle da erosão urbana: bacia do Córrego do Limoeiro e bacia do Córrego do Cedro, municípios de Presidente Prudente e Álvares Machado, SP**. Dissertação Mestrado – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000. 108p.

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

RODRIGUES, J.E. & VILLAR, O.M. **Estudo da erosão interna em boçorocas através da teoria do carregamento**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 4, 1984, Belo Horizonte. *Anais...*São Paulo: ABGE, V.2, p. 163-168.

SALOMÃO, F.X.T.; IWASA, O.Y. **Erosão e a ocupação rural e urbana**. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 1995. Curso de geologia aplicada ao meio ambiente. São Paulo. Cap.3, p.31-57.

SELBY, M. J. **Hillslope Material and Process**. 2ª edição. Oxford: Oxford University Press, 1993.

SILVA, S.F. **Zoneamento Geoambiental com auxílio de Lógica fuzzy e proposta de um geoindicador para caracterização do meio físico da bacia do rio do peixe.** Tese de Doutorado - EESC. São Carlos-SP, 2005.

SOUZA, M. L. **Proposta de um Sistema de Classificação de Feições Erosivas voltados à Estudos de Procedimentos de Análises de Decisões quanto a Medidas Corretivas, Mitigadoras e Preventivas: Aplicação no Município de Umuarama (PR).** Tese de Doutorado - UNESP. Rio Claro – SP, 2001.

STEIN, D.P.; DONZELLI, P.L.; GIMENEZ, F.A.; PONÇANO, E.L.; LOMBARDI NETO, F. **Potencial de erosão laminar, natural e antrópica na bacia do Peixe Paranapanema.** In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 4, Marília. Anais... ABGE. v.1, p.105-135. 1987

STOLF, R., FERNANDES, J. E FURLANI NETO, V. L **Recomendação para Uso do Penetrômetro de Impacto. Modelo IAA/Planasucar – Stolf.** Revista Brasileira STBA – Açúcar, Álcool e subprodutos, 1983, V. 1, n. 3.

STOLF, R. **Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo.** *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.15, p.229-35, 1991.

TAVARES FILHO. J. , EIRA. G. C., LUDWIG FARINHA. L. R. **Avaliação da compactação em um solo cultivado no sistema convencional.** Eng. Agrícola, Jaboticabal, v.19, n.2, p.219-225, dez. 1999.

TORMENA, D.A., ROLOFF, G. **Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto.** *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.20, p.333-9, 1996.

YAMANOUTH, G.R de B. **Avaliação dos processos erosivos e das técnicas de controle e reabilitação- Bacia do Córrego do Espriado (São Pedro-SP).** Dissertação de mestrado. ESSC. USP, São Carlos, 2003.

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