

UFRRJ
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
CIÊNCIA DO SOLO

DISSERTAÇÃO

**Perda de Solo e Nutrientes em Voçorocas com
Diferentes Níveis de Controle e Recuperação no
Médio Vale do Rio Paraíba do Sul, RJ**

Roriz Luciano Machado

2007



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
CIÊNCIA DO SOLO**

**PERDA DE SOLO E NUTRIENTES EM VOÇOROCAS COM
DIFERENTES NÍVEIS DE CONTROLE E RECUPERAÇÃO NO
MÉDIO VALE DO RIO PARAÍBA DO SUL, RJ**

RORIZ LUCIANO MACHADO

Sob a Orientação do Professor
Avílio Antônio Franco

e Co-orientação do Professor
Alexander Silva de Resende

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Ciência do Solo

Seropédica, RJ
Fevereiro de 2007

631.4
M149p
T

Machado, Roriz Luciano, 1978-
Perda de solo e nutrientes em voçorocas
com diferentes níveis de controle e
recuperação no Médio Vale do rio Paraíba
do Sul, RJ. / Roriz Luciano Machado -
2007.

86 f. : il.

Orientador: Avílio Antônio Franco.
Dissertação (mestrado) - Universidade
Federal Rural do Rio de Janeiro,
Instituto de Agronomia.

Bibliografia: f. 72-80.

1. Ciência do solo - Teses. 2. Solos -
Erosão - Teses. 3. Voçorocas - Paraíba do
Sul, Rio, Vale - Teses. 4. Micorriza -
Teses. I. Franco, Avílio Antônio, 1946-.
II. Universidade Federal Rural do Rio de
Janeiro. Instituto de Agronomia. III.
Título.

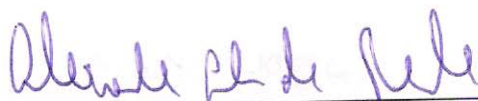
É permitida a cópia parcial ou total desta dissertação, desde que seja citada a fonte

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA – CIÊNCIA DO SOLO

RORIZ LUCIANO MACHADO

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Ciência do Solo.

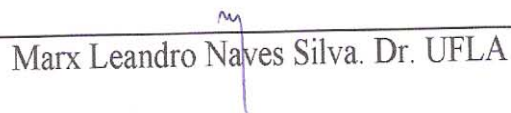
DISSERTAÇÃO APROVADA EM 26/02/2007



Alexander Silva de Resende. Dr. Embrapa Agrobiologia
(Co-Orientador)



Marcos Bacis Ceddia. Dr. UFRRJ



Marx Leandro Naves Silva. Dr. UFLA

DEDICATÓRIA

*Aos meus pais João Batista e Luzia, irmãos
Weber, Wender e Rosimeire, avó “Sinhá” e a
minha namorada, Suele Denise, dedico.*

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida, saúde e força por conseguir mais essa vitória e a realização de um grande sonho.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, por esta oportunidade de continuar estudando nessa casa.

Ao Curso de Pós Graduação Agronomia – Ciência do Solo (CPGA-CS), onde sinto-me honrado em aperfeiçoar minha formação.

Ao CNPq pela bolsa de estudos no primeiro ano e a FAPERJ Bolsa Nota 10, no último ano do curso.

À Embrapa Agrobiologia de modo geral.

Ao Dr Avílio, por conceder a oportunidade de desenvolver esse trabalho sob sua experiente orientação.

Ao Dr Alexander pela orientação, apoio, ensinamentos, críticas, compreensão e a valiosa experiência que me permitiu adquirir durante esse período, a qual tem contribuído muito para minha experiência profissional.

Aos técnicos do Laboratório de Leguminosas, especialmente Fernando Cunha e Telmo Félix pelo apoio de campo fundamental no desenvolvimento deste trabalho.

Aos funcionários Flávio Lages e Monalisa Coelho e estagiários Priscila e Pedro do laboratório de Solos, e ao técnico Altiberto do Laboratório de Nitrogênio da Embrapa Agrobiologia, pelo apoio nas análises de fertilidade, C e N total.

À Dorimar Félix e Jorge Motônio pelo suporte bibliotecário e encadernação.

Aos professores e funcionários do Colégio Agrícola Nilo Peçanha (CANP-UFF), Arimathéa, Marlon e Márcio pela concessão da área experimental, apoio nas atividades e disponibilização de dados meteorológicos.

A Carlos Eduardo Menezes (CANP-UFF), amigo para toda hora, pelo auxílio na classificação dos solos nas áreas, apoio logístico em Pinheiral e compartilhamento de experiências na região de estudo.

Ao pessoal da Embrapa Solos, pesquisadores Polidoro e Daniel, e às laboratoristas Viviane Escalera e Rojane e a estagiária Celeste, pelo apoio na análise de nutrientes pseudo-totais.

Aos professores Lúcia Anjos e Marcos Gervasio pela confiança desde a graduação, sugestões no trabalho e pelo indispensável apoio na classificação dos solos das áreas de voçorocas.

Aos funcionários Neyde e Paulo pelo apoio na área de transporte para os experimentos em Pinheiral.

Aos professores do Departamento de Solos da UFRRJ, Marcos Gervásio, Marcos Bacis e Raveli pelo esclarecimento de dúvidas e apoio nas análises físicas do solo.

Ao estagiário Bruno Couto do Colégio Agrícola Nilo Peçanha-UFF, pelo apoio nos trabalhos de campo.

Aos estagiários externos, Izamir, Paulo Toledo, Alcione, Eline, Kátia, Cássia e Paulo Monroe pelo auxílio nas atividades.

Aos colegas e amigos do Laboratório de Leguminosas Joventino, Michele, Lusimar, Gabriela, Andréia, Pedro Adnet, Elizabeth, Willian, Pedro Medrado, André e Pedro Nóbrega pelo apoio ao longo do trabalho e amizade.

Aos pesquisadores do Laboratório de Leguminosas Eduardo Campello, Cláudia Jantália e Sérgio Miana pelas sugestões no trabalho.

À estatística da Embrapa Agrobiologia, Janaína Ribeiro, pelo apoio nas análises de dados.

Ao amigo Dionízio pelo apoio nos cálculos de erosividade das chuvas.

Aos amigos da secretaria do CPGA-CS, Roberto, Luciene e Marquinhos pelo apoio e amizade.

Ao professor Daniel Carvalho do Instituto de Tecnologia da Rural, pela solução de dúvidas na área de hidrologia.

Ao amigo Luc Rows, pelo apoio na tradução dos resumos/abstracts.

Ao Colega André Fernão, pela viabilização de dados meteorológicos de Volta Redonda, RJ.

Aos amigos do alojamento da Embrapa Agrobiologia, pela amizade, companheirismo e aprendizado durante o convívio nesse período.

Aos guardas da Embrapa Agrobiologia Cléber Lemos, Jhony Márcio, Leandro Jardel, Robson Félix e Wallace Silva, pela amizade.

Aos amigos Fabiano Balieiro e João Ricardo, pelo apoio e amizade e Anatalino Silva, pelo incentivo em buscar o crescimento profissional.

E a todos aqueles que contribuíram de forma direta ou indireta para realização desse trabalho, e os nomes falham à memória.

BIOGRAFIA

Roriz Luciano Machado, filho de João Batista Machado e Luzia Luiza B. Machado, nasceu no dia 24 de dezembro de 1978 na cidade de Ceres-GO. Em 1995, concluiu o ensino fundamental no Colégio Estadual Raimundo Santana Amaral em Rubiataba-GO, e em 1998, o curso Técnico em Agropecuária pela Escola Agrotécnica Federal de Ceres-GO. De 1999 a 2004/II, concluiu os créditos dos cursos de Graduação em Licenciatura em Ciências Agrícolas e Agronomia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), colando grau nesse último em março de 2005. Durante a graduação participou de projetos de pesquisa nas áreas de Fertilidade do Solo, Olericultura (bolsista PIBIC/CNPq por um ano) e Propagação de Plantas na UFRRJ. Ainda na graduação, a partir de março de 2002, ingressou na Embrapa Agrobiologia na área de recuperação de áreas degradadas como bolsista PIBIC/CNPq. Em março de 2005, iniciou o mestrado no Curso de Pós-Graduação em Agronomia - Ciência do Solo na UFRRJ, em parceria com a Embrapa Agrobiologia, com bolsa do CNPq no primeiro ano e da FAPERJ (Bolsa Nota 10) no último ano, submetendo-se à defesa em 26 de fevereiro de 2007.

RESUMO GERAL

MACHADO, Roriz Luciano. **Perda de solo e nutrientes em voçorocas com diferentes níveis de controle e recuperação no Médio Vale do Rio Paraíba do Sul, RJ.** 2007. 86f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2007.

Em conseqüência do ciclo histórico de uso dos recursos naturais, desde o cultivo do café no século XIX, aliado ao seu relevo acidentado, a Bacia do rio Paraíba do Sul encontra-se atualmente com elevado grau de degradação do solo, evidenciado por formas erosivas avançadas como as voçorocas, que vêm causando o assoreamento do rio Paraíba do Sul. O presente trabalho objetivou estudar atributos do solo, relevo e clima, bem como, avaliar a eficiência de práticas de conservação do solo para estabilização e recuperação de voçorocas no município de Pinheiral, RJ. Para tanto foram avaliadas as características físicas e químicas do solo, de relevo, e a perda de solo e nutrientes em áreas com voçorocas com diferentes níveis de controle da erosão: a) voçoroca recuperada, com estruturas físicas (terraços de base estreita com bacias de contenção nas extremidades, e paliçadas de bambu e pneus usados, nas áreas interna e de entorno das voçorocas) e biológicas (revegetação com leguminosas arbóreas noduladas e micorrizadas); b) voçoroca em recuperação, com estruturas físicas; c) e a terceira voçoroca, sem intervenção. Fez parte do estudo também uma área de floresta secundária; e em cada voçoroca foi implantado coletor de sedimentos. As áreas apresentam relevo forte ondulado e horizonte Cr profundo chegando a mais de 15 m de espessura. A densidade do solo, estabilidade de agregados, velocidade de infiltração e fertilidade do solo demonstraram ser semelhantes nas áreas das voçorocas estudadas. Os estoques de C e N total foram muito baixos quando comparado com os valores encontrados na literatura para solos semelhantes, e a revegetação com leguminosas apresentou grande potencial para aumentar esses estoques no solo. Em relação à perda de solo, nas três primeiras avaliações foram quantificados 33,9, 13,2, 18,7 Mg ha⁻¹ de sedimentos na voçoroca sem intervenção, enquanto que na voçoroca com intervenções físicas, essas perdas foram de 1,3, 2,2 e 2,3 Mg ha⁻¹, o que significa uma redução de 96, 83 e 88 %, respectivamente. Na voçoroca recuperada com proteção física e revegetação, praticamente não houve perda de solo. Considerando a perda total nas três voçorocas (sem considerar a área de captação de cada uma) a redução das perdas foi de 98 % na voçoroca em recuperação e 99 % na voçoroca recuperada. A respeito da granulometria, os sedimentos tenderam a ser arenosos nas voçorocas sem intervenção e recuperada, e siltosos, na voçoroca em recuperação, resultado atribuído ao efeito das paliçadas com sacos de ráfia. Em relação à perda de nutrientes, a quantidade de Ca, Mg, K, P (pseudo-total) e N total perdidos nos sedimentos da voçoroca sem intervenção, foi de 1.811 Kg em 1.145 m² de voçoroca. Com as medidas físicas e biológicas de controle da erosão (voçoroca recuperada) conseguiu-se reduzir as perdas desses nutrientes em mais de 90 % nas três primeiras avaliações, e em 96 %, em todo o período chuvoso em relação à voçoroca sem intervenção, o que resultaria em uma economia de mais de R\$ 2.190,00 na reposição direta desses nutrientes. Os resultados mostram que a metodologia utilizada foi muito eficiente na redução da perda de solo e nutrientes em voçorocas e contribuiu para o aumento de C e N no solo.

Palavras - chave: Erosão hídrica. Leguminosas arbóreas. Micorrizas. Nodulação.

GENERAL ABSTRACT

MACHADO, Roriz Luciano. **Soil and nutrient losses from gullies under different levels of control and reclamation in Medium Paraíba do Sul River Valley, RJ.** 2007. 86p. Dissertation (Master Science in Agronomy, Soil Science) Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2007.

As a consequence of the natural resources exploitation cycle, which started with coffee plantations in the 19th century, and the hilly landscape, Paraíba do Sul river watershed is presently under advanced degree of soil degradation, evidenced by advanced stage of erosion forms such as gullies, causing sedimentation in the Paraíba do Sul River. The objective of this study was to characterize soil attributes, landscape and climate, as well as, to evaluate the efficiency of practices of soil amelioration in stabilizing and recovering gullies in the Pinheiral municipality, Rio de Janeiro State, Brazil. Soil physical and chemical attributes, slope, and soil and nutrient loss were evaluated in areas with gullies under different stages of activity and erosion control: a) stabilized gully with physical barriers, inside and outside the gully, and planted with nodulated and mycorrhizal legume trees; b) gully stabilized, with physical barriers, and; c) gully without intervention. It was also included in the study an area of a 20 years old secondary forest. For each gully a sediment collector was installed. The areas under study presented a strongly hilled landscape, with C horizons reaching up to 15 m. Samples of soils collected inside and around de gullies were analyzed for physical and chemical properties. Bulk density, aggregates stability, soil permeability and soil fertility demonstrated to be similar in the areas of the studied gullies. The carbon and nitrogen stocks were very low at all sites when compared with values found in the literature for similar soils types. Revegetation with legume trees showed high potential in elevating soil C stocks. In relation to soil losses, 33.9, 13.2 and 18.7 Mg.ha⁻¹ of sediments was found in the gully without intervention. In contrast there was a loss of 1.3, 2.2 and 2.3 Mg.ha⁻¹ in the gully with physical protection, a reduction of 96, 83 and 88%, respectively. The gully stabilized with physical protection and revegetation showed practically no soil loss. Considering the total loss in the three gullies (not including catchments area) the loss reduction was of 98% in the gully with physical protection, and 99% in the gully with physical protection and vegetated, when compared to the gully without intervention. In relation to particle size the sediments tended to be sandy in the gully without intervention and the one with physical and biological measures, and silty in the gully with physical protection only, that is probably related to the effect of the physical barriers. Regarding the nutrient loss, the amount of Ca, Mg, K, P (pseudo-total) and N (total) lost in the sediments of the gully without intervention was of 1811 kg in 1145 m² of gully area. The biological and physical measures of erosion control (gully with physical barriers and vegetation) resulted in a decreasing of nutrient losses up to 90% in the first three evaluations, and of 96% for all the rainy period, when compared to the gully without intervention, which would result in an economy of US\$1,000.00, when taken the direct replacement of those nutrients. The results show that the methodology utilized was very efficient in the reduction of the soil and nutrient loss in gullies and it contributed for the increase of soil C and N.

Key words: Hydric erosion. Legume trees. Mycorrhizae. Nodulation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização do município de Pinheiral - RJ.....	18
Figura 2: Áreas em estudo: A) Voçoroca recuperada B) Voçoroca em recuperação C) Voçoroca sem intervenção D) Floresta secundária.....	21
Figura 3: Isolamento do pastejo (A) e construção de aceiros (B).....	22
Figura 4: Vista de um terraço de base estreita do tipo “cordão em contorno”, com a terra colocada abaixo do terraço, formando um camalhão para aumentar sua eficiência.....	23
Figura 5: Ilustração de bacia de contenção no final de terraço em desnível.....	23
Figura 6: Paliçadas de bambu implantadas na área interna da voçoroca.....	24
Figura 7: Esboço da área da voçoroca em recuperação, Pinheiral-RJ.....	29
Figura 8: Esboço da área da voçoroca sem intervenção, Pinheiral-RJ.....	29
Figura 9: Imagem tridimensional das vertentes das áreas de voçorocas. A) voçoroca em recuperação; B) voçoroca sem intervenção.....	30
Figura 10: Características granulométricas em profundidade nas voçorocas recuperada e em recuperação.....	34
Figura 11: Vista do afloramento de cascalhos e calhaus na voçoroca em recuperação.....	35
Figura 12: Aspecto da revegetação interna da voçoroca em recuperação.....	41
Figura 13: Agrupamento hierárquico de Clustering para as três áreas de voçorocas.....	43
Figura 14: Coletor de sedimentos na voçoroca recuperada.....	49
Figura 15: Coletores de sedimentos na voçoroca em recuperação.....	49
Figura 16: Vista da voçoroca sem intervenção e praça de sedimentação para coleta de sedimentos. A – Área delimitada com bambu; B – Área não delimitada.....	50
Figura 17: Precipitação pluviométrica ocorrida entre julho de 2005 e junho de 2006 em Pinheiral-RJ, registrada no posto meteorológico instalado no CANP-UFF.....	53
Figura 19: Perda de solo em diferentes avaliações níveis de controle da erosão em voçorocas.....	56
Figura 20: Vista do coletor de sedimentos vazio na voçoroca recuperada, contendo serapilheira e água, em 24 de janeiro de 2006, próximo á terceira avaliação.....	56
Figura 21: Desmoronamento de talude da voçoroca em recuperação. À esquerda, foto em 24/01/06 e à direita em 25/02/06.....	57
Figura 22: Perda total de solo nas três voçorocas em estudo no verão 2005/2006.....	58
Figura 23: Aspecto de partículas mais grosseiras nos sedimentos da erosão, no coletor da voçoroca sem intervenção.....	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Características das encostas e das voçorocas.	28
Tabela 2: Densidade do solo na área de entorno (terço médio) das voçorocas e floresta secundária.	31
Tabela 3: Densidade do solo avaliado na área de entorno (terço superior) e parte interna de voçoroca recuperada e em recuperação.	32
Tabela 5: Granulometria do solo no terço superior nas encostas das voçorocas recuperada (v. recup.) e em recuperação (v. em recup.), em trincheiras.	34
Tabela 6: Granulometria do solo fração terra fina (< 2 mm) na parte interna das voçorocas recuperada e em recuperação.	35
Tabela 7: Granulometria da fração grosseira (> 20 mm) do solo na voçoroca em recuperação.	36
Tabela 8: Estabilidade de agregados (DMP) no entorno das áreas de voçorocas e floresta secundária nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, Pinheiral, RJ.	37
Tabela 9: Velocidade de infiltração básica da água no solo (mm h^{-1}) em diferentes partes da encosta no entorno das voçorocas em estudo.	37
Tabela 10: Fertilidade no terço superior (trincheira) do entorno das voçorocas recuperada e em recuperação e no terço médio do entorno das três de áreas de voçorocas e floresta secundária.	40
Tabela 12: Teor e estoque de C total nas voçorocas recuperada (v. recup) e em recuperação (v. em recup) (médias de 4 repetições). Valores transformados em $\log(x+1)$ na análise.	42
Tabela 13: Teor e estoque de N total, e relação C/N, na voçoroca recuperada (v. recup.) e em recuperação (v. em recup.) (médias de 4 repetições). Valores transformados em $\log(x+1)$ na análise.	42
Tabela 14: Características das chuvas erosivas e não erosivas ocorridas em Pinheiral entre 25/11/05 e 23/02/06, determinado pelo Software <i>Chuveros</i> (Cogo et al., 2003).	55
Tabela 15: Densidade e umidade gravimétrica dos sedimentos na voçoroca sem intervenção, em função da textura expedita.	59
Tabela 16: Densidade e umidade gravimétrica dos sedimentos coletados nas voçorocas em recuperação e recuperada.	59
Tabela 17: Granulometria dos sedimentos nas áreas delimitadas (sedimento “grosso”) e não delimitadas (sedimento “fino”) nas três primeiras avaliações e sem compartimentalização (avaliação 4) no coletor da voçoroca sem intervenção.	60
Tabela 18: Classe textural dos sedimentos em cada avaliação na voçoroca sem intervenção.	60
Tabela 19: Granulometria dos sedimentos coletados nas voçorocas em recuperação e recuperada (média de três repetições \pm erro padrão).	61
Tabela 20: Teor de nutrientes pseudo-totais e totais, e densidade do solo na área delimitada (“sedimento grosso”) e não delimitada (“sedimento fino”) no coletor da voçoroca sem intervenção nas três primeiras avaliações (médias de 3 repetições).	62
Tabela 21: Teores de nutrientes pseudo-totais e totais e densidade do solo na área delimitada (sedimento grosso) e não delimitada (sedimento fino) do coletor, em cada avaliação realizada na voçoroca sem intervenção.	63
Tabela 22: Teores dos nutrientes pseudo-totais e totais ao longo da camada de sedimentos coletada na voçoroca sem intervenção.	63
Tabela 23: Teores pseudo-totais e totais de nutrientes no entorno das voçorocas (terço médio), parte interna e sedimentos das voçorocas recuperada e sem intervenção (médias de três repetições).	64

Tabela 24: Estoque de nutrientes pseudo-totais e totais no entorno (terço médio) e parte interna das voçorocas recuperada e sem intervenção (médias de 3 repetições).	65
Tabela 25: Teores e estoques de K pseudo-total e trocável e P pseudo-total e disponível no entorno e parte interna da voçoroca recuperada.	66
Tabela 26: Perda total de nutrientes pseudo-total e total nas três voçorocas em estudo no verão de 2005/2006.....	67
Tabela 27: Custos dos nutrientes perdidos nas voçorocas.	69

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 Fatores Relacionados com a Erosão Hídrica.....	4
2.1.1 Erosividade da chuva	5
2.1.2 Erodibilidade do solo	5
2.1.3 Relevo e Cobertura Vegetal.....	6
2.2 Processos e Formas Erosivas	7
2.3 Erosão em Voçorocas.....	8
2.4 Formas Erosivas no Médio Vale do rio Paraíba do Sul	9
2.5 Importância de Árvores da Família das Leguminosas para Recuperação de Áreas Degradadas e Controle da Erosão Hídrica	10
2.6 Práticas Físicas para Controle da Erosão em Voçorocas Utilizando Estruturas de Baixo Custo	11
2.7 Quantificação das Perdas de Solo pela Erosão.....	12
2.8 Perda de Solo e Nutrientes na Erosão Hídrica	13
3 - CAPÍTULO I - ATRIBUTOS DO SOLO E DE RELEVO EM ÁREAS COM VOÇOROCAS NO MUNICÍPIO DE PINHEIRAL, RJ	14
3.1 RESUMO.....	15
3.2 ABSTRACT	16
3.3 INTRODUÇÃO	17
3.4 MATERIAL E MÉTODOS	18
3.4.1 Características da Região e Áreas do Estudo.....	18
3.4.2 Implantação de Estruturas Físicas para o Controle da Erosão na Voçoroca em Recuperação.....	22
3.4.3 Levantamento Planialtimétrico	24
3.4.4 Classificação do Solo das Áreas de Voçorocas	24
3.4.5 Amostragem de Solo e Determinações Físicas e Químicas.....	25
3.4.6 Análises Estatísticas.....	27
3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
3.5.1 Características do Relevo e das Voçorocas	28
3.5.2 Classificação dos Solos das Áreas de Voçorocas	30
3.5.3 Atributos Físicos do Solo.....	31
3.5.4 Atributos Químicos do Solo	38
3.6 CONCLUSÕES.....	44
4 - CAPÍTULO II - PERDA DE SOLO E NUTRIENTES EM VOÇOROCAS COM DIFERENTES NÍVEIS DE CONTROLE E EM RECUPERAÇÃO	45
4.1 RESUMO.....	46
4.2 ABSTRACT	47
4.3 INTRODUÇÃO	48
4.4 MATERIAL E MÉTODOS	49
4.4.1 Coletores de Sedimentos.....	49
4.4.2 Precipitação Pluviométrica	50
4.4.3 Quantificação dos Sedimentos.....	51
4.4.4 Densidade dos Sedimentos	51

4.4.5 Granulometria e Nutrientes Pseudo-Totais e Totais dos Sedimentos.....	51
4.4.6 Valor Econômico dos Nutrientes Perdidos nos Sedimentos das Voçorocas	52
4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
4.5.1 Precipitação Pluviométrica	53
4.5.2 Avaliação da Perda de Solo	56
4.5.3 Atributos Físicos dos Sedimentos Coletados nas Voçorocas	58
4.5.4 Atributos Químicos dos Sedimentos.....	62
4.5.5 Custo da Perda de Nutrientes na Erosão em Voçorocas	68
4.6 CONCLUSÕES.....	70
5. CONCLUSÕES GERAIS	71
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72
7 ANEXOS	81

1 INTRODUÇÃO GERAL

Em consequência da exploração não sustentável dos recursos naturais, o homem vem causando a degradação acelerada do meio ambiente, através do desmatamento, degradação do solo, poluição dos recursos hídricos, emissão de gases de efeito estufa, etc. O desmatamento e a agricultura são apontados como as principais causas de degradação do solo, traduzidos na degradação química e erosão.

A erosão hídrica é um fenômeno constituído dos processos de desprendimento, arraste e deposição de partículas de solo, que é controlado por um conjunto de fatores naturais do solo (propriedades físicas, químicas e mineralógicas), clima (características da precipitação pluviométrica) e relevo; e fatores antrópicos, relacionados à modificação da cobertura do solo e alteração da infiltração da água das chuvas.

Existem diferentes formas de erosão hídrica de acordo com o seu grau de carreamento de partículas e incisão no solo. Quando a perda de solo pela erosão se dá em camadas relativamente finas em toda uma área, é chamada de erosão laminar ou superficial. À medida que a água se concentra nas depressões do relevo do terreno e possui energia para formar canais, desenvolvem-se os sulcos. A evolução dos sulcos, associado a condições naturais favoráveis, pode gerar deslocamento de grandes massas de solo formando incisões de grandes dimensões no terreno, o que caracteriza o estágio mais avançado e espetacular da erosão hídrica que são as voçorocas. Em alguns casos a formação de voçorocas pode ser devido a outros processos erosivos, como o escoamento subsuperficial, ficando mais relevante quando a voçoroca atinge o lençol freático ou há um levantamento do mesmo.

Dentre as formas erosivas, as voçorocas são as que causam consequências mais graves à população em termos de assoreamento e contaminação de corpos d' água, afetando o abastecimento de água, produção de energia elétrica, perda de área utilizável, perda de nutrientes, morte de animais devido a acidentes, etc.

Em meio aos locais com maiores problemas com erosão na região sudeste, está a Bacia do rio Paraíba do Sul, principalmente a porção denominada Médio Vale do rio Paraíba do Sul. O histórico de ocupação iniciado no Ciclo do Café, século XIX, seguido de pastagem para pecuária extensiva, realizada sem o manejo correto e com uso de fogo, associados ao relevo forte ondulado da região, conhecido como “mar de morros”, provocou elevada degradação do solo que atualmente encontra-se em estágio avançado com grande incidência de sulcos e voçorocas.

Essas formas erosivas nessa região estão sendo consideradas como uma das principais causas do assoreamento acelerado do Rio Paraíba do Sul, principal fornecedor de água para mais de 9 milhões de pessoas na região metropolitana e cidade do Rio de Janeiro (CEIVAP, 2002). Na literatura, as tecnologias de controle preconizadas para esse tipo de erosão, baseiam-se no controle da erosão na área de captação, controle dos sedimentos na voçoroca, e revegetação das áreas com espécies que conseguem-se desenvolver adequadamente nesses locais.

Nesse sentido, foi realizado em 2000, um trabalho de estabilização e recuperação de uma voçoroca no município de Pinheiral, RJ pelas unidades da Embrapa Agrobiologia e Solos, juntamente com o Colégio Agrícola Nilo Peçanha (CANP), pertencente à Universidade Federal Fluminense (UFF), onde foi possível implantar tecnologias de controle da erosão hídrica, de baixo custo e plantio de espécies arbóreas noduladas e micorrizadas.

Nessa voçoroca, poucos anos após a intervenção já se observava uma perda de solo praticamente nula. A partir daí, surgiu a necessidade de um estudo que avaliasse a

metodologia utilizada, visando quantificar sua eficiência na redução das perdas de solo e nutrientes, e assim validá-la.

Antes disso porém, era importante e necessário conhecer as características físicas e químicas do solo e relevo da região em estudo, buscando entender os fatores que condicionam a formação dessas feições erosivas.

Nesse sentido, foi proposta a hipótese de que aliando medidas físicas e biológicas de baixo custo é possível reduzir a perda de solo e nutrientes, e recuperar áreas com erosão em voçorocas. Para tanto, o estudo teve como objetivos, a caracterização do relevo, solo e clima das áreas de estudo, relacionando com a erosão em voçorocas na região de Pinheiral, RJ, identificação da similaridade entre as áreas, e geração de um marco inicial para estudos futuros; quantificar a perda de solo e nutrientes em voçorocas e avaliar a eficiência da metodologia de recuperação utilizada na redução dessas perdas.

Para atender esses objetivos, o trabalho foi dividido em dois capítulos: atributos do solo e de relevo em áreas com erosão em voçorocas no município de Pinheiral, RJ e perda de solo e nutrientes em voçorocas com diferentes níveis de controle e em recuperação.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A degradação do meio ambiente tem aumentado a cada ano em decorrência do uso dos recursos naturais de forma não sustentada em virtude da expansão de atividades econômicas aliadas ao crescimento populacional. Segundo Lal (2001a), a população mundial tem crescido nos últimos anos a uma taxa média de 1,3 % ao ano (73 milhões de pessoas) de maneira que, em 2050, seremos 9,4 bilhões de pessoas no planeta. Destes, 244 milhões estarão no Brasil (Lal, 2001a) o que representa um aumento de mais de 29 % em relação ao nível atual que é de 189 milhões (IBGE, 2007).

A disponibilidade de recursos naturais essenciais à sobrevivência do homem e os efeitos negativos da degradação, são alguns aspectos que trazem incerteza para o futuro das próximas gerações, caso a tendência atual de degradação dos ecossistemas continue na mesma taxa. Isso não é mais uma preocupação nova e exige da sociedade uma mudança de hábitos e iniciativas que venham a reduzir os impactos ambientais e reverter o máximo possível as causas e efeitos negativos do progresso da era moderna sobre a natureza.

Nas últimas décadas, os relatórios sobre impactos ambientais apontam a degradação do solo, a poluição dos recursos hídricos, a emissão de gases de efeito estufa, etc, como os principais problemas da degradação do ambiente. No caso do Brasil, o histórico de degradação de áreas se originou com a extração de madeira no século XVI e prosseguiu-se com os ciclos econômicos da cana, café, leite, aliados à ocupação do país de forma desordenada (Macêdo et al., 1997).

Dados estatísticos da FAO-TERRASTAT (2003), indicam que 28 % do território brasileiro encontram-se nos níveis de severa ou muito severa degradação, correspondendo a 2,37 milhões de km². O desmatamento e a agricultura são apontados como as principais causas de degradação, traduzidas na degradação química e na erosão hídrica do solo. Somente as atividades agrícolas respondem por uma área de 902.000 km² (equivalente a 11 % da área total do Brasil), nos níveis severo a muito severo (FAO-TERRASTAT, 2003).

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

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

De acordo com Bertoni & Lombardi Neto (1993), a erosão hídrica constitui-se como a principal causa de empobrecimento acelerado das terras e afeta a população de várias maneiras, especialmente na redução dos reservatórios de água, mas destaca-se o impacto desta para os agricultores com a perda da fertilidade do solo. Segundo Guerra & Cunha (2003), envolve também vários problemas ambientais como poluição de rios, baías e lagoas e, inundações e desmoronamentos em áreas urbanas e rurais.

O assoreamento de reservatórios é um problema ambiental grave no Brasil, tendo em vista que grande parte da energia elétrica consumida no país é proveniente de usinas hidrelétricas. Segundo Shen & Lai (1996), o controle da erosão da bacia e retenção de

sedimentos, representaria uma redução importante na quantidade de sedimentos que entra nos reservatórios. Derpsch et al. (1986) afirmaram que, em 1982, cerca de 12,5 milhões de toneladas de sedimentos foram depositados no reservatório de Itaipu. A análise do teor de sedimentos, assim como de fósforo e nitrogênio na água no reservatório de Itaipu, caracterizou que as concentrações mais altas são encontradas durante o período de preparo do solo e plantio, que normalmente, é o período de maior precipitação.

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

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

2.1 Fatores Relacionados com a Erosão Hídrica

Silva et al. (1999a), citam em seu trabalho, autores que atribuem de forma abrangente os fatores responsáveis pela erosão como sendo, o clima (características das chuvas), classe e características do solo (físicas e químicas), relevo (declividade, comprimento de rampa e forma da encosta), umidade antecedente, interceptação pela cobertura do solo, tipo de cultivo (sistema de preparo) e uso de práticas conservacionistas. A maioria desses fatores naturais e antrópicos constituem parâmetros de modelos de predição da perda de solo como a “Universal Soil Loss Equation” (USLE) (Wischmeier & Smith, 1965), um dos modelos empíricos mais utilizados no mundo para predição das perdas de solo em erosão laminar.

Todos esses fatores são mais relacionados a erosão laminar, e embora seja uma etapa antes da formação de voçorocas, existem outros mais complexos, que regem a formação das voçorocas. Chaves (1994), cita trabalhos que indicam haver três processos erosivos distintos em voçorocas, tais como: a incisão do canal pela energia cisalhante do escoamento superficial, erosão hídrica na cabeceira por quedas d'água localizadas, e desmoronamento de taludes laterais da voçoroca e posterior remoção pelo escoamento.

Diversos estudos vêm sendo realizados no sentido de modelar a erosão em voçorocas. Rocha (2003), afirma que a grande dificuldade se deve à heterogeneidade dos fenômenos responsáveis pela sua formação. Esse autor estudou como fator relacionado à erosão em voçorocas, a resistência ao cisalhamento de taludes para avaliar a suscetibilidade de horizontes e tipos de solo ao cisalhamento e voçorocamento.

Além da importância de se conhecer os fatores relacionados com a erosão em voçorocas, o mais importante é prevenir contra esse estágio avançado da erosão, que uma vez atingido, corrigir é quase sempre mais difícil, restando como alternativa preferencial, a estabilização.

2.1.1 Erosividade da chuva

Segundo Wischmeier & Smith (1958), a erosividade das chuvas ou a capacidade da chuva em causar erosão do solo, é controlada pelas características de duração, intensidade, distribuição e tamanho de gotas, que influenciam na energia cinética das gotas da chuva, sendo representada pela letra R ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) na equação universal de perda de solo (USLE).

Segundo esse mesmo autor, o produto da energia cinética total da chuva pela intensidade máxima em 30 minutos, o EI_{30} , é a melhor expressão da capacidade da chuva em causar erosão. Com a soma dos índices de erosividade de todas as chuvas do ano, se tem a erosividade anual (Roque, 2002). Para determinação do fator R da USLE, é feito o somatório dos índices de erosividade (mensais e anuais), sendo recomendado 20 anos ou mais de dados de erosividade (Wischmeier, 1959).

Estudo realizado por Montebeller (2005), para mapear a erosividade no Rio de Janeiro, encontrou para a região Centro-Sul, valores de erosividade na faixa entre 4.000 e 6.000 $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. É sabido que esse é um dos fatores mais ativos da erosão hídrica e o conhecimento da sua intensidade e distribuição ao longo do ano é importante como ferramenta no planejamento de medidas preventivas.

2.1.2 Erodibilidade do solo

A erodibilidade do solo ou susceptibilidade ou resistência do solo à erosão (Silva et al., 1999b), é função de suas propriedades. Na USLE, se refere à letra K e expressa em $\text{Mg ha}^{-1} / \text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$. Segundo Wischmeier & Smith (1958), as propriedades do solo que influenciam na sua erodibilidade são: velocidade de infiltração, permeabilidade, capacidade total de armazenamento, resistência às forças de dispersão, salpico e transporte pela enxurrada. Segundo Guerra (2003), a erodibilidade está relacionada com a textura, densidade do solo, porosidade, teor de matéria orgânica, teor e estabilidade de agregados.

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

Os teores de silte e areia muito fina são indicadores de erodibilidade do solo e utilizado como parâmetro em modelo empírico para determinação do fator K da USLE/EUPS, denominado de nomograma de Wischmeier (Leprun, 1981).

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

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

Apesar da erodibilidade ser mais relacionada aos horizontes superficiais, provavelmente por ser a erosão laminar a mais estudada por meio da USLE, existe também o

estudo da erodibilidade de camadas mais profundas, como é o caso do horizonte C ou saprolito.

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

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

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

2.1.3 Relevo e Cobertura Vegetal

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

Em relação à forma das encostas, ou pedoformas, Resende (1985) afirma que a erodibilidade aumenta das formas côncavas para as convexas, passando pela linear. Esse autor relaciona que nas formas côncavas a remoção de sedimentos é menor, principalmente na base das encostas, onde há convergência de água e pode até acumular nutrientes e sementes, sendo mais comum em regiões tipicamente mais secas. Na forma convexa a enxurrada apresenta maior divergência, retirando o material do sistema. Nas pedoformas côncavas é onde se tem tendência à formação de sulcos e voçorocas devido a erosão ser mais concentrada.

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

2.2 Processos e Formas Erosivas

O processo erosivo consiste de três eventos seqüenciais, caracterizados por: desprendimento, arraste e deposição das partículas (Lal, 2001b; Carvalho et al., 2002). O desprendimento consiste da liberação de partículas dos agregados que poderão permanecer no local ou ser transportadas (Amorim, 1999). Segundo Bahia (1992), o desprendimento ou destruição dos agregados ocorre devido ao efeito integrado da energia cinética da gota de água, e da força cisalhante do escoamento superficial, constituindo o estágio inicial da erosão hídrica.

Quanto à classificação das erosões, Sales et al. (2006), afirmam que a classificação mais comum é dividir em quatro grandes grupos como sendo, erosão hídrica, erosão eólica, erosão glacial e erosão organogênica (erosão marinha). A erosão hídrica, é a mais importante no Brasil em termos de área de ocorrência, sendo classificada em três tipos principais: erosão superficial, interna e linear (sulco e voçoroca), de acordo com seu grau de evolução.

Quanto à forma, Bertoni & Lombardi Neto (1993) classificam a erosão hídrica em formas clássicas, tais como, erosão pelo impacto da gota, erosão laminar, sulcos e voçorocas, e, em formas mais especializadas, deslocamento de massas, erosão em pedestal, erosão em pináculo e erosão em túnel.

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

Em relação aos locais mais afetados pela erosão no Brasil as áreas localizadas no Noroeste do Paraná, Planalto Central, Oeste Paulista, Campanha Gaúcha, Triângulo Mineiro e Médio Vale do Paraíba do Sul (Botelho & Guerra, 2003), Sul de Minas Gerais e a mesorregião Campo das Vertentes, MG (Dr Marx L. N. Silva, comunicação pessoal), são as mais críticas quanto à incidência de processos erosivos, e correspondem, também, as áreas que têm sido mais estudadas devido a grande relevância em termos de perda de solo e redução da produtividade agrícola. A região da Campanha Gaúcha está sendo afetada também pela erosão eólica, que é um tipo de erosão menos relevante no Brasil, quando comparada à hídrica, em termos de área. Contudo, esse tipo de erosão é a principal causa do processo denominado de arenização, que é intenso em alguns municípios daquela região em função do elevado teor de areia de seus solos, sobretudo areia fina, a qual é facilmente transportada pelo vento (Klamt, 1994).

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

2.3 Erosão em Voçorocas

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

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

As voçorocas podem ser formadas por processos erosivos superficial e subsuperficial (DAEE, 1989). Segundo Santos (2002), no processo superficial, o início da formação se dá com a erosão laminar seguido do escoamento concentrado que passa a formar sulcos, evoluindo para voçorocas, à medida em que a erosão vai se aprofundando no terreno.

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

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

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

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

Estas e várias outras características de voçorocas são utilizadas no cadastro de erosões no campo, através de fichas adaptadas para esse fim como DAEE (1989), sendo útil para a compreensão da dinâmica erosiva e as relações com aspectos/atributos geológicos, geomorfológicos e pedológicos (Ribeiro & Salomão, 2003). De acordo com esses autores a abordagem morfopedológica realizada na Bacia do Alto Rio da Casca-MT, permitiu interpretar o funcionamento hídrico de vertentes representativas e determinar a suscetibilidade à erosão laminar e linear (sulcos e voçorocas), visando subsidiar o planejamento com ênfase nas potencialidades e limitações ao uso do solo.

2.4 Formas Erosivas no Médio Vale do rio Paraíba do Sul

O Médio Vale do rio Paraíba do Sul está compreendido entre os municípios de Cruzeiro e Queluz no trecho paulista, estendendo-se até a região de Vassouras no trecho fluminense. Essa bacia está inserida na área de abrangência do bioma Mata Atlântica, reduzido hoje a 7 % de sua extensão original no território brasileiro, e a 11 % no Vale do Paraíba do Sul, com os remanescentes mais expressivos restritos às áreas de mais difícil acesso, nas serras do Mar e da Mantiqueira, parcialmente protegidos em Unidades de Conservação de importância nacional, como os Parques Nacionais do Itatiaia, da Bocaina e da Serra dos Órgãos, e internacional, como a Reserva da Biosfera (CEIVAP, 2002).

A suscetibilidade aos processos erosivos da região, está relacionada sobretudo com o material de origem. De acordo com Resende (1995) e Parzanese (1991), citados por Moraes et al. (2004), nos solos formados do embasamento cristalino como o gnaíse, os horizontes superficiais, sobretudo o B, apresentam certa resistência à erosão, no entanto, os saprolitos (camada ou horizonte C, com características da rocha matriz), podem apresentar alta erodibilidade, e conseqüentemente, formar voçorocas quando essa camada é exposta à erosão.

De acordo com Dias (1999), o município de Volta Redonda, e de modo geral o Médio Vale do Paraíba em meados do século XIX, foi considerado “Área de Excelência Nacional”, com a sua alta produtividade de café. O processo de ocupação e uso da terra se iniciava com o desmatamento da Mata Atlântica de maneira descontrolada; introdução de café e, após o declínio dessa monocultura, a área passava para um outro tipo de uso, que era a implantação de pastagens, para criação de gado no sistema extensivo. Esse autor relata ainda, que a super lotação, pisoteio do gado e o uso do fogo causando o raleamento da cobertura do solo, proporcionou a intensificação dos processos erosivos, tendo como resultado, numerosas voçorocas na paisagem atual.

Conforme o Plano de Recursos Hídricos da Bacia do rio Paraíba do Sul, realizado pelo Comitê para Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (CEIVAP, 2002), 20 % da área da bacia do Paraíba do Sul encontram-se em terras de alta e muito alta vulnerabilidade à erosão, o que corresponde à cerca de mais de um milhão de hectares. A região do Médio Vale do rio Paraíba, é considerada a mais crítica nesse aspecto, que resulta em grande produção de sedimentos que pode ser verificada pela turbidez da água do rio Paraíba do Sul. Nesse trecho, 50 % de toda a área está no nível de alta e muito alta vulnerabilidade à erosão, onde se destaca o município de Pinheiral, com cerca de 88 % da área total nessa categoria, apresentando elevado número de voçorocas.

Essas formas erosivas vêm causando acelerado assoreamento do rio Paraíba do Sul, que possui elevada importância no abastecimento de água para o município e região metropolitana do Rio de Janeiro, atendendo a uma população de mais de 9 milhões de pessoas (CEIVAP, 2002). Dados do sistema de monitoramento da sedimentação das estações medidoras de Volta Redonda e Pirai, registraram uma produção de $5,89 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ nesse trecho, a segunda maior da bacia. Parte da produção, de $680.800 \text{ Mg ano}^{-1}$, está sendo transferida para o sistema Light-Cedae (CEIVAP, 2002).

De acordo com esse quadro de degradação, ações preventivas e corretivas visando a interrupção do crescimento de voçorocas na região apresenta elevado potencial de mitigação do assoreamento do rio Paraíba do Sul e reservatórios, e contribui para adequação ambiental da região através da recuperação da vegetação e proteção de áreas de preservação permanente, funcionando ainda como matriz florestal para refúgio da vida silvestre e fonte de propágulos para disseminação nas áreas do entorno.

2.5 Importância de Árvores da Família das Leguminosas para Recuperação de Áreas Degradadas e Controle da Erosão Hídrica

Nos últimos anos, diferentes tecnologias vêm sendo desenvolvidas com o objetivo de recuperar áreas degradadas em seus diferentes tipos e estágios de degradação.

Um dos métodos que tem apresentado bastante sucesso na recuperação, é o biológico, através da revegetação das áreas com espécies leguminosas fixadoras de nitrogênio (Franco et al., 1992), associadas com microrganismos e aliado a adubação com fontes de fósforo e micronutrientes de baixa solubilidade (Franco & Dobereiner, 1994).

Nitrogênio e fósforo estão entre os nutrientes mais requeridos pelos vegetais, e aliado a isso, a disponibilidade deles em solos degradados devido à perda de matéria orgânica, é muito baixa, o que limita o crescimento vegetal, e conseqüentemente, a cobertura da área (Franco et al., 1992; Resende et al., 2006).

Em revegetação de voçorocas, os problemas são semelhantes a outros tipos de áreas degradadas, com a perda da camada de solo superficial e a maioria dos nutrientes disponíveis às plantas, no entanto, dentro das voçorocas a perda de solo pode ser mais grave devido a exposição do subsolo ou a própria rocha mãe (Machado et al., 2006).

A utilização de árvores da família Leguminosae para recuperar áreas degradadas apresenta várias vantagens. Essa família apresenta um grande número de espécies que ocorrem em várias regiões do Brasil e apresenta relativa facilidade na obtenção de sementes (Resende et al., 2006).

A principal preferência pelo uso das espécies leguminosas se deve à característica especial que elas possuem em relação às outras, que é a capacidade de se associarem com microrganismos do solo, como bactérias fixadoras de nitrogênio, denominadas de rizóbio, que são capazes de transformar o nitrogênio do ar, em compostos nitrogenados assimiláveis pelos vegetais, podendo tornar a planta parcial ou totalmente independente do aporte externo desse nutriente (Franco et al., 1992).

Outra associação muito importante também é a que ocorre com fungos micorrízicos arbusculares (FMAs). Esses microrganismos, através de suas hifas, aumentam a área de contato e o volume de solo explorado pelas raízes das plantas, aumentando assim, a absorção de água e nutrientes com destaque para o elemento fósforo, por sua baixa disponibilidade nos solos tropicais (Siqueira e Franco, 1988).

Segundo Resende et al. (2006) a inoculação conjunta de rizóbio e FMAs complementa a nutrição das plantas, resultando em uma maior taxa de pegamento e desenvolvimento das mudas nesses locais, e gerando uma redução nos custos com replantio, adubação e tratamentos culturais das plantas, tornando assim, uma alternativa bastante viável, técnica e economicamente, para acelerar o processo em que a natureza demoraria anos para realizar.

Com as leguminosas de crescimento rápido implantadas, ocorre a adição de matéria orgânica na área, através da deposição de folhas e galhos senescentes, favorecendo a melhoria das condições físicas, químicas e biológicas do substrato, e possibilitando que espécies de árvores mais exigentes em sombra, fertilidade do solo, umidade, etc., de outros locais, colonizem o local, caso exista fontes de propágulos e agentes dispersores (Campello, 1998), e com isso, acabam favorecendo o retorno da fauna e flora local e a melhoria da paisagem.

Quanto à função da vegetação no controle da erosão, Figueiredo & Bahia (1998), afirmam que a cobertura vegetal proporciona amortecimento do impacto das águas de chuvas sobre o solo, constituem-se em barreira física ao transporte de material, proporciona uma estrutura mais sólida ao solo devido ao sistema radicular, eleva a porosidade, e com isso, a capacidade de absorção de água.

Em relação aos efeitos das raízes na estabilização do solo, Gray (1989) relata que o reforço radicular promove transferência das forças de cisalhamento do solo para tensão das

raízes, ancoramento da massa de solo em estratos firmes abaixo (fraturas de rochas) aumentando a resistência das encostas ao deslizamento.

Entre outros benefícios que podem ser destacados estão, a redução da manutenção dos terraços, recomposição da matéria orgânica do solo, condicionamento do meio para a vida silvestre, como pássaros, roedores, etc., além de melhorar o aspecto estético da paisagem e fornecer meios para exploração econômica, como produção de mel, lenha, madeira, palmito, etc., (Franco 1992).

2.6 Práticas Físicas para Controle da Erosão em Voçorocas Utilizando Estruturas de Baixo Custo

O termo práticas físicas, ou práticas mecânicas, conforme chamada por alguns autores como Pruski et al. (2006) e Pires & Souza (2006), são práticas que utilizam estruturas artificiais para redução do escoamento da água, interceptando-a e fazendo com que não atinjam energia suficiente para ocasionar perda de solo acima dos limites toleráveis (Pruski et al., 2006). Esses autores ressaltam que o uso dessas práticas é importante pois nem sempre somente as práticas edáficas e vegetativas são suficientes por si próprias para o controle da erosão, principalmente onde ocorrem chuvas de grande intensidade.

Dentre as práticas físicas ou mecânicas existentes para o controle da erosão destacam-se, os terraços, canais escoadouros ou divergentes, bacias de captação de águas fluviais e barragens para contenção de águas do escoamento superficial (Pruski et al., 2006). Pires & Souza (2006) relacionam ainda, além dos terraços, a distribuição racional de caminhos, preparo do solo e plantio em contorno, sulcos e camalhões em pastagem, *mulching* vertical e bacias de captação e retenção de águas pluviais em estradas.

Especificamente em recuperação de voçorocas, Bertoni & Lombardi Neto (1993), recomendam a interceptação da enxurrada da área acima da voçoroca, com terraços, retenção da enxurrada na área de drenagem com práticas de cultivo, vegetação e estruturas específicas, revegetação da área, construção de estruturas para reter a velocidade das águas ou até mesmo armazená-las; exclusão do gado; controle da sedimentação das grotas e voçorocas ativas.

Macedo et al. (1998) realizaram trabalho de recuperação de voçorocas através do controle da erosão na área de captação utilizando práticas físicas como, terraços, bacias de contenção e represas construídas com trator de esteiras, e paliçadas de bambu e eucalipto, seguido da revegetação da área com leguminosas, e os resultados preliminares, já indicavam contribuição da intervenção na estabilização da voçoroca.

Em relação aos terraços como prática de conservação do solo, podem ser classificados quanto à sua função em: nível, desnível (Pires & Souza, 2006) e misto (Pruski et al., 2006). Os terraços em nível possuem as extremidades bloqueadas e têm a função de acumular e infiltrar a água, e são recomendados para áreas com boa permeabilidade e declividade de até 12 %. Os terraços em desnível apresentam pequeno gradiente ao longo de seu comprimento e conduzem a água para as laterais, sendo mais adequados, para áreas com menor permeabilidade e/ou declividades superiores a 12 % (Pires & Souza, 2006).

Os terraços mistos englobam os dois tipos anteriores, ou seja, são projetados em pequeno desnível e com capacidade de acumulação de água que ao ser excedida, escoam pelas laterais (Pruski et al., 2006). Este último tipo de terraço procura somar as vantagens dos outros dois, mas agrega também as desvantagens de ambos (Machado et al., 2006).

Segundo esses autores, para encostas ou morros onde o volume e a velocidade da enxurrada são grandes, dependendo do comprimento de rampa e da declividade, o terraço em desnível é mais recomendado para se evitar que estes se rompam, podendo ser construídos com menor largura.

Os terraços classificam-se ainda, quanto a sua largura, em base estreita (menos de 3 m), base média (3 a 6 m) e base larga (6 a 12 m), e, quanto ao seu perfil, em terraço do tipo comum, embutido, murundu, e patamar (plataforma) (Pruski et al., 2006). Essa última classificação é menos conhecida sendo mais usual a classificação quanto ao tipo de construção: terraço de base larga (Mangum), base estreita (Nichol's), patamar e banquetas individuais (Pires & Souza, 2006).

Em áreas com declividade acima de 18 %, o terraço recomendado na literatura é o do tipo patamar. No entanto, o custo de construção desse tipo de terraço é muito alto pois torna necessário o uso de máquinas pesadas onde o custo da hora trabalhada é elevado, não sendo acessível e viável a um pequeno proprietário de terra. Além disso, de acordo com Machado et al. (2006), este tipo de terraço não se aplica à maioria dos solos brasileiros devido a baixa fertilidade e baixa estabilidade do horizonte C, normalmente exposto quando da construção dessa estrutura.

Bertoni & Lombardi Neto (1993) citam trabalho em que o uso de terraço de base estreita em cultura perene como cafezal, controlaram a perda de solo em 64 % e perda de água em 66 %.

Segundo Machado et al. (2006), na construção de terraços em desnível para o controle da erosão em áreas de voçorocas, há a necessidade do uso de bacias de contenção nas extremidades para coletar e promover a infiltração da água no solo, uma vez que os terraços em desnível não têm a capacidade e nem a função de reter toda a água escoada, mas sim de transportá-la em segurança. No entanto, há situações em que a água da enxurrada pode escoar pelas laterais (sem bacias) sem haver danos, como é o caso de canais escoadouros vegetados (Bertoni & Lombardi Neto, 1993). Da mesma forma podem ser construídas estruturas para dissipação de energia da enxurrada, como estruturas de concreto, pré-moldados, etc., ficando à critério das possibilidades do agente recuperador utilizá-las (Machado et al., 2006).

Em relação às paliçadas que são barreiras transversais na linha de escoamento, a importância de sua utilização está na quebra da força do fluxo erosivo e retenção dos sedimentos, diminuindo assim, o assoreamento de fontes e corpos d' água assim como danos às residências situadas abaixo.

Este tipo de estrutura tem sido denominado na literatura como sistemas de barramentos (Farias et al., 2006) ou estrutura de estabilização (Guerra, 2003). Farias et al. (2006) têm preconizado esse tipo de estrutura utilizando materiais como geotêxteis (sintéticos ou de fibras), telas metálicas e madeira, como sendo eficiente para recuperação definitiva de voçoroca e de baixo custo em relação aos sistemas de barramentos convencionais.

Embora Farias et al. (2006) ressaltem que os custos dessa tecnologia de barramento de voçorocas com geotêxteis sejam baixos, com a utilização de materiais alternativos como bambu, pneus usados e sacos de rafia, pode se esperar um custo ainda menor (Machado et al., 2005).

2.7 Quantificação das Perdas de Solo pela Erosão

Segundo Bertoni & Lombardi Neto (1993), os diferentes métodos de determinação da perda de solo podem ser agrupados em diretos e indiretos. Os métodos diretos são utilizados para avaliar a erosão por impacto, erosão por arrastamento superficial (laminar) e perdas por percolação, que permitem avaliar o volume (através da coleta total, fração ou registro de passagem) e a qualidade das perdas (análises físicas e químicas). Os métodos indiretos baseiam-se em mudança de relevo (levantamentos de graus da erosão, topográfico e fotográfico) e alterações na constituição do solo (análise física e mecânica). Os métodos diretos são todos aqueles que utilizam a medição, coleta e análise do material erodido, com

uso de instalações coletoras (tanques) com volume suficiente, como por exemplo, a “parcela-padrão” da USLE (Wischmeier & Smith, 1978).

Dentre os métodos que o autor relaciona para a determinação da perda de solo, somente o método indireto, mudanças de relevo através de fotografias, é relacionado para erosão em voçorocas. Entretanto, sugere o uso de pinos para a avaliação do desenvolvimento de voçorocas, mas ressalta a pouca precisão do método.

Na literatura são praticamente inexistentes trabalhos sobre avaliação da perda de solo por método direto em voçorocas, provavelmente, pela dificuldade de se trabalhar com grande volume de sedimentos que faz requerer a construção de instalações coletoras com grandes dimensões associado à dificuldade de sua construção devido a morfologia da desembocadura de uma voçoroca, além do difícil acesso a elas.

Para a avaliação desse tipo de erosão, em termos qualitativos e quantitativos, bem como, no sentido de dar suporte a métodos indiretos em estudos visando a avaliação de práticas de manejo e de conservação do solo, são necessários métodos mais precisos, como os métodos diretos, apesar da dificuldade de utilizá-los.

2.8 Perda de Solo e Nutrientes na Erosão Hídrica

Em relação à análise quantitativa e qualitativa da erosão, ou seja, a perda de solo e nutrientes nos sedimentos carreados, os estudos existentes são praticamente todos realizados para erosão superficial, quando muito envolve a presença de sulcos.

Um dos exemplos mais citados é o de Marques (1949), citado por Bertoni & Lombardi Neto (1993), que estimou na década de 50, que o Brasil perdia cerca de 500 milhões de toneladas de terra anualmente por erosão laminar, o que corresponde a perda de uma camada de 15 cm em uma área de 280.000 ha.

Para essa perda de solo o autor fez uma estimativa considerando os teores médios dos nutrientes perdidos de 0,1 % de N, 0,15 % de fósforo (P_2O_5) e 1,5 % de potássio (K_2O), e concluiu que mais de 8 milhões de toneladas desses elementos eram perdidos anualmente com a erosão. Castro (1991), estimou que em todo território paulista são perdidos anualmente cerca de 650.000 Mg de corretivos de fertilizantes NPK.

Resultados de pesquisas mais recentes indicam haver perda de 15 a 20 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de solo em áreas intensivamente mecanizadas (Paraná, 1994). Parchen & Bragagnolo (1991), salientam sobre uma perda média de solo equivalente a 20 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, no Paraná, o que equivale a uma perda anual de nutrientes no valor de US\$ 250 milhões.

Schaefer et al. (2002) trabalhando com chuva simulada encontraram valores de até 13,2 Mg ha⁻¹ de perda de solo em um Argissolo Vermelho-Amarelo sem cobertura em uma chuva de intensidade de 60 mm h⁻¹, com seis aplicações sucessivas a cada 12 h. Nessa perda foram quantificados 1,743, 0,215, 0,204 e 0,045 kg ha⁻¹ de Ca, Mg, K e P, respectivamente.

Na erosão em voçorocas, além dos efeitos negativos ao ambiente, como o assoreamento, contaminação de corpos d' água, perda de áreas, etc, a perda de nutrientes mesmo os menos disponíveis situados nas camadas mais subsuperficiais, por representar a perda de recurso, é um fato a ser considerado.

Para avaliação da perda de nutrientes é necessário conhecer o estoque total, uma vez que o nutriente disponível para as plantas está em equilíbrio com as fontes mais estruturais, e se esse estoque total é reduzido, mesmo que à longo prazo, o nutriente disponível também o será, devido a alteração do equilíbrio. Nesse caso torna interessante utilizar métodos de análises químicas que detectem não só a fração disponível ou trocável, como também, o total dos nutrientes contidos nos sedimentos.

3 - CAPÍTULO I

ATRIBUTOS DO SOLO E DE RELEVO EM ÁREAS COM VOÇOROCAS NO MUNICÍPIO DE PINHEIRAL, RJ

3.1 RESUMO

O estudo teve como objetivos, a avaliação de atributos do solo e relevo de áreas com formas erosivas avançadas no município de Pinheiral-RJ, identificação da similaridade entre essas áreas, e a geração de um marco inicial para estudos futuros. As áreas estudadas foram: a) voçoroca recuperada há seis anos, com práticas físicas e revegetação no entorno e parte interna com leguminosas noduladas e micorrizadas; b) voçoroca em recuperação, com práticas físicas; c) voçoroca sem intervenção. Também fez parte do estudo uma área de floresta secundária de 20 anos de idade como testemunha. Para tanto foi realizado levantamento planialtimétrico das áreas, análises de propriedades físicas e químicas do solo e avaliação da precipitação pluviométrica. As áreas apresentam relevo forte ondulado e com forma côncava somente na encosta da voçoroca sem intervenção e convexa nas demais, todos com horizonte Cr profundo chegando a 9 m de espessura. A densidade do solo, estabilidade de agregados, velocidade de infiltração e fertilidade do solo indicaram haver similaridade entre as voçorocas. A fertilidade de todas as áreas foi muito baixa mesmo quando comparada com a floresta secundária. Contudo, as voçorocas com estruturas de retenção de sedimentos apresentaram melhor fertilidade na área interna que na área de entorno. Quanto à textura, a área da voçoroca em recuperação apresentou-se mais siltosa, enquanto que na voçoroca recuperada observou-se maior teor de areia. Isso evidencia que o grau de erosão diferenciado na área de entorno das voçorocas influencia na variabilidade espacial dos atributos do solo. Os estoques de C e N total foram muito baixos quando comparados com valores de literatura para solos semelhantes. A revegetação com plantas leguminosas micorrizadas apresentou alto potencial para aumentar esses estoques. Embora o aumento de 20 % de C total, na camada de 0 a 20 cm na voçoroca revegetada, possa estar sub-estimado em razão das áreas apresentarem granulometria distintas e possivelmente o estoque de C inicial do solo também ser distinto. As características de alta declividade, horizonte Cr espesso e instável, baixa quantidade de C total e alto teor de silte em profundidade parecem contribuir para o voçorocamento da região.

3.2 ABSTRACT

This study aimed to evaluate the soil attributes and the landscape of areas with advanced erosive aspects in Pinheiro municipality, Rio de Janeiro State, Brazil, to identify the similarity among the areas, and to establish a starting point for future studies. The studies areas were: a) stabilized gully with physical barriers, inside and outside the gully and planted with nodulated and mycorrhizal legume trees; b) gully stabilized with physical barriers only; and c) gully without intervention. Also, an area of a 20 years old secondary forest was included in the study as a control. A slope altimetric survey of the area was done, and analyses of physical and chemical soil properties, and measurement of rainfall. The area under study presented a strongly hilled landscape, concave in the gully without intervention and convex in both gullies with intervention, with similar soils with C horizons reaching up to 9 m. Soil density, aggregates stability, soil permeability and fertility did not differ significantly among gullies sites. The soil fertility around or inside the gullies was very low, even when compared with the secondary forest. However, gullies with sediment containing barriers presented better soil fertility in the intern area than in the surrounding area. In relation to soil granulometry, the area of the gully with the physical barriers only was silty while the stabilized gully had higher sand content. This was evidence that the different erosion degree in the area surrounding the gullies influenced in the spatial variability of soil attributes. The carbon and nitrogen stocks were very low in all sites, when compared with values found in the literature for similar soils. Revegetation with nodulated and mycorrhizal legume trees showed great potential to increase C and N stocks. Although the increase in total C in the layer of 0-20 cm was only 20%, this may be a sub estimated value, as the areas present distinct soil granulometry and, possibly, the initial C stock in the soil may also be different. Strong slope, thick and unstable Cr horizon, low total C and high silt content with depth, seemed to contribute for the intense formation of gullies in the region.

3.3 INTRODUÇÃO

Características do relevo, atributos do solo, características das chuvas e o tipo de manejo podem indicar a suscetibilidade do solo de determinada região à erosão hídrica, e conseqüentemente, a sua degradação. Na região do médio Vale do rio Paraíba do Sul, as formas erosivas avançadas como as voçorocas estão presentes em grande número, chamando a atenção de quem passa na região.

Conhecendo-se o ciclo histórico de degradação dos solos da região, que após o auge do ciclo econômico do café nos séculos XIX e posterior uso das áreas para bovinocultura em sistema extensivo, fazendo-se uso de até duas queimadas anuais, não é difícil afirmar que o quadro encontrado hoje é fruto da ação do homem.

No entanto, essa situação é também conseqüência da falta de práticas conservacionistas, aliado à uma situação de relevo acidentado, baixa cobertura vegetal e características de solos e clima favoráveis.

A voçoroca recuperada tem aproximadamente 50 anos, e para entender a sua formação e progressão faz-se necessário conhecer as características edafoclimáticas que ajudem na compreensão desse fenômeno e ainda permita gerar informações para embasar técnicas de recuperação.

O objetivo desse capítulo é fazer uma caracterização do relevo, solo e clima das áreas de estudo relacionando com erosão em voçorocas, identificação da similaridade entre elas e ainda a geração de um marco inicial para estudos futuros.

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

3.4.1 Características da Região e Áreas do Estudo

O município de Pinheiral encontra-se na área do Médio Vale do rio Paraíba do Sul, entre os municípios de Volta Redonda e Barra do Pirai no sul fluminense do estado do Rio de Janeiro (Figura 1). Segundo Oliveira (1998), esse município abrange uma área de 81 km² e está compreendido entre as latitudes 22°29'03" e 22°35'27" e, entre as longitudes 43°54'49" e 44°04'05", com uma altitude média de 420 m.

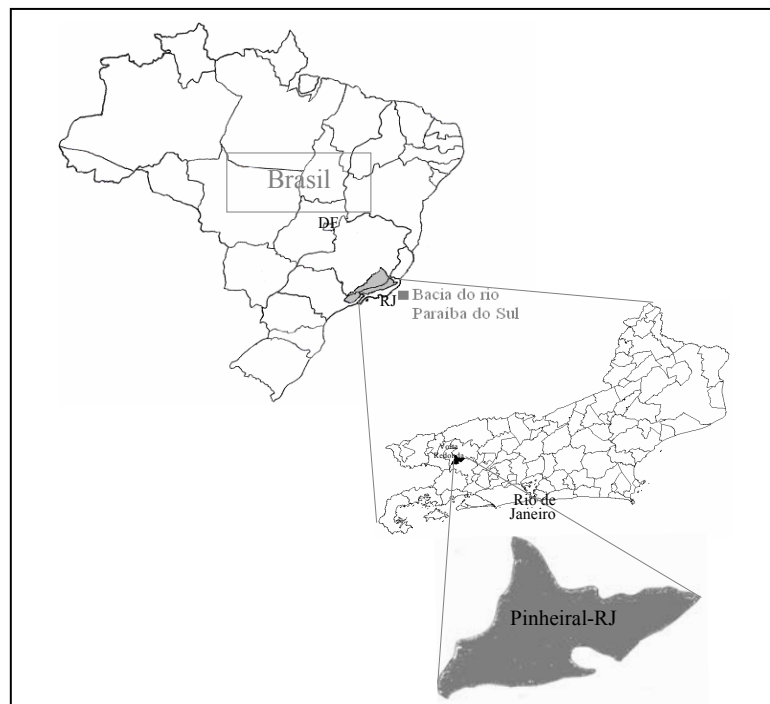


Figura 1: Localização do município de Pinheiral - RJ

a) Geologia, relevo e clima

A região pertence à feição tectônica do grupo Paraíba do Sul, com rochas de diferentes graus de metamorfismo (Menezes, 1999). Esse autor, cita estudo que abrangeu parte do município de Pinheiral o qual revelou que os materiais predominantes na região são: microclina gnaisse porfiroclástico, biotita muscovita gnaisse e biotita gnaisse. Em menor expressão ocorre sedimentos da Bacia de Volta Redonda e Quaternário e diques de rochas básicas.

O relevo regional é caracterizado por uma seqüência de morros de topos arredondados denominados de “Mar de Morros” com altitude variando de 360 a 720 m. Nas áreas de estudo, a declividade varia de 30 a 60 %, sendo o relevo classificado como forte ondulado e montanhoso, respectivamente.

O clima da região de estudo é classificado de acordo com a classificação de Köppen como temperado de inverno seco e verão chuvoso, tipo Cwa. A temperatura média máxima é de 30,9 °C em janeiro e de 16,8 °C em julho, ficando a média anual em torno de 22 °C, (Toledo et al., 2002) e a precipitação média varia entre 1300 a 1500 mm ano⁻¹, segundo Projeto Radam Brasil (1983).

b) Vegetação

Nas áreas do estudo, assim como todo Médio Vale do Paraíba do Sul, a Mata Atlântica é a vegetação original que antes cobria quase toda região. Durante o final do século XVIII e praticamente todo o século XIX, as florestas nativas foram praticamente todas eliminadas para plantação da cultura do café. Atualmente na Bacia do Paraíba do Sul, só restam 11 % da cobertura original desse domínio, sendo a maioria, confinada em Unidades de Conservação (CEIVAP, 2002).

De acordo com Menezes (1999), a cobertura vegetal de Pinheiral predominante é constituída de pastagens implantadas (principalmente *Brachiaria sp*) e nativas como capim gordura (*Melinis minutiflora*), capim jaraguá (*Hyparrhenia rufa*), sapê (*Imperata brasiliensis*), rabo de burro (*Andropogon bicornis*) grama batatais (*Paspalum notatum*), e outras gramíneas e leguminosas nativas. As pastagens encontram-se em diferentes estádios de degradação, nível de uso ou abandono, originando pastos colonizados com espécies vegetais invasoras.

Em relação a situação atual da cobertura vegetal em Pinheiral, estudo realizado em 2001, relatou que 18 % da cobertura corresponde a vegetação secundária, e 76 % da área, é ocupada por pastagem (TCE-RJ, 2004).

c) Solos

A região de estudo apresenta uma variedade grande de solos, característica comum em ambientes de “Mar de Morros”, devido as diferentes condições na formação dos solos que o relevo acidentado proporciona. Conseqüentemente, há a ocorrência de solos de diferentes idades e origens na paisagem, sendo os mais jovens aqueles situados nas partes mais baixas e os mais velhos nas partes mais altas (Ab’Saber, 1970). Segundo Ab’Saber (1970), predominam nas vertentes e interflúvios (colina entre dois vales) dos morros arredondados, os solos do tipo Podzólico Vermelho Amarelo (atual classe dos Argissolos) e os Latossolos. No terço médio da encosta podem ocorrer solos mais jovens como os Cambissolos e nas baixadas, os Neossolos Flúvicos, Gleissolos, e Planossolos (UFRRJ, dados não publicados). Segundo Resende & Resende (1996), os Argissolos ou solos intermediários para Latossolos e vice-versa, são comuns de serem encontrados nas áreas tipicamente latossólicas como ocorre no “Mar de Morros” e no terço inferior das encostas.

Estudos de mapeamento de solos realizados na região do estudo, constataram a predominância de Argissolo Vermelho Amarelo, Latossolo Amarelo e Gleissolos, esses últimos nas áreas de baixada. Outros tipos, não predominantes em termos de área, foram: associações Argissolos + Cambissolos, Cambissolos, Chernossolos, e Complexo Glei Húmico e pouco Húmico (Menezes, 1999).

Em relação aos Argissolos, devido ao intenso intemperismo do material de origem, associado ao relevo declivoso e drenagem moderada a acentuada, esses solos apresentam-se facilmente erodíveis e pobres em fertilidade (Menezes, 1999), e geralmente, com horizonte C muito profundo e friável, com grande susceptibilidade à formação de voçorocas quando os processos erosivos se evoluem (Santos, 2002).

d) Voçorocas em estudo

As três voçorocas que fazem parte do estudo estão localizadas próximo ao Colégio Agrícola Nilo Peçanha (CANP/UFF), sendo uma em propriedade desse Colégio e as outras duas em propriedade particular.

Para facilitar a compreensão, as áreas de voçorocas serão chamadas de voçoroca recuperada, voçoroca em recuperação e voçoroca sem intervenção, as quais encontram-se em diferentes estágios de intervenção: a) voçoroca recuperada com práticas físicas (terraços de ordenamento da água com bacias de contenção nas extremidades e paliçadas de bambu e pneus usados no leito) e biológicas (plantio de leguminosas arbóreas noduladas e micorrizadas); b) em recuperação, com práticas físicas, semelhante à com plantios de leguminosas; c) e a terceira, sem intervenção; d) área controle, com floresta secundária (Figura 2).

Na voçoroca recuperada a intervenção foi realizada no ano de 2000, com plantio das leguminosas *Acacia auriculiformes*, *A. angustissima*, *A. mangium*, *Albizia lebbek*, *Enterolobium contortisiliquum*, *Mimosa caesalpinifolia*, *M. bimucronata* e *Pseudosamanea guachapele*, todas inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares e bactérias fixadoras de nitrogênio, selecionadas na Embrapa Agrobiologia. As diferentes espécies foram dispostas ao acaso no espaçamento de 2 x 2 m. Nessa época, já existia na área um pequeno plantio de *Mimosa caesalpinifolia* (sabiá), e pode ser localizado no detalhe da Figura 2A.



Figura 2: Áreas em estudo: A) Voçoroca recuperada B) Voçoroca em recuperação C) Voçoroca sem intervenção D) Floresta secundária.

Atualmente, a voçoroca recuperada encontra-se com processo erosivo praticamente estabilizado. A recuperação dessa voçoroca significou para o Colégio Agrícola e a cidade de Pinheiral, não somente a melhoria do aspecto estético, como também, a contenção da área onde se encontra a antena de recepção de TV da cidade.

Na voçoroca em recuperação, os trabalhos foram iniciados em novembro de 2004, e apesar da revegetação nessa voçoroca ter sido implantada, não está sendo considerada como um nível de intervenção, tendo em vista que as espécies vegetais introduzidas estão ainda em fase inicial de crescimento. Esta voçoroca está situada acima de um conjunto de residências e representava problema para a comunidade onde a enxurrada e lama invadia as casas, a cada evento de chuva erosiva.

A terceira voçoroca representa o controle sem intervenções. Esta voçoroca foi escolhida por ser a mais próxima possível das demais e pela facilidade de acesso e possibilidade de construção de praça de sedimentação.

Ainda faz parte do estudo, uma área de floresta secundária com cerca de 20 anos que será utilizada como referência de atributos químicos e físicos do solo das áreas com voçorocas.

3.4.2 Implantação de Estruturas Físicas para o Controle da Erosão na Voçoroca em Recuperação

As atividades foram iniciadas com o isolamento da área com arame farpado e construção de aceiro para evitar o pastejo, e a entrada de fogo, que é um evento comum na região nos meses mais secos do ano (Figura 3).

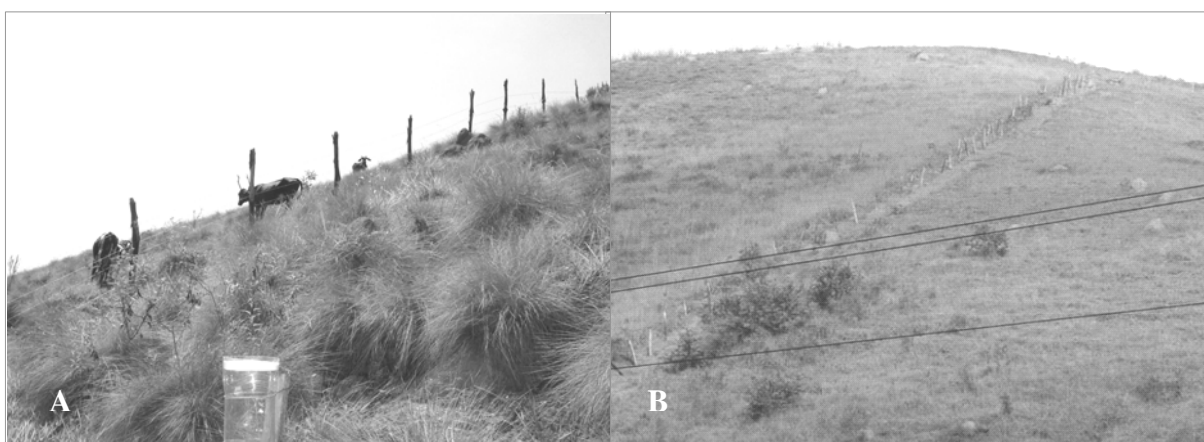


Figura 3: Isolamento do pastejo (A) e construção de aceiros (B).

Em seguida foram implantadas práticas físicas visando controlar a erosão na área de contribuição da encosta e retenção de sedimentos dentro da voçoroca. Para tanto foram construídos terraços de base estreita, tipo cordões em contorno, com bacias de contenção nas extremidades, e, paliçadas na parte interna e entorno das voçorocas utilizando bambu e pneus usados. Visando a revegetação da área, foram plantadas no entorno e dentro da voçoroca cerca de 4 mil mudas de leguminosas arbóreas inoculadas com fungos micorrízicos e bactérias fixadoras de nitrogênio. As espécies utilizadas foram as leguminosas: *Acacia auriculiformes*, *A. angustissima*, *A. mangium*, *Albizia lebbek*, *Enterolobium contortisiliquum*, *Gliricidia sepium*, *Mimosa caesalpiniiifolia*, *M. artemisiana*, *M. bimucronata*, *Pseudosamanea guachapele*, *Samanea saman* e a não leguminosa *Schinus terebentifolium*, só inoculada com fungos micorrízicos.

Os terraços visando o ordenamento da água das chuvas foram dimensionados utilizando como critérios de espaçamento, as características de declividade, de textura do solo e do tipo de terraço. Estes cálculos resultaram em um espaçamento de 14 m entre um terraço e outro, com a construção de um total de 5 terraços na área acima da voçoroca. A locação foi feita em desnível (0,5 %) utilizando para isso, um nível do tipo “pé-de-galinha”. Após essa atividade, foi feita a escavação manual dos terraços nas dimensões de 0,4 m de largura, 0,6 m de profundidade e 30 m de comprimento (Figura 4).



Figura 4: Vista de um terraço de base estreita do tipo “cordão em contorno”, com a terra colocada abaixo do terraço, formando um camalhão para aumentar sua eficiência.

As bacias de contenção construídas nas extremidades de cada terraço foram dimensionadas através do método racional $Q = C I A / 360$, onde: Q = vazão do escoamento superficial ($m^3 s^{-1}$); C = coeficiente de escoamento; I = intensidade da precipitação pluviométrica ($mm h^{-1}$); A = área de contribuição (ha). Para esse cálculo foi considerado $C = 0,5$; $I = 50 mm/h$, $A = 0,7 ha$, resultando em $0,0048 m^3 s^{-1}$ ou $175 m^3 h^{-1}$. Essa intensidade foi considerada para uma chuva de 0,5 h ou 30 mim, resultando então em volume de escoamento de $87 m^3$ ou 87.000 L de água a ser armazenado nas 10 bacias construídas (Figura 5).



Figura 5: Ilustração de bacia de contenção no final de terraço em desnível.

Em relação às paliçadas, foi construído um total de 10 barreiras no leito da voçoroca e também, outras 3 no seu entorno, onde haviam encontrado sulcos profundos. Para esse trabalho foram utilizados materiais alternativos de baixo custo e facilmente disponíveis na região, como bambu, pneus velhos e sacos de rafia. Dentro da voçoroca, as paliçadas (um total de 8 de bambu e 2 de pneus usados), foram construídas com altura variando entre 1,0 a 1,5 m e espaçadas a uma distância média de 5 m entre si (Figura 6).

No entorno, a altura das paliçadas foi de cerca de 1 m e a distância entre elas foi variável, dando prioridade para os sulcos mais evoluídos.



Figura 6: Paliçadas de bambu implantadas na área interna da voçoroca.

2.4.3 Levantamento Planialtimétrico

Com o objetivo de conhecer o relevo das encostas e as características das voçorocas em estudo, foi realizado levantamento planialtimétrico com uso do equipamento topográfico Estação Total, onde se determinou a área de captação da encosta, declividade, profundidade, área e volume das voçorocas. O levantamento foi realizado nas voçorocas em recuperação e sem intervenção. Na voçoroca recuperada em função da dificuldade de operação com o aparelho, devido à vegetação implantada, esse levantamento não foi possível de ser realizado.

3.4.4 Classificação do Solo das Áreas de Voçorocas

Os solos das áreas de voçorocas foram classificados de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, conforme Embrapa (1999).

Para tanto foi aberta uma trincheira com cerca de 1 m de profundidade, no terço médio de cada encosta, nas quais foram feitas a identificação, medição e coleta de amostras dos horizontes pedogenéticos para a descrição morfológica do perfil, de acordo com Santos et al. (2005). Inicialmente foi necessário percorrer a área para localizar um ponto que apresentasse horizonte A, pois foi constatada a ausência desse horizonte na maior parte das áreas avaliadas, devido à intensa erosão laminar.

No laboratório de Gênese e Classificação de Solos do Departamento de Solos da UFRRJ, foi extraída a fração areia fina (0,210 e 0,105 mm) de amostras do horizonte B, para observação de minerais primários facilmente intemperizáveis, uma das exigências para caracterizar o horizonte Bi, que classificaria o solo como Cambissolo (se presentes) diferenciando de um Latossolo (Embrapa, 1999). Como o teor desses minerais primários facilmente intemperizáveis foi menor que 4%, nas amostras das voçorocas recuperadas e em recuperação, procedeu-se à análise química das amostras para cálculo da CTC da fração argila, e dessa forma, confirmar se o solo apresentava atividade da fração argila $< 17 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (Anexos), e com isso, confirmar a ordem dos Latossolos. Com a identificação dos

atributos diagnósticos dos horizontes superficiais e subsuperficiais, utilizou-se à chave taxonômica do Sistema Brasileiro de Classificação do Solo, Embrapa (1999), para classificação ao nível de ordem e subordem.

3.4.5 Amostragem de Solo e Determinações Físicas e Químicas

As avaliações foram realizadas nas áreas de entorno e na parte interna das três voçorocas em estudo, nos sedimentos coletados e em uma área de floresta secundária. As análises granulométricas e estabilidade de agregados foram realizadas no Laboratório de Física do Solo do Departamento de Solos da UFRRJ, nutrientes pseudo-totais na Embrapa Solos, e as demais análises, nos Laboratórios de Solos e Nitrogênio da Embrapa Agrobiologia.

a) Densidade do Solo

A densidade do solo (D_s) foi determinada com auxílio de anel volumétrico, segundo Embrapa (1997), nas profundidades de 0 - 10 e 10 - 20 cm, com 5 repetições tomadas em zigue e zague na área de entorno das voçorocas em estudo, as quais localizam-se no terço médio da encosta. Essa amostragem foi feita também em uma área de floresta adjacente, para que se pudesse ter uma referência mais próxima a que existia originalmente.

Visando o cálculo do estoque de nutrientes, as amostras foram coletadas em trincheiras na área de entorno, terço superior da encosta e parte interna das voçorocas recuperada e em recuperação, a cada 10 cm até a profundidade de 80 cm. No entorno das voçorocas, cada profundidade foi constituída de 4 repetições coletadas em 2 trincheiras na voçoroca recuperada e 4 trincheiras na voçoroca em recuperação, dispostas em zigue zague. Para a amostragem dentro das voçorocas, foram abertas 3 trincheiras ao longo de seu comprimento, totalizando 3 repetições para cada profundidade amostrada.

A amostragem no terço superior das voçorocas foi escolhida no sentido de representar melhor a área de captação da encosta em relação aos atributos físicos e químicos e o efeito das leguminosas implantadas. Neste estudo a área de voçoroca sem intervenção não foi avaliada por considerar-se que estava no mesmo estágio que a voçoroca em recuperação.

b) Análise granulométrica

A amostragem foi realizada no terço médio das encostas de forma semelhante ao item anterior, visando a caracterização da classe textural do solo no entorno das voçorocas e na floresta secundária, para avaliar a similaridade das áreas quanto a esse atributo. Foram coletadas também amostras em trincheiras no entorno das voçorocas (terço superior), de forma idêntica à densidade do solo, com o objetivo de avaliar também a similaridade das áreas para os estudos de estoque de carbono, e além disso, avaliar o teor de silte e areia fina em profundidade como indicadores da erodibilidade do solo. Na parte interna das voçorocas, a finalidade foi também a de caracterizar a granulometria dos sedimentos retidos através das estruturas de retenção implantadas.

No terço médio, as amostras foram retiradas com uso de enxadão, retirando um monolito de solo, de modo que essa mesma amostra pudesse ser utilizada para as análises de estabilidade de agregados, conforme será visto adiante. Parte da amostra obtida nas coletas foi destorroada, seca ao ar e passada em peneira de 2 mm para obtenção de terra fina seca ao ar. A partir desse material foram tomadas 10 g de solo (com correção de umidade) para determinação das frações areia grossa (2 - 0,21 mm), areia fina (0,21 - 0,053 mm), silte e argila, segundo o método da pipeta descrito por Day (1965).

Para cálculo de cada fração utilizou-se as seguintes fórmulas:

Areia: massa x 10

Argila= 100 (massa – 0,004)

Silte= 10 – (areia + argila).

Na voçoroca em recuperação, além da fração terra fina (< 2 mm), foi realizada também a fração grosseira (> 2 mm), em trincheiras, para avaliar a presença de cascalho e calhaus no terço superior da encosta. Para essa amostragem coletou-se próximo às trincheiras da amostragem de densidade do solo, aproximadamente 1 kg de terra a cada 10 cm até 80 cm de profundidade, que em seguida, a amostra foi destorroada, seca ao ar, pesada e peneirada em peneiras de 20 e 2 mm de diâmetro. O material retido nessas peneiras foi lavado com água corrente, secado ao ar e novamente pesado. Com os resultados das pesagens calculou-se a quantidade de calhaus (> 20 mm), cascalho (2-20 mm) e por diferença, a terra fina (< 2 mm), conforme Embrapa (1997).

c) Estabilidade de agregados

A estabilidade de agregados em água foi avaliada na área de entorno das três voçorocas e floresta secundária, a partir das amostras de monólitos coletadas para granulometria (em novembro de 2005), com o objetivo de comparar as áreas em relação à capacidade de resistir à desagregação em água. Para obtenção dos agregados, as amostras foram secas à sombra e destorroadas nos pontos de fraqueza. A fração de agregados que passa em peneira de 7,93 mm e fica retida na peneira de 4 mm foi separada em classes de tamanho de agregados através do tamizamento úmido no aparelho de oscilação vertical de Yooder, com jogo de peneiras nas malhas: 2, 1, 0,5, 0,25, 0,105 mm, conforme metodologia descrita por Kemper & Rosenau (1986). Com os resultados obtidos calculou-se o diâmetro médio ponderado (DMP), o qual foi submetido à análise de variância e comparação de médias pelo teste t de Bonferroni (5%), para comparação das áreas.

d) Velocidade de infiltração da água no solo

Para comparar as diferentes áreas de voçorocas quanto à infiltração de água no solo, foi determinado a velocidade de infiltração básica (VIB), através da metodologia de anéis concêntricos, conforme descrito por Reichardt (1990). Os testes foram realizados no terço médio e superior em cada encosta das três voçorocas em estudo, com uma repetição em cada local, com exceção do terço superior da voçoroca sem intervenção onde a infiltração estava muito alta e inconstante, por isso, foi realizada com duas repetições.

e) Fertilidade do solo

Para essa análise, a amostragem de solo foi realizada em 2005, em todas as voçorocas e na floresta secundária, de forma semelhante à utilizada nos itens densidade do solo e granulometria. As amostras coletadas foram destorroadas, secas ao ar, passadas em peneira de 2 mm de malha e encaminhadas para o laboratório de fertilidade da Embrapa Agrobiologia para as análises químicas de pH, Al, Ca, Mg, K e P, de acordo com Embrapa (1997). Para comparação foi utilizada a área de floresta secundária mencionada anteriormente.

f) Carbono e nitrogênio total

As análises de C e N total foram feitas com o objetivo de avaliar os estoques desses nutrientes. Essas análises foram feitas nas mesmas amostras de densidade do solo.

Depois de obtidas as amostras de terra fina seca ao ar (< 2 mm) elas foram moídas em “moinho de bola” e o teor de C total determinado por meio de um analisador CHN-600, de combustão total. Para a determinação do N total foi utilizada a metodologia de destilação a vapor, método de Kjeldahl, descrito por Bremner & Mulvaney (1982). De posse das concentrações desses nutrientes, da densidade do solo e espessura avaliada, calcularam-se os estoques de carbono e nitrogênio total no solo de acordo com a fórmula abaixo:

$$\text{Estoque (Mg ha}^{-1}\text{)} = C \text{ (g kg}^{-1}\text{)} \times \text{massa de solo} / 1 \times 10^6.$$

Onde:

$$\text{Massa de solo (kg)} = D_s \text{ (Mg m}^{-3}\text{)} \times \text{prof (m)} \times 10.000 \text{ (m}^2\text{)} \times 1000$$

3.4.6 Análises Estatísticas

Inicialmente os dados foram analisados quanto à normalidade e homogeneidade de variância dos erros do modelo através do teste de Lilliefors e Cochran utilizando o Software Saeg 5.0, para atender aos pressupostos da análise de variância. Os parâmetros que não apresentaram homogeneidade e normalidade foram transformados em $\log(x+1)$ na análise.

Em relação ao teste de comparação de médias, foi escolhido o teste t de Bonferroni por se pressupor que as áreas do estudo não seriam homogêneas, no que diz respeito às características físicas e químicas do solo, mesmo se fosse feita estratificação em blocos como em experimentos tradicionais.

Segundo Garcia (2001), o teste de Bonferroni é uma adaptação do teste t com o objetivo de reduzir o nível de significância conjunta, fazendo com que se diminua a chance das diferenças nas comparações serem devido à heterogeneidade do ambiente e não do tratamento avaliado. Essa redução do nível de significância ocorre em função do número de comparações onde o rigor do teste aumenta, e por essa razão, o método deve ser aplicado para poucos tratamentos, para não se correr o risco de cometer o erro tipo 2 (diferenças não significativas quando na verdade elas são).

Com o objetivo de avaliar o grau de similaridade entre as áreas foi aplicada a análise de agrupamento hierárquico de Clustering e determinado o dendograma para as voçorocas em estudo através das variáveis: densidade do solo, granulometria (areia fina, grossa e total), estabilidade de agregados, velocidade de infiltração básica e fertilidade do solo (pH, Ca, Mg, Ca+Mg, K e P). Essas características físicas e químicas do solo se referem ao terço médio das encostas nas profundidades 0-10 e 10-20 cm, com exceção da velocidade de infiltração básica que foi tomada como a média dos terços inferior, médio e superior de cada área de voçoroca.

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.5.1 Características do Relevo e das Voçorocas

As características das voçorocas em recuperação e sem intervenção estão apresentadas na Tabela 1 e em mapas planialtimétricos nas Figuras 7 e 8. Essas duas voçorocas apresentaram características semelhantes quanto à área, maior largura, comprimento, comprimento de rampa acima da voçoroca e espessura do *solum* (horizontes A + B), no entanto, para a forma da encosta, área de captação e declividade média, volume e profundidade, elas mostraram-se distintas.

As voçorocas apresentam incisão profunda chegando na voçoroca em recuperação, a uma profundidade de 17 m. Tendo em vista que o *solum* apresenta espessura em torno de 2 m, o horizonte C (restante da profundidade), se mostra muito espesso, chegando a 15 m na voçoroca em recuperação. A característica de alta erodibilidade do horizonte ou camada C de solos originados de gnaisse (Morais et al., 2004), aliado as características morfológicas do perfil e topográficas, ajuda a explicar a ocorrência de voçorocas de grande área e volume na região.

Tabela 1: Características das encostas e das voçorocas.

Atributos	Voçoroca	
	em recuperação	sem intervenção
Área de captação (ha)	0,78	1,55
Área da voçoroca (m ²)	901	1.145
Maior largura (m)	19,7	20,9
Menor largura (m)	0,7	1,85
Comprimento da voçoroca (m)	74,9	90,7
Maior profundidade (m)	17	11
Menor profundidade (m)	5	1,2
Profundidade média (m)	11	8
Volume (m ³)	6.500	10.718
Comprimento rampa acima voçoroca (m)	80	96,91
Espessura média do <i>solum</i> (hor A+B) (m)	1,8	2,2
Declividade média da área captação (%)	59	29
Classificação da voçoroca na encosta	desconectada	desconectada
Forma da encosta	Linear/convexa	Côncava

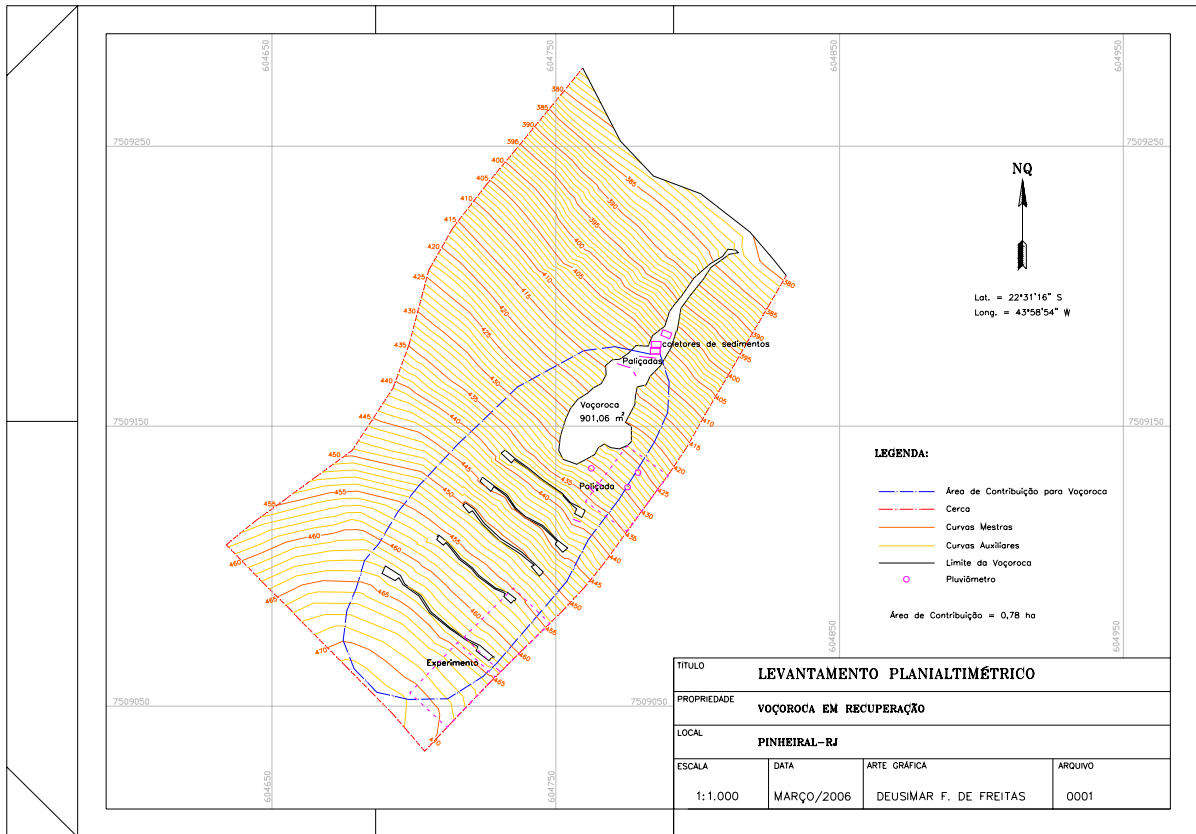


Figura 7: Esboço da área da voçoroca em recuperação, Pinheiral-RJ.

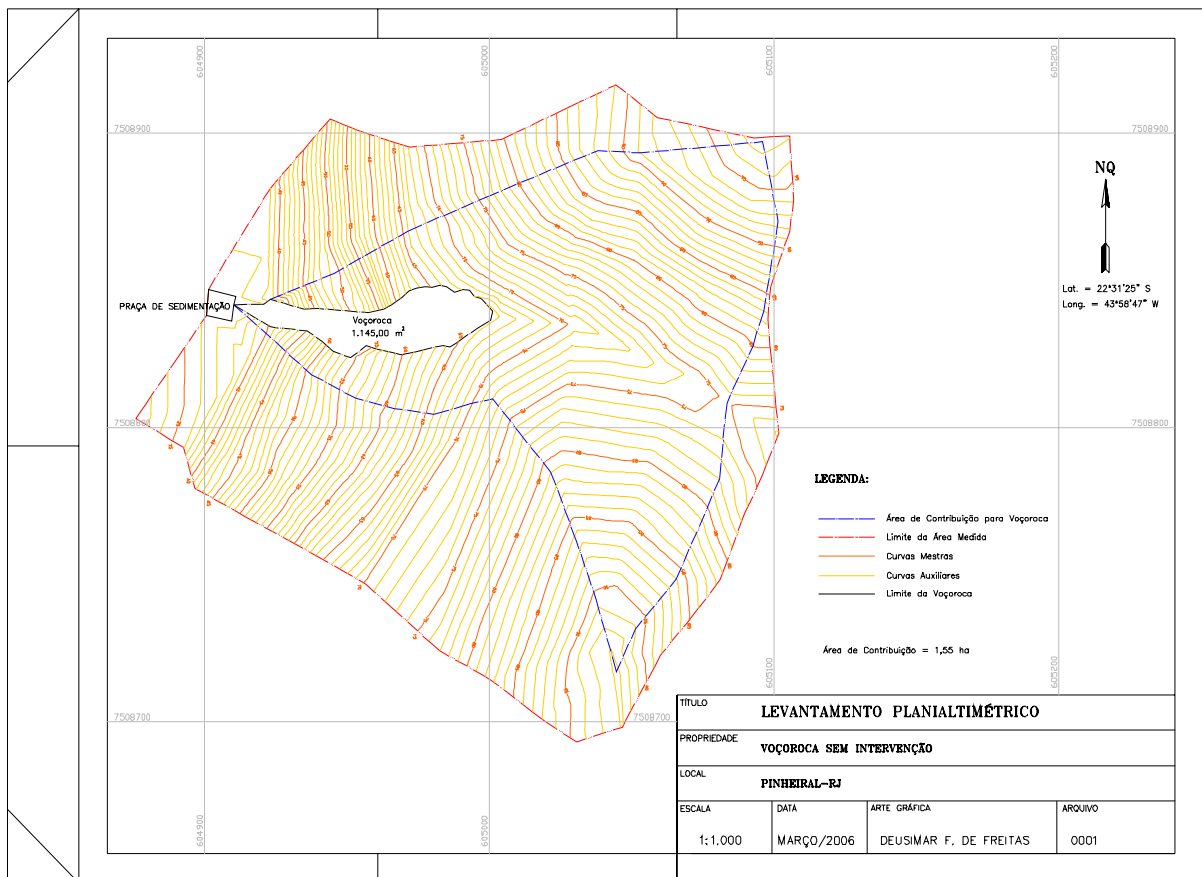


Figura 8: Esboço da área da voçoroca sem intervenção, Pinheiral-RJ.

De acordo com a Figura 9, constata-se que a voçoroca em recuperação ocorre em uma encosta que pode ser classificada como linear a ligeiramente convexa na parte superior, enquanto que a voçoroca sem intervenção, em encosta com forma côncava.

Encostas de forma côncava, com comprimento de rampa longo e alta declividade, apresentam maior susceptibilidade à formação de voçorocas (Resende, 1985), isso por que nesse tipo de relevo, ocorre uma maior concentração e velocidade do fluxo de enxurrada que passa a ter maior energia de arraste de partículas, e conseqüentemente, maior perda de solo.

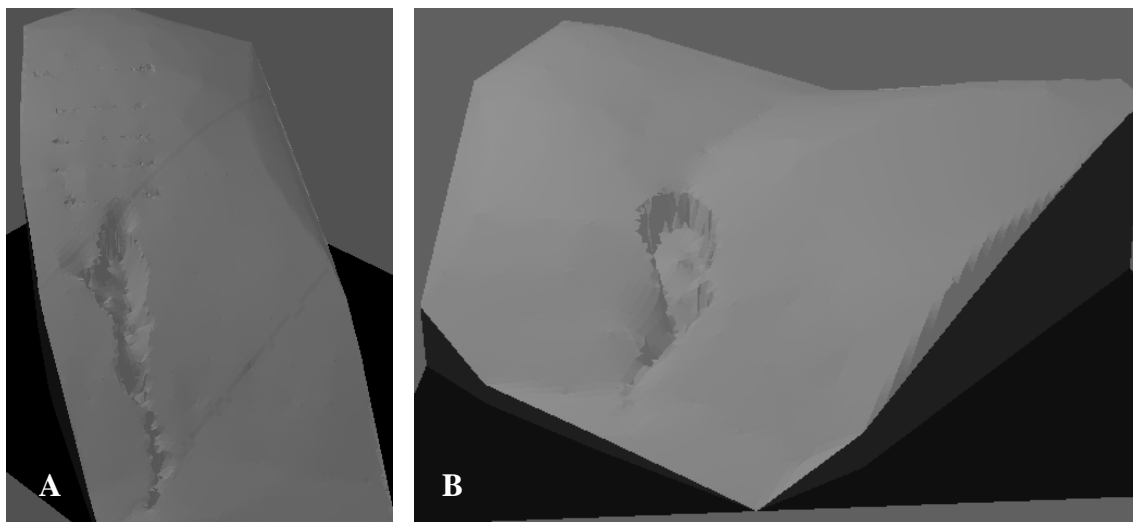


Figura 9: Imagem tridimensional das vertentes das áreas de voçorocas. A) voçoroca em recuperação; B) voçoroca sem intervenção.

Através das características do relevo das áreas de voçorocas apresentado não se pode afirmar que as áreas são homogêneas, para comparações entre a perda de solo. Nesse sentido seria interessante definir critérios e elaborar um procedimento de correção dessas diferenças para padronizar as condições de comparação, o que demandaria um estudo mais específico, que não pôde ser realizado nesta dissertação.

Pode-se notar que em função das encostas terem formas diferentes, esse atributo não parece ser o mais determinante para a formação de voçorocas na região de Pinheiral.

3.5.2 Classificação dos Solos das Áreas de Voçorocas

Os resultados da análise química das amostras (em anexo) confirmaram que o horizonte B dos perfis de solo das voçorocas recuperada e em recuperação, apresentam argila de atividade baixa ($< 27 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), que associado a ausência de gradiente textural entre A e B, esses horizontes atendem às exigências para classificação como B latossólico, e desse modo, pertencem à ordem dos Latossolos. Quanto à subordem, foi classificada como Vermelho-Amarelo devido a cor do solo estar situada entre os matizes 2,5 YR e 7,5 YR.

Na voçoroca sem intervenção, o horizonte B foi classificado como Bt devido ao gradiente textural encontrado. Quanto à subordem, em Vermelho Amarelo, em função das cores vermelho amareladas do horizonte B e por não atender as exigências para Argissolos Amarelos nem para Argissolos Vermelhos.

De acordo com esses resultados, o solo do terço médio das áreas das voçorocas recuperada e em recuperação foi classificado como Latossolos Vermelho-Amarelos, e a voçoroca sem intervenção, Argissolos Vermelho-Amarelos. A caracterização e descrição morfológica dos perfis estão apresentadas em anexo.

Durante o trabalho de classificação dos solos das áreas, foi confirmado que o Horizonte A, na maior parte do terço médio e superior das voçorocas recuperada e em recuperação, havia sido removido pela erosão, com exceção de algumas “manchas” cobertas por grama batatais.

Esta informação revela que as amostragens realizadas anteriormente para as análises físicas e químicas, foram feitas no horizonte B, e em alguns casos, como no terço superior da voçoroca recuperada, no horizonte BC. Atualmente, a presença do horizonte B exposto é a situação mais representativa das áreas estudadas.

Os diferentes tipos de solos encontrados nas 3 voçorocas, sugerem que embora todas tenham suscetibilidade à erosão, há outros fatores que governam em conjunto a formação das voçorocas na região de Pinheiral.

3.5.3 Atributos Físicos do Solo

a) Densidade do solo

Na Tabela 2 estão apresentados os resultados de densidade de solo (Ds) avaliada nas três voçorocas em estudo e numa área de floresta secundária nas profundidades de 0 – 10 e 10 – 20 cm. Nas três voçorocas, as médias de densidade do solo não diferiram entre si quando comparadas pelo teste de t de Bonferroni a 5 % de probabilidade, indicando que as áreas são homogêneas quanto a esse atributo. Na floresta secundária, os resultados de densidade nas camadas avaliadas foram menores que nas áreas de voçorocas estudadas.

Menezes et al (2000), estudando a relação entre características edáficas, topografia e cobertura vegetal nessa região de estudo, encontraram resultados semelhantes de densidade do solo em área de floresta secundária em um Argissolo Vermelho-Amarelo.

Uma menor densidade do solo é comum ser encontrada em áreas de florestas devido a menor interferência na estrutura do solo e o maior teor de matéria orgânica nos horizontes superficiais, adicionado através da serapilheira e raízes finas, que contribuem para a redução dos valores, tanto pela menor densidade do material incorporado ao solo, quanto ao aumento da porosidade proporcionada pela matéria orgânica. De acordo com Machado & Brum (1978), após o desmatamento e o manejo convencional do solo ao longo do tempo, associado a relevos acidentados e altas precipitações, ocorre a alteração de várias propriedades físicas, dentre elas, a densidade do solo, devido à diminuição da matéria orgânica com as perdas pela erosão hídrica.

Tabela 2: Densidade do solo na área de entorno (terço médio) das voçorocas e floresta secundária.

Profundidade do solo (cm)	Floresta secundária	Voçoroca recuperada	Voçoroca em recuperação	Voçoroca sem intervenção
	.....kg dm ⁻³			
0-10	1,10 b	1,32 a	1,38 a	1,22 a
10-20	1,19 b	1,42 a	1,40 a	1,49 a
Média	1,15 b	1,37 a	1,39 a	1,34 a
CV (%)	3,72			

Médias de mesma letra nas linhas em cada profundidade não diferem entre si pelo teste t de Bonferroni (5%).

Visando avaliar o teor de nutrientes sob o efeito da revegetação com leguminosas arbóreas, a densidade do solo foi também avaliada em trincheiras de 80 cm de profundidade

na área de entorno (terço superior da encosta) e área interna das voçorocas recuperada e em recuperação (Tabela 3).

Na área de entorno, observa-se que as voçorocas são semelhantes para esse atributo, mas isso não foi verificado para a parte interna. Na parte interna da voçoroca em recuperação os valores de densidade do solo foram maiores que na voçoroca recuperada, provavelmente devido a vegetação já está estabelecida nessa segunda.

Avaliando o entorno e a parte interna de cada voçoroca, observa-se que na voçoroca recuperada os valores de densidade do solo foram superiores na área de entorno em relação a área interna até a profundidade de 80 cm, exceto nos primeiros 10 cm, que nesse caso, pode ser devido à adição de matéria orgânica pela serapilheira das leguminosas.

Tabela 3: Densidade do solo avaliado na área de entorno (terço superior) e parte interna de voçoroca recuperada e em recuperação.

Profundidade do solo (cm)	Entorno da voçoroca		Parte interna da voçoroca	
	recuperada	em recuperação	recuperada	em recuperação
	.....kg dm ⁻³			
0-10	1,27 a A	1,32 a A	1,16 b A	1,43 a A
10-20	1,48 a A	1,35 b A	1,10 b B	1,47 a A
20-30	1,40 a A	1,36 a A	1,23 b B	1,42 a A
30-40	1,35 a A	1,36 a A	1,15 b B	1,49 a A
40-60	1,32 a A	1,32 a A	1,14 b B	1,43 a A
60-80	1,34 a A	1,34 a A	1,22 b B	1,56 a A
CV (%)	7,29			

Médias seguidas de mesma letra minúsculas nas linhas (em cada profundidade) entre voçorocas em cada local (entorno e parte interna), e letras maiúsculas entre locais para cada voçoroca, não diferem entre si pelo teste t de Bonferroni a 5%.

b) Análise granulométrica

Na Tabela 4 estão os resultados da análise granulométrica realizada no entorno (terço médio) das três voçorocas em estudo e área de floresta secundária, nas profundidades de 0 - 10 e 10 - 20 cm.

Na profundidade de 0 - 10 cm na área de floresta secundária foi encontrado o maior teor de silte e menor de argila, enquanto que para a voçoroca em recuperação, o teor de argila foi o maior entre todas as áreas. Na profundidade de 10 a 20 cm a textura foi mais arenosa na floresta secundária e tendeu a ser mais argilosa na voçoroca em recuperação.

Para a média das duas profundidades, os resultados foram semelhantes ao observado para a profundidade de 0 - 10 cm, com solo mais arenoso na área de floresta secundária e mais argiloso na área de voçoroca em recuperação. Com esses resultados, a classe textural variou de franca arenosa a argilosa para as áreas de floresta secundária e voçoroca recuperada respectivamente.

Em relação aos atributos silte mais areia fina, que são indicadores da erodibilidade do solo (Silva et al., 1993), a área de floresta secundária apresentou maiores valores nas duas profundidades avaliadas. Isso evidencia que nas áreas com voçorocas estas frações foram perdidas na erosão.

Tabela 4: Análise granulométrica das áreas de voçorocas (terço médio das encostas) e floresta secundária em Pinheiral–RJ, em duas profundidades (0-10 e 10 – 20 cm).

Áreas de estudo	Areia		total	Silte	Argila	Silte + areia fina	Classe textural
	grossa	fina					
g kg ⁻¹							
0 – 10 cm							
F. secundária	457 a	131 a	588 a	225 a	187 c	356 a	Franco arenosa
V. recuperada	441 a	125 a	566 a	142 ab	292 bc	267 a	Franco argilo arenosa
V. em recuper	396 a*	106 a*	478 a	121 b	401 a	230 b	Franco argilosa
V. s/ interven	421 a	160 a	581 a	104 b	315 ab	264 a	Franco argilo arenosa
10 – 20 cm							
F. secundária	410 a	208 a	618 a	169 a	213 b	377 a	Franco argilo arenosa
V. recuperada	376 a	129 a	505 ab	159 a	336 a	288 ab	Franco argilo arenosa
V. em recuper	335 a*	118 a*	439 b	133 a	428 a	236 b	Argilosa
V. s/ interven	426 a	148 a	574 a	101 a	325a	249 ab	Franco argilo arenosa
Média							
F. secundária	433a	170 a	603 a	197 a	200 c	367 a	Franco argilo arenosa
V. recuperada	409 a	127 a	536 ab	150 ab	314 b	277 ab	Franco argilo arenosa
V. em recuper	365 a*	112 a*	458 b	127 b	415 a	233 b	Argilosa
V. s/ interven	423 a	155 a	578 a	102 b	320 b	257 b	Franco argilo arenosa

Médias seguidas de mesma letra nas colunas, para cada profundidade, não diferem entre si pelo teste t de Bonferroni (5%). * médias de 4 repetições.

Analisando a granulometria em trincheiras nas áreas de voçoroca recuperada e em recuperação, observa-se que na área da voçoroca recuperada o solo tende a ser menos argiloso.

Em relação à argila e silte, embora as áreas pertençam à mesma classe de solo, os resultados mostraram que elas não são homogêneas, conforme já verificado no terço médio. A voçoroca recuperada apresenta maior teor de silte que a voçoroca em recuperação em praticamente todas as camadas avaliadas, enquanto que nessa última, o teor de argila foi superior à primeira ao longo de todo perfil avaliado (Tabela 5). Essas diferenças podem ser explicadas pela variabilidade espacial causada pela erosão das áreas, onde a área de entorno da voçoroca recuperada, apresenta-se mais erodida que a anterior, com a constatação de minerais primários próximo à superfície do solo, ou seja, a presença do horizonte BC.

Essas diferenças na granulometria, indicam que qualquer comparação quanto ao estoque dos nutrientes presentes nas duas voçorocas devem ser feitas com cautela pois é sabido que materiais com pouco teor de argila tendem a apresentar menor estoque de nutrientes que nos solos argilosos (Sisti, 2004).

Tabela 5: Granulometria do solo no terço superior nas encostas das voçorocas recuperada (v. recup.) e em recuperação (v. em recup.), em trincheiras.

Profundidade do solo (cm)	Areia						Silte		Argila	
	grossa		Fina*		total		v. recup.	v. em recup.	v. recup.	v. em recup.
	v. recup.	v. em recup.	v. recup.	v. em recup.	v. recup.	v. em recup.				
0-10	363 a	273 a	186 a	103 b	548 a	376 b	226 a	108 a	226 b	516 a
10-20	272 a	268 a	191 a	108 b	463 a	376 a	320 a	88 b	217 b	536 a
20-30	328 a	268 a	135 a	112 a	463 a	380 a	238 a	87 b	298 a	533 a
30-40	339 a	262 a	158 a	113 a	496 a	375 b	345 a	98 b	159 b	527 a
40-50	381 a	279 b	220 a	113 b	601 a	392 b	248 a	111 b	151 b	497 a
50-60	360 a	276 a	175 a	122 a	535 a	398 b	411 a	136 b	54 b	466 a
60-70	338 a	265 a	180 a	125 b	517 a	390 b	450 a	154 b	33 b	457 a
70-80	398 a	289 b	168 a	122 a	565 a	411 b	389 a	134 b	46 b	455 a
CV (%)	22,18		30,83		14,78		43,37		29,12	

Médias iguais nas linhas para cada atributo e profundidade não diferem entre si pelo teste *t* de Bonferroni a 5%. */ Valores transformados em log (x+1) na análise.

Avaliando o teor de silte mais areia fina que são indicadores de erodibilidade do solo, observa-se que na voçoroca recuperada os valores são mais de duas vezes superiores aos encontrados na voçoroca em recuperação, e esse aumento em profundidade, ocorre de forma distinta entre as duas voçorocas (Figura 10).

Quanto à relação silte/argila na voçoroca recuperada, os valores foram abaixo de 1 com pequeno aumento em profundidade e ocorrendo de forma constante. Na voçoroca recuperada essa relação a partir de 30 cm, aumentou de forma desuniforme apresentando valores elevados.

Segundo Resende (1985), solos que possuem maiores teores de silte e areia fina apresentam maior erodibilidade aliada a baixa coesão proporcionada pelos elevados teores de silte. Já Silva et al. (1993) fizeram além dessa consideração, a de que solos com elevada relação silte/argila e estrutura maciça tendem a apresentar maior erodibilidade devido a sua menor permeabilidade. Nesse sentido a condição encontrada na voçoroca em recuperação indica a sua maior suscetibilidade à erosão.

Isso parece indicar que os fatores que levam ao voçorocamento são mais complexos que a simples granulometria da área, uma vez que embora apresentem características tão distintas, em ambas, o processo de voçorocamento ocorreu.

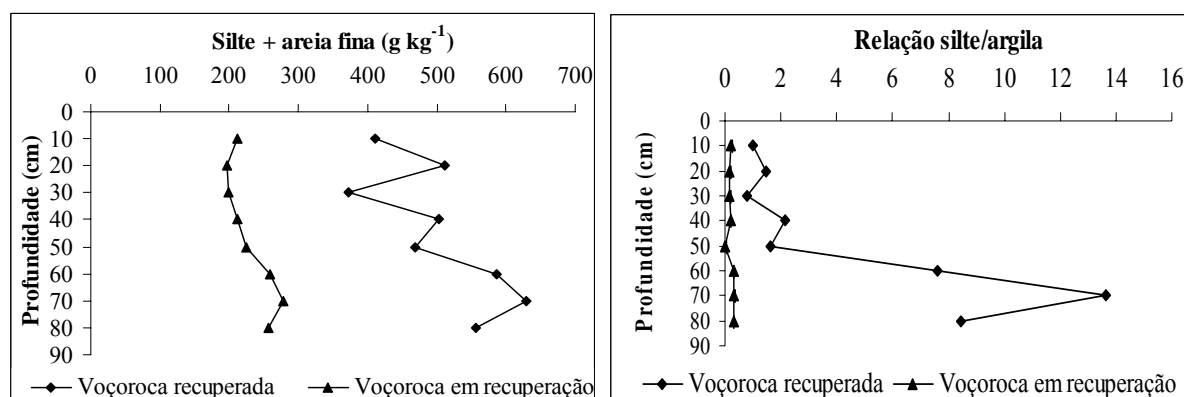


Figura 10: Características granulométricas em profundidade nas voçorocas recuperada e em recuperação.

Analisando a granulometria na parte interna das voçorocas recuperada e em recuperação, observa-se que a textura do solo/substrato tendeu a ser mais arenosa nessa última (Tabela 6). Esse maior valor de areia pode ser devido tanto pelas características texturais do saprolito, como também, a maior remoção da fração mais fina, que ocorre mesmo com as paliçadas com sacos de rafia, que permitem a passagem das partículas mais finas em detrimento das mais grosseiras, que ficam retidas dentro das voçorocas, e a diminuição da velocidade das águas de escoamento causado pelas paliçadas, o que aumenta a deposição de partículas maiores (silte e areia).

Tabela 6: Granulometria do solo fração terra fina (< 2 mm) na parte interna das voçorocas recuperada e em recuperação.

Profundidade do solo (cm)	Areia			Silte	Argila
	grossa	fina	total		
g kg ⁻¹					
Voçoroca recuperada					
0-10	380	179	559	201	241
10-20	372	187	558	218	223
Média	376	183	559	210	232
Voçoroca em recuperação					
0-10	-	-	749	200	51
10-20	-	-	701	219	80
Média	-	-	725	210	66

Na Tabela 7 encontram-se os resultados da distribuição granulométrica do solo na fração grosseira (> 20 mm) realizada na voçoroca em recuperação, para avaliar o efeito da erosão laminar na área de captação.

As camadas mais superficiais do perfil do solo apresentam maior proporção de cascalho e calhaus, que tendem a diminuir na medida em que aumenta a profundidade, conseqüentemente, a proporção de terra fina aumenta, indicando a forte erosão superficial na área. Enquanto que na superfície do solo (0 – 10 cm) a proporção de terra fina é de 419 g kg⁻¹, nas camadas mais profundas, chega a ultrapassar 800 g kg⁻¹, o que evidencia a atuação da erosão laminar na área, removendo a fração mais fina que é mais facilmente transportável, resultando num aumento proporcional da fração grosseira. Isso reflete o que é observado na prática quando se caminha na área e nota-se a superfície do solo forrada de cascalhos e calhaus, sendo um bom indicador de ambientes com processo erosivo intenso (Figura 11).



Figura 11: Vista do afloramento de cascalhos e calhaus na voçoroca em recuperação.

Nas camadas inferiores, a fração mais grosseira é atribuída à ocorrência de camadas de cascalho encontradas em determinadas profundidades em algumas partes da encosta. Nas outras voçorocas, praticamente não se observava muito a presença de cascalho e calhaus expostos sobre a superfície do solo, razão pela qual não foram avaliadas.

Tabela 7: Granulometria da fração grosseira (> 20 mm) do solo na voçoroca em recuperação.

Profundidade do solo (cm)	calhau	cascalho	terra fina
	g kg ⁻¹		
0-10	214±128	367±59	419±87
10-20	142±120	232±90	627±131
20-30	175±141	202±96	623±175
30-40	82±71	167±56	751±117
40-50	98±83	191±77	711±130
50-60	106±83	138±54	756±133
60-70	141±115	133±39	726±143
70-80	57±54	174±82	768±121

Médias de 5 repetições ± erro padrão.

Os resultados indicam que na região de estudo as classes de textura superficial e em profundidade encontradas atualmente podem não ser muito homogêneas mesmo para a mesma classe de solo, o que sugere cautela na comparação entre as áreas, e também, a existência de outros fatores além da granulometria, controlando esse processo na região.

c) Estabilidade de agregados

A análise de estabilidade de agregados é um atributo físico muito utilizado para avaliar sistemas de cultivo e práticas de manejo do solo. Embora as áreas de estudo não sejam manejadas como em uma área agrícola com revolvimento do solo, através de aração, gradagem, etc., esse atributo desperta o interesse nesse tipo de estudo por estar relacionado com a erosão, e poder ser útil para avaliar o efeito da revegetação com leguminosas nas propriedades físicas do solo em estudos de longo prazo, que nesse caso, poderá ser considerado como um nível de manejo.

Solos com maior proporção de agregados nas classes de diâmetro, maiores ou menores, após o teste, indicam o grau de facilidade dos agregados se romperem com o impacto das gotas de chuva, e isso, está diretamente relacionado com a perda de solo.

As áreas de estudo não apresentaram diferenças estatísticas entre si para o diâmetro médio ponderado de agregados (DMP), para a média geral das duas profundidades.

Analisando o DMP das áreas em cada profundidade, não houve diferença entre elas, exceto na voçoroca em recuperação em que a profundidade de 10 - 20 cm apresentou menor DMP que na profundidade de 0-10 cm (Tabela 8). Resultados semelhantes foram observados por Silva & Mielniczuk (1997), que não encontraram diferença significativa na estabilidade de agregados entre área de pastagem e floresta nativa. Os resultados indicam que até 20 cm de profundidade, os solos das áreas analisadas são relativamente similares, indicando que somente a avaliação desses atributos não permite avaliar a suscetibilidade de uma área ao processo de voçorocamento.

Tabela 8: Estabilidade de agregados (DMP) no entorno das áreas de voçorocas e floresta secundária nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, Pinheiral, RJ.

Profundidade (cm)	Floresta secundária	Voçoroca recuperada	Voçoroca em recuperação	Voçoroca sem intervenção
	.....DMP (mm).....			
0 – 10	4,55 a	3,77 a	4,26 a	4,37 a
10 – 20	4,12 a	3,79 a	2,88 b	3,63 a
CV (%)	18,51			

Médias iguais nas linhas para cada profundidade não diferem entre si pelo teste t de Bonferroni 5%.

d) Velocidade de infiltração da água no solo

Os valores de velocidade de infiltração básica no terço médio das voçorocas, tenderam a ser relativamente próximos. Comparando a infiltração em toda a encosta através da média dos três terços, as voçorocas recuperada e em recuperação foram bem semelhantes. Quanto à classe de enquadramento da velocidade de infiltração básica sugerida por Klute (1965), citado por Ottoni Filho (2003), a maioria das posições das diferentes áreas se classificam como VIB média (20 a 125 mm h⁻¹), excluindo o terço superior da voçoroca sem intervenção e o terço inferior da voçoroca em recuperação, que foram os locais em que a VIB se enquadrou nas classes de alta (> 125 mm h⁻¹) e baixa (20 mm h⁻¹), respectivamente (Tabela 9).

Esses resultados de infiltração das voçorocas recuperada e em recuperação (ambas em Latossolos) foram concordantes com os resultados de estudo realizado por Sales et al. (1999), em Latossolo Roxo na cidade de Lavras, MG, que encontrou 57 mm h⁻¹.

No caso do alto valor de VIB encontrado no terço superior da voçoroca sem intervenção, existe a hipótese de que o local onde foi realizado o teste, localizado em uma espécie de vale (ver Figura 8 item 5.3.1), pode haver a presença de espaços internos no solo ocasionados por escoamento subsuperficial e ou horizonte C mais raso e poroso. Não foi possível nesse estudo identificar com precisão a causa da elevada VIB nessa porção do terreno, mas a medição é fruto da avaliação em dois pontos distintos.

Os resultados encontrados nas três áreas com exceção das posições em que os valores foram discrepantes, permitem afirmar que a velocidade de infiltração básica nas áreas é relativamente semelhante, principalmente no terço médio das encostas, onde as voçorocas ocorrem.

Tabela 9: Velocidade de infiltração básica da água no solo (mm h⁻¹) em diferentes partes da encosta no entorno das voçorocas em estudo.

Posição na encosta	Voçorocas		
	Recuperada	Em recuperação	Sem intervenção
	.....mm h ⁻¹		
Terço superior	24	48	372
Terço médio	84	72	108
Terço inferior	72	12	48
Média	60	44	176

3.5.4 Atributos Químicos do Solo

a) Fertilidade do solo

A Tabela 10 apresenta os resultados da análise química de terra da área analisada em trincheiras de 80 cm no entorno (terço superior) e parte interna das voçorocas recuperada e em recuperação, e no terço médio no entorno das três voçorocas e na área de floresta secundária nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm.

Em todas as áreas avaliadas os valores de pH do solo foram baixos, ressalvando a parte interna das voçorocas, que foi significativamente mais elevado. Os demais locais se caracterizam como extremamente ácidos ($\text{pH} < 4,4$) de acordo com Freire et al. (1988). Menores valores de pH foram encontrados para a área de floresta secundária, que é um resultado comum de ser encontrado nesse ambiente tendo em vista a presença de ácidos orgânicos provenientes da decomposição da serapilheira.

Associados aos baixos valores de pH, e altos teores de Al nas áreas de entorno (terço médio) das voçorocas e floresta secundária e também no terço superior da encosta em trincheiras, ressalvando a área interna da voçoroca em recuperação que apresentou valores significativamente menores.

Em relação às bases trocáveis Ca e Mg, os teores no entorno das voçorocas apresentaram-se muito baixos, razão pela qual a metodologia de análise não foi capaz de determiná-los isoladamente, com exceção do terço médio, com isso, é apresentado a soma dos dois elementos Ca+Mg para essas áreas (Tabela 10). No terço médio tanto Ca quanto Mg, apresentaram maior teor na área de floresta que nas voçorocas, não havendo muita diferença entre as voçorocas, e uma tendência de maior teor na camada de 0-10 cm.

Na área interna das voçorocas a concentração de Ca+Mg foi significativamente superior ao terço superior. No terço médio, a soma desses nutrientes (Ca+Mg) apresentou comportamento semelhante ao observado individualmente.

Em relação ao potássio, observa-se que nos diferentes locais os teores são considerados baixos ($< 45 \text{ mg dm}^{-3}$), entretanto, no terço superior da voçoroca recuperada e na floresta secundária (camada de 0 -10 cm) e na parte interna da voçoroca recuperada nos primeiros 30 cm, há maior disponibilidade desse elemento, apresentando teores considerados médios ($45 - 90 \text{ mg dm}^{-3}$) de acordo com Freire et al. (1988).

Analisando-se o teor de P, as médias encontradas nas diferentes áreas foram muito baixas, principalmente no terço superior (trincheira) do entorno da voçoroca recuperada, onde os teores estiveram abaixo do mínimo detectável pela técnica de determinação utilizada. Nesse local não houve diferença significativa entre as áreas quando analisado estatisticamente. Já no terço médio do entorno, os teores de P também são considerados baixos inclusive na área de floresta, que foi superior as voçorocas, como é de se esperar devido a menor degradação do solo. Ressalta-se que a ausência de diferenças significativas pode ser devido aos altos valores de coeficiente de variação observados.

Segundo Menezes (1999), a baixa fertilidade do solo na região do estudo bem como em praticamente todas as áreas de “Mar de Morros”, é atribuída a natureza do material de origem, o gnaiss granítico, por ser pobre em bases, ter sofrido elevado grau de intemperismo, além dos processos de degradação do solo como a erosão hídrica que é bastante expressiva nesse ambiente.

Conforme pôde ser observado, para a maioria dos nutrientes a parte interna das voçorocas apresentou melhor fertilidade que o entorno, o que pode ser devido ao fato da área interna funcionar como local de acúmulo de nutrientes após a implantação das práticas físicas de retenção de sedimentos, através das paliçadas, além das mudas ter recebido fertilizantes por ocasião do plantio.

Dentro das voçorocas com paliçadas, o material retido é geralmente mais grosseiro conforme discutido anteriormente, com fragmentos de rochas contendo minerais primários e secundários oriundos dos horizontes subsuperficiais e superficiais, e além do mais, o ambiente geralmente é mais úmido.

Segundo Macias & Chesworth (1992), solos em ambientes úmidos estão sujeitos a um intenso intemperismo químico responsável pela rápida transformação dos minerais primários, podendo assim contribuir para uma maior disponibilidade de nutrientes no interior das voçorocas.

Em relação a possível superestimativa dos nutrientes na análise química, Dias (1998) afirma que o método de extração ácida, como Mehlich I na análise de P e K, solubiliza minerais primários e secundários, e assim pode superestimar esses nutrientes. Deve-se considerar também que o acúmulo de matéria orgânica retido através das paliçadas pode ser uma das causas dessa maior fertilidade, principalmente na camada mais superficial.

Independente da causa do enriquecimento do substrato na área interna da voçoroca, é sabido que as práticas utilizadas tem sido eficientes na retenção de sedimentos na área e mais uma vez ressalta-se a importância da vegetação para a conservação da paisagem, onde, notadamente, a deposição de serapilheira vem contribuindo para a manutenção e ciclagem dos nutrientes na área.

A maior fertilidade associada a maior umidade apresentada na parte interna de voçorocas, facilitam o estabelecimento e desenvolvimento de plantas fazendo com que o processo de revegetação dessa área possa ser mais rápido que no seu entorno (Figura 12).

Tabela 10: Fertilidade no terço superior (trincheira) do entorno das voçorocas recuperada e em recuperação e no terço médio do entorno das três de áreas de voçorocas e floresta secundária.

Profundidade do solo (cm)	Avaliação em trincheiras				Floresta secundária	Terço médio		
	V. recuperada		V. em recuperação			Entorno da voçoroca		
	entorno	dentro	entorno	dentro		recup.	em recup.	s/ interv.
pH								
0 - 10	4,8 b	5,4 a	4,3 b	5,1 a	4,1 b	4,7 a	4,3 b	4,2 b
10 - 20	4,8 b	5,3 a	4,4 b	5,0 a	3,9 b	4,4 a	4,2 a	4,3 a
20 - 30	4,7 b	5,2 a	4,4 b	5,2 a	-	-	-	-
30 - 40	4,7 b	5,2 a	4,4 b	5,4 a	-	-	-	-
40 - 60	4,8 b	5,2 a	4,4 b	5,5 a	-	-	-	-
60 - 80	4,9 b	5,4 a	4,5 b	5,2 a	-	-	-	-
CV (%)	3,87					3,72		
Al (cmol _c dm ⁻³)								
0 - 10	1,35 a	0,53 a	1,90 a	0,97 a	1,50 a	1,20 a	0,80 a	1,37 a
10 - 20	2,22 a	0,97 b	1,85 a	1,47 a	2,47 a	2,12 ab	1,38 b	1,68 ab
20 - 30	2,45 a	1,07 b	2,00 a	1,20 a				
30 - 40	2,10 a	1,03 a	2,10 a	1,77 a				
40 - 60	2,02 a	1,00 a	2,02 a	0,98 a				
60 - 80	1,89 a	0,77 a	1,85 a	1,38 a				
CV (%)	49,77					36,74		
Ca+Mg (cmol _c dm ⁻³) ^{yw}								
0 - 10	0,68 a	0,87 a	0,75 b	2,07 a	3,61 a	1,13 b	1,41 b	0,85 b
10 - 20	0,25 b	0,50 a	0,60 b	1,70 a	2,86 a	0,33 b	0,74 b	0,35 b
20 - 30	0,18 b	0,50 a	0,60 b	2,30 a				
30 - 40	0,12 b	0,40 a	0,55 b	1,97 a				
40 - 60	0,14 b	0,35 a	0,51 b	2,37 a				
60 - 80	0,06 b	0,42 a	0,45 b	2,72 a				
CV (%)	31,63					69,81		
Ca (cmol _c dm ⁻³)								
0 - 10	-	-	-	-	2,03 a	0,78 b	0,73 b	0,52 b
10 - 20	-	-	-	-	1,21 a	0,18 b	0,43 ab	0,30 ab
CV (%)						69,51		
Mg (cmol _c dm ⁻³)								
0 - 10	-	-	-	-	1,58 a	0,35 b	0,72 ab	0,34 b
10 - 20	-	-	-	-	1,66 a	0,14 b	0,33 b	0,11 b
CV (%)						72,68		
K (mg dm ⁻³) ^y								
0 - 10	60 a	115 a	19 a	33 a	84 a	36 bc	71 ab	24 c
10 - 20	13 b	78 a	10 a	27 a	37 a	18 a	16a	9 a
20 - 30	10 b	45 a	7 a	26 a				
30 - 40	22 b	44 a	4 b	25 a				
40 - 60	24 a	36 a	3 b	30 a				
60 - 80	27 b	60 a	2 b	33 a				
CV (%)	53,00					63,00		
P (mg dm ⁻³) ^w								
0 - 10	0 a	0,4 a	1,5 a	1,3 a	9 a	5 b	4 b	2 b
10 - 20	0 a	0,3 a	2,0 a	0,3 a	5 a	1 b	1 b	1 b
20 - 30	0 a	0,2 a	1,5 a	0,3 a				
30 - 40	0 a	0,2 a	2,0 a	1,3 a				
40 - 60	0 a	0,3 a	2,0 a	1,7 a				
60 - 80	0 a	0,4 a	2,8 a	0,8 b				
CV (%)	157,92					63,03		

Médias seguidas de mesma letra nas linhas, para cada voçoroca na avaliação em trincheiras, e entre as áreas avaliadas no terço médio, não diferem entre si pelo teste t de Bonferroni (5%). ^{yw}/ Valores transformados em log (x+1) na análise (y – trincheiras; w – terço médio).



Figura 12: Aspecto da revegetação interna da voçoroca em recuperação

b) Carbono e nitrogênio total

Os valores de estoque de C e N do entorno da voçoroca são mostrados nas Tabelas 12 e 13. Avaliando os teores e estoques de C ao longo da trincheira, observa-se que na camada de 30 a 70 cm o teor de C na voçoroca em recuperação é superior a voçoroca recuperada. Da mesma forma o estoque de carbono até 80 cm de profundidade foi menor na voçoroca recuperada com leguminosas que na voçoroca em recuperação em termos absolutos, com exceção da camada de 0 - 20 cm, indicando que as áreas apresentam estoques distintos de C em profundidade. No entanto, ao se avaliar a camada mais superficial, onde sabidamente as leguminosas devem influenciar mais diretamente devido à deposição da serapilheira e maior concentração de raízes, nota-se valores 20 % maiores na voçoroca recuperada.

Considerando que nas maiores profundidades a voçoroca em recuperação apresenta menores teores de carbono, pode-se admitir que no tempo zero, ou seja, antes da intervenção feita na voçoroca recuperada, esses valores na camada superficial também eram menores na voçoroca recuperada em relação a voçoroca hoje em recuperação. Isso indica que o incremento de C observado de 4 Mg ha^{-1} em 6 anos, poderia ser ainda maior caso o tempo zero da área tivesse sido determinado naquela época.

Analisando os estoques de C encontrado na voçoroca em recuperação, observa-se que o valor é baixo, quando comparado com a área de manejo semelhante (a área onde a voçoroca está inserida é utilizada como pastagem, apesar de degradada). Estudo de Salton et al. (2005), em pastagem produtiva permanente de *Brachiaria* em Dourados, MS, estimou o estoque de C em 50 Mg ha^{-1} na camada de 0-20 cm, contra $16,14 \text{ Mg}$ nessa mesma espessura na área de entorno da voçoroca em recuperação em Pinheiral. Isso evidencia a importância da matéria orgânica para a produtividade do solo e reforça que a reposição de matéria orgânica é um dos principais pontos para recuperação desses solos.

Tabela 12: Teor e estoque de C total nas voçorocas recuperada (v. recup) e em recuperação (v. em recup) (médias de 4 repetições). Valores transformados em log (x+1) na análise.

Profundidade do solo (cm)	Teores		Estoques	
	v. recup	v. em recup	v. recup	v. em recup
	.....g kg ⁻¹.....		.....Mg ha ⁻¹	
0-10	10,0 a	7,0 a	12,21 a	9,35 a
10-20	5,5 a	5,0 a	8,18 a	6,79 a
20-30	2,3 a	5,0 a	3,19 a	6,82 a
30-40	1,3 b	4,0 a	1,30 b	5,29 a
40-50	1,3 b	4,3 a	1,10 b	5,48 a
50-60	1,0 b	3,3 a	0,86 b	3,87 a
60-70	1,0 a	3,0 a	0,96 a	3,69 a
70-80	0,8 a	2,5 a	0,66 b	3,00 a
0-80	-	-	28,46 a	44,29 a
0-20	-	-	20,39 a	16,14 a

Médias de mesma letra na coluna, não diferem pelo teste t de Bonferroni (5%).

Em relação ao nitrogênio, o comportamento do estoque nas duas voçorocas foi semelhante ao encontrado para C total. O estoque nos primeiros 20 cm foi de 1,42 Mg ha⁻¹, considerado baixo para os padrões brasileiros. Deve se destacar que a relação C/N esteve próxima a 10, o que reforça trabalhos realizados por Sisti (2004) e Resende et al. (2005), que indicaram que não é possível acumular C no solo sem acumular N, na proporção de 10:1, o que reforça a importância de leguminosas fixadoras de nitrogênio para recuperação dessas áreas.

Tabela 13: Teor e estoque de N total, e relação C/N, na voçoroca recuperada (v. recup) e em recuperação (v. em recup) (médias de 4 repetições). Valores transformados em log (x+1) na análise.

Profundidade do solo (cm)	Teores de N		Estoques de N		Relação C/N	
	v. recup	v. em recup	v. recup	v. em recup	v. recup	v. em recup
	.....g kg ⁻¹.....		.....Mg ha ⁻¹			
0-10	0,56 a	0,57 a	0,67 a	0,77 a	18	12
10-20	0,21 b	0,48 a	0,30 b	0,65 a	26	8
20-30	0,15 b	0,41 a	0,21 b	0,55 a	15	9
30-40	0,16 b	0,37 a	0,21 b	0,50 a	6	8
40-50	0,18 a	0,34 a	0,23 a	0,45 a	8	9
50-60	0,14 a	0,33 a	0,18 a	0,43 a	5	7
60-70	0,14 a	0,32 a	0,19 a	0,41 a	5	7
70-80	0,14 a	0,26 a	0,20 a	0,35 a	4	6
0-80			2,19 a	4,11 a	-	-
0-20			0,97 a	1,42 a	-	-

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste t de Bonferroni (5%).

Os resultados indicam que a revegetação da área de voçoroca com leguminosas arbóreas apresenta um potencial promissor de aumento dos estoques de C e N no solo, o que é um passo importante para melhoria das condições para ativar os mecanismos ecológicos do ecossistema.

Com o objetivo de comparar a similaridade entre as áreas de voçorocas, foi utilizado o agrupamento hierárquico de *Clustering*, em função dos atributos físicos e químicos do solo no terço médio do entorno das voçorocas (Figura 13). Observa-se que as áreas mais similares são as voçorocas recuperada e sem intervenção, que apresentaram 59 % de diferença. A voçoroca em recuperação apresentou menor similaridade entre as demais voçorocas com 81 % de diferença. Isso ocorreu mesmo ao fato dos atributos de densidade do solo, estabilidade de agregados e fertilidade do solo ter sido relativamente semelhantes entre as áreas, através da ausência de diferenças significativas pelo teste t de Bonferroni.

A análise de similaridade dos atributos utilizados para comparar as áreas mostra que as áreas apresentam baixa similaridade, e que os atributos físicos e químicos estudados não devem ser usados como indicadores de suscetibilidade e formação de voçorocas.

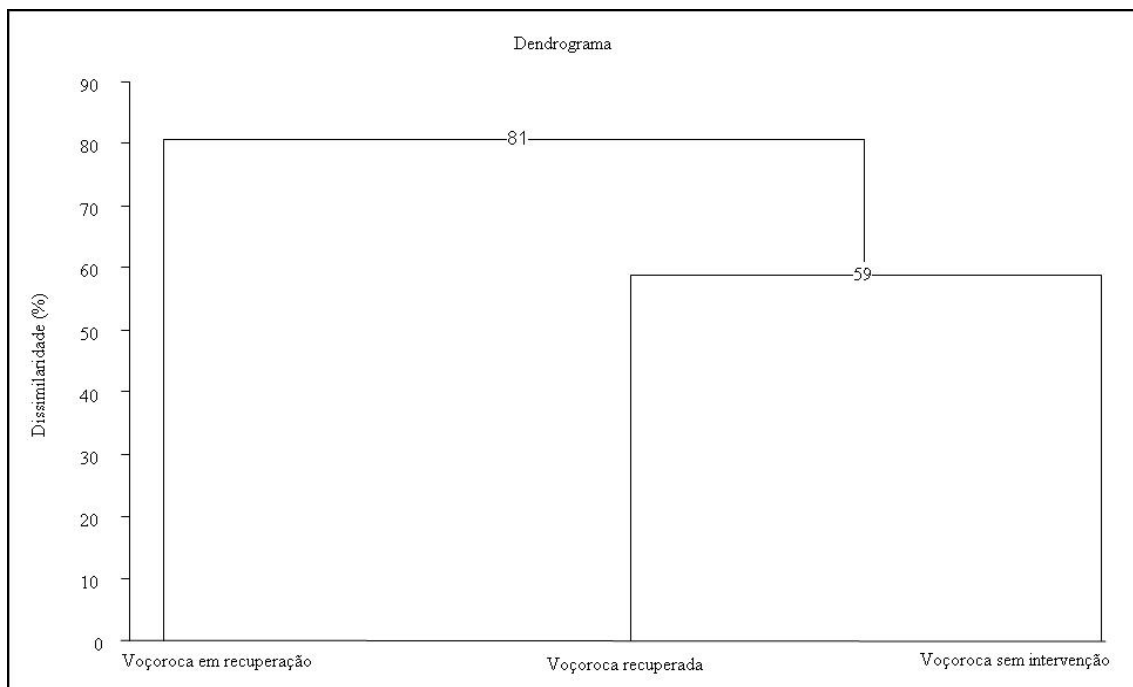


Figura 13: Agrupamento hierárquico de Clustering para as três áreas de voçorocas.

Deve ser ressaltado que atributos referentes exclusivamente aos solos não parecem ser determinantes para a formação das voçorocas na região. O que se nota é que nas áreas de encostas que se encontram com cobertura florestal, a ocorrência de voçorocas não é observada e que estas ocorrem em pastagens degradadas, indicando que a simples aplicação da legislação em vigor, que preconiza a manutenção de cobertura florestal das áreas de preservação permanente, já seria suficiente para se evitar o grande número de voçorocas na região.

3.6 CONCLUSÕES

Os atributos densidade do solo, estabilidade de agregados, fertilidade do solo e velocidade de infiltração básica, demonstraram ser semelhantes nas áreas das voçorocas estudadas.

Os baixos teores de C e N total indicaram elevado grau de degradação do solo das áreas com voçorocas.

O grau de erosão diferenciado na área de entorno das voçorocas influenciou na variabilidade espacial dos atributos do solo.

A revegetação com leguminosas constituiu-se em importante alternativa para aumentar C e N no solo.

4 - CAPÍTULO II

PERDA DE SOLO E NUTRIENTES EM VOÇOROCAS COM DIFERENTES NÍVEIS DE CONTROLE E EM RECUPERAÇÃO

4.1 RESUMO

Este estudo teve como objetivo avaliar metodologia de recuperação de voçorocas baseada em práticas simples e de baixo custo, através da quantificação de perda de solo e nutrientes em três áreas de voçorocas com diferentes níveis de controle da erosão, no município de Pinheiral, RJ. Essas áreas correspondem: a) voçoroca recuperada com práticas físicas (terraços de ordenamento do escoamento de água, com bacias de contenção nas extremidades e, paliçadas de bambu e pneus usados) e biológicas (revegetação do entorno e parte interna com leguminosas arbóreas noduladas e micorrizadas); b) em recuperação, com as estruturas físicas acima descritas; c) e a terceira, sem intervenção. Em cada uma delas foram implantados coletores de sedimentos com o objetivo de quantificar a perda de solo e nutrientes e avaliar a eficiência das tecnologias utilizadas. Os sedimentos foram quantificados e caracterizados quanto à densidade do solo, granulometria, teores e estoques de nutrientes pseudo-totais e totais e valor econômico das perdas. Foram realizadas quatro avaliações na voçoroca sem intervenção, 3 na voçoroca em recuperação, durante o período de 13/12/05 a 26/02/2006, e uma na voçoroca recuperada, no final da estação chuvosa em abril de 2005. Nas três avaliações de sedimentos realizadas, que abrangeu menos da metade do período de verão (437 mm acumulado de chuva), foi quantificada uma perda de 33,9; 13,2 e 18,7 Mg ha⁻¹ na voçoroca sem intervenção, enquanto que na voçoroca com intervenções físicas, essas perdas foram de 1,3; 2,2 e 2,3 Mg ha⁻¹, o que significa uma redução de 96, 83 e 88 %, respectivamente. Considerando a perda total nas três voçorocas (sem considerar a área de captação) a redução das perdas foi de 98 % na voçoroca em recuperação e 99 % na voçoroca recuperada em relação à sem intervenção. A respeito da granulometria, os sedimentos tenderam a ser arenosos nas voçorocas sem intervenção e recuperada e siltosos na voçoroca em recuperação, resultado atribuído ao efeito das paliçadas com sacos de ráfia. Em relação à perda de nutrientes, a quantidade de Ca, Mg, K, P (pseudo-total) e N total perdidos nos sedimentos da voçoroca sem intervenção, foi de 1.811 kg em 1.145 m² de voçoroca. Com as medidas vegetativas e físicas de controle da erosão utilizadas conseguiu-se reduzir as perdas de nutrientes em mais de 90 % nas três primeiras avaliações, e 96 % para todo o período chuvoso, quando comparado com a voçoroca recuperada, o que representaria um valor acima de R\$ 2.190,00 na reposição direta desses nutrientes. Os resultados indicaram que a atividade de voçorocas pode ser revertida usando medidas físicas simples e de baixo custo, aliado à vegetação com leguminosas noduladas e micorrizadas.

4.2 ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate method for reclaiming gully erosion based in simple practices of low cost, through the quantification of sediments and nutrients lost in three gullies with different stages of activity and reclamation. These areas correspond to: a) six year old gully, stabilized with physical barriers, inside and outside the gully, and planted with nodulated and mycorrhizal legume trees; b) stabilized gully, with the same physical barriers as the one before, and c) gully without intervention. For all treatments sediment collectors were installed to measure the soil and nutrient losses, and to evaluate efficiency of methods. The sediments of each gully were collected, quantified and characterized for their density, granulometry, total, and pseudo – total of nutrient contents and stock, and economic value of losses. Four evaluations were performed in the gully without intervention, three on the gully with physical intervention (during the raining period of December 13, 2005 to February 26, 2006) and one on the stabilized gully with physical protection and vegetation, at the end of the raining season, April 2006. In the three evaluations performed that include less than half of the Summer season (total rainfall of 437 mm), a loss of 33.9, 13.2 and 18.7 Mg.ha⁻¹ of sediments was found in the gully without intervention, in contrast to 1.3, 2.2 and 2.3 Mg.ha⁻¹ in the gully with physical protection, a reduction of 96, 83 and 88%, respectively. Considering the total loss in the three gullies (not including catchments area) the loss reduction was of 98% in the gully with physical protection, and 99% in the gully with physical protection and vegetated, when compared to the gully without intervention. The sediments had more silt in the gully with physical protection only, and sand in the other two, a result that is probably related to the effect of the physical barriers. Regarding the nutrient loss, the amount of Ca, Mg, K, P (pseudo-total) and N (total) lost in the sediments of the gully without intervention was of 1811 kg in 1145 m² of gully area. The biological and physical measures of erosion control (gully with physical barriers and vegetation) resulted in a decreasing of nutrient losses up to 90% in the first three evaluations, and of 96% for all the rainy period, when compared to the gully without intervention, which would result in an economy of US\$1,000.00, when taken the direct replacement of those nutrients. The results indicated that the high rate of gully formation may be reverted by using simple and low cost physical measures, allied to vegetation with nodulated and mycorrhizal legume trees.

4.3 INTRODUÇÃO

A Bacia do rio Paraíba do Sul, possui relevo bastante ondulado denominado de “mar de morros” e vegetação de domínio de Mata Atlântica (CEIVAP, 2002). No passado, seu processo de ocupação e manejo do solo foi baseado no desmatamento para introdução do café, e após o declínio desta cultura, as áreas passaram a ser utilizadas como pastagem (Dias, 1999).

Durante os primeiros anos de ocupação, os solos da região eram muito férteis, período esse em que o ciclo do café teve seu auge na economia da região (Pereira, 2005). O uso contínuo do solo com práticas de manejo inadequadas, sobretudo devido a ausência de medidas conservacionistas, associado ao relevo acidentado da região (Gestin, 2006), resultou na perda de solo superficial, e conseqüentemente, sua fertilidade.

Hoje, processos erosivos avançados nas encostas, como sulcos e voçorocas, configuram a paisagem regional. Estes processos erosivos além de causarem prejuízos de perda de áreas aos agricultores, vêm causando o assoreamento de forma acelerada do rio Paraíba do Sul, responsável pelo abastecimento de água para mais de 9 milhões de pessoas no município e região metropolitana do Rio de Janeiro (CEIVAP, 2002).

Visando gerar soluções para diminuir a perda de solo de erosão em voçorocas nessa região, as unidades da Embrapa Agrobiologia e Solos, e o Colégio Agrícola Nilo Peçanha, pertencente à Universidade Federal Fluminense (UFF), iniciaram em 2000, os trabalhos de recuperação de uma voçoroca no município de Pinheiral-RJ, utilizando medidas físicas e biológicas. As medidas físicas utilizadas são terraços de base estreita com bacias de contenção nas extremidades e barreiras de bambu e pneus usados com sacos de ráfia, para o ordenamento e armazenagem da água da chuva, e retenção dos sedimentos. As práticas biológicas, tratam-se da revegetação com leguminosas arbóreas pioneiras inoculadas com bactérias fixadoras de nitrogênio e fungos micorrízicos arbusculares, para redução da desagregação e aumento da estabilização do solo e melhoria da paisagem (Machado et al., 2005).

Em relação aos estudos de quantificação da perda de solo pela erosão, praticamente todos os trabalhos com esse objetivo têm sido realizados com erosão do tipo laminar, onde se avalia também a perda de água e nutrientes, nos experimentos clássicos de parcelas de perda de solo. No entanto, são praticamente inexistentes na literatura trabalhos realizados para essa quantificação em formas erosivas do tipo voçorocas. Além da informação da perda nesse tipo de erosão, se torna interessante também conhecer a eficiência de técnicas utilizadas para seu controle para que possam ser validadas e recomendadas.

Este estudo objetiva quantificar a perda de solo e nutrientes em voçorocas, e avaliar a eficiência da metodologia de recuperação proposta na redução dessas perdas.

4.4 MATERIAL E MÉTODOS

4.4.1 Coletores de Sedimentos

Para quantificar a perda de solo foram construídos coletores na desembocadura de cada uma das três voçorocas em estudo, que são as mesmas descritas no Capítulo I. Os coletores foram construídos com a escavação do solo, de forma retangular, com uso ou não de parede de alvenaria, vertedouro e drenos com filtro de brita para reter os sedimentos carreados.

Na voçoroca recuperada, as caixas coletoras já se encontravam construídas desde o início da implantação das medidas de recuperação dessa voçoroca, e somente precisaram ser esvaziadas. A caixa foi feita de alvenaria nas dimensões de 4 m de comprimento, 1,5 m de largura e 2 m de profundidade o que confere um volume de 12 m³, dividido em três compartimentos (Figura 14).



Figura 14: Coletor de sedimentos na voçoroca recuperada.

Na voçoroca em recuperação com práticas físicas, foram construídos três coletores com a escavação do solo: coletor 1 (próximo à saída): 2 m³; coletor 2: 2,8 m³; coletor 3: 5,8 m³, totalizando 10,6 m³ (Figura 15). Alvenaria só foi utilizada para construção do vertedouro em cada coletor, visando aproveitar a geologia local e possibilitar a infiltração da água retendo somente o sedimento.

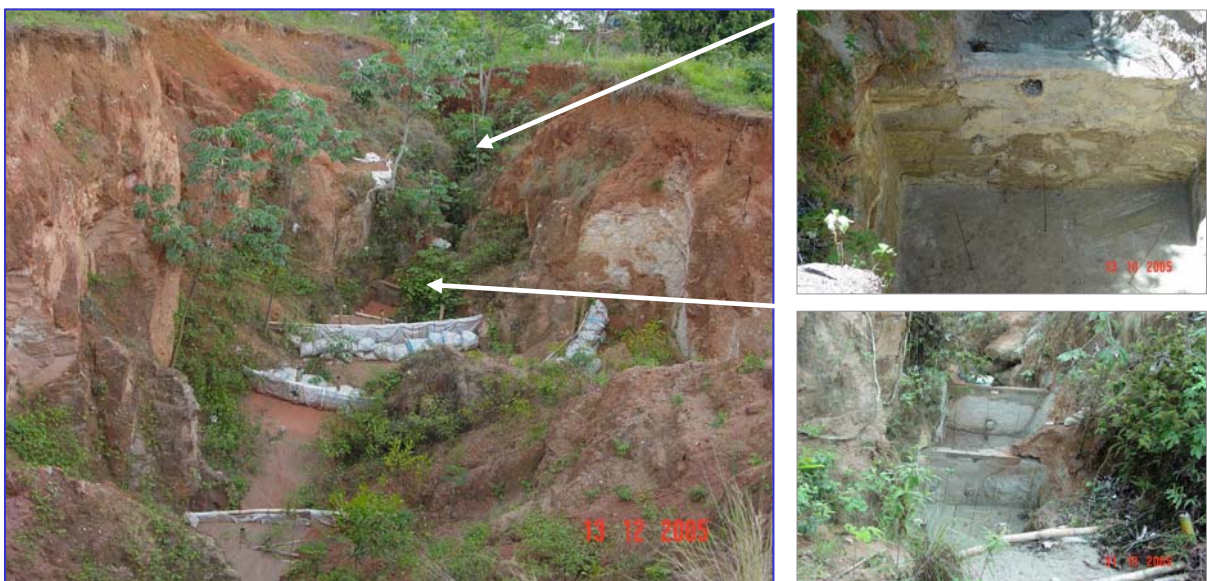


Figura 15: Coletores de sedimentos na voçoroca em recuperação

Na voçoroca sem intervenção já se previa que o volume de sedimentos seria muito grande em relação às demais, devido à ausência de práticas de controle da erosão. Tendo em vista a pequena área de desembocadura dessa voçoroca, foi necessário construir o coletor em um local mais abaixo da saída, onde se pudesse ter espaço para uma construção com dimensões suficientes para abrigar todo volume de sedimento carreado. Para tal, foi construída uma praça de sedimentação usando retroescavadeira em uma área de aproximadamente 90 m², disposta a 30 m de distância da parte inferior da voçoroca, mas coletando todo o sedimento da linha de desembocadura da voçoroca (Figura 16).

A fim de promover a passagem da água e retenção do sedimento para posterior avaliação, foi construído na metade dessa área, um cercado de bambu com clarite nas paredes para que permitisse a filtragem do sedimento. As dimensões úteis internas desse cercado foram de 32 m² e 1 m de altura, com espaço de 0,5 m das laterais. Na área não delimitada, incluindo o espaço entre o cercado de bambu e o barranco lateral, restaram 54 m² de área e altura média de 0,8 m.



Figura 16: Vista da voçoroca sem intervenção e praça de sedimentação para coleta de sedimentos. A – Área delimitada com bambu; B – Área não delimitada.

As diferentes formas de construção dos coletores foram necessárias em função da particularidade de cada voçoroca.

4.4.2 Precipitação Pluviométrica

Visando correlacionar a precipitação pluviométrica com a produção de sedimentos, foram coletados dados pluviográficos da estação meteorológica do CANP-UFF em Pinheiral-RJ, entre o período de março de 2003 (início de operação da estação) a agosto de 2006. Com os dados obtidos calculou-se as médias mensais de precipitação e o índice de erosividade das chuvas, o EI₃₀ (MJ mm ha⁻¹ h⁻¹), através do software Choveros elaborado por Cogo et al. (2003). O EI₃₀ foi calculado para o período compreendido entre 25/11/2005 a 25/02/2006, através da soma dos índices de erosividade das chuvas que ocorreram entre as quatro avaliações de perda de solo realizadas. Além da individualização das chuvas esse programa classifica a precipitação quanto ao seu perfil de ocorrência: adiantado, intermediário e atrasado de acordo com Horner & Jens (1941) citado por Carvalho et al. (2005). De acordo com essa classificação, no ciclo adiantado, o pico de intensidade da chuva ocorre no primeiro terço de sua duração total, o intermediário no terço médio e o tipo atrasado, no terço final da chuva.

Com os dados de precipitação foi possível identificar as chuvas erosivas e não erosivas de acordo com critério de Cabeda (1976) que considera chuvas erosivas aquelas com

precipitação acima de 10,0 mm de lâmina precipitada ou no mínimo 6,0 mm em um tempo de 15 min.

4.4.3 Quantificação dos Sedimentos

Para avaliar o volume de sedimentos das caixas coletoras, foram colocados inicialmente nas voçorocas recuperada e sem intervenção, marcos referenciais que permitissem monitorar a altura acumulada a cada evento meteorológico e, juntamente com os dados de área de cada compartimento, pudesse estimar o volume de sedimentos emitidos a cada evento. No entanto, esses marcos não permaneceram fixos com a turbulência da água da erosão, e com isso o cálculo do volume dos sedimentos coletados foi determinado através da altura média em cada coletor, utilizando varas graduadas, a cada 0,5 m em forma de gride, e o resultado obtido foi multiplicado pela área interna de cada coletor.

Foram realizadas 3 avaliações de sedimentos no período compreendido entre 25/11/05 e 01/02/06, e uma quarta, entre 23 e 25/02/06 (somente na voçoroca sem intervenção). Na voçoroca sem intervenção após a terceira avaliação o coletor encontrava-se cheio e foi esvaziado com retroescavadeira. Na data que foi esvaziado, caiu nova chuva forte na área, onde foi realizada a quarta avaliação da voçoroca sem intervenção. Na voçoroca em recuperação essa avaliação não foi possível, pois o coletor não foi esvaziado a tempo.

Na voçoroca recuperada até a terceira avaliação (02/02/06), não havia sido observado sedimentos quantificáveis, no entanto, no dia 3 de abril foi constatado um acúmulo de sedimento no coletor, que pode estar relacionado a eventos muito intensos ocorridos em fevereiro ou março de 2006.

4.4.4 Densidade dos Sedimentos

A amostragem para essa análise foi realizada durante a quantificação de sedimentos nas avaliações realizadas em cada voçoroca.

Para tanto, as amostras foram coletadas a cada 10 cm de profundidade com uso de anel volumétrico em perfis abertos com enxadão dentro dos coletores, em função da camada de sedimento encontrada no momento de cada avaliação, com 3 repetições para cada profundidade.

Na voçoroca sem intervenção, foi observado no momento da amostragem que os sedimentos dos dois compartimentos do coletor (cercado e não cercado) apresentavam granulometria diferentes, um por ser filtrado nas paliçadas (textura mais fina) com tela clarite, e o outro não (textura mais grossa), e com isso, foi amostrado de forma separada.

Com o material coletado foi determinado a umidade gravimétrica para obtenção da massa seca, e posteriormente, cálculo da densidade do solo pelo método do anel volumétrico de acordo com Embrapa (1997).

4.4.5 Granulometria e Nutrientes Pseudo-Totais e Totais dos Sedimentos

Com o objetivo de caracterizar a granulometria e os teores totais e pseudo-totais de nutrientes, foram analisados os sedimentos coletados em todas as avaliações e também amostras de solo das áreas de entorno e dentro das voçorocas recuperada e em recuperação.

A amostragem dos sedimentos corresponde à mesma realizada para densidade do solo descrito no item anterior, com coleta de 0,5 a 1 kg de terra, utilizando enxadão e colher de pedreiro, com três repetições cada. Cabe lembrar que para as amostras na área de entorno e dentro das voçorocas, foi considerada a amostragem descrita no Capítulo I e uma complementar, feita na parte interna da voçoroca sem intervenção de 0 – 10; 10 – 20 e 20 - 30 cm de profundidade, com cinco repetições cada.

Em relação à análise granulométrica analisou-se o teor de areia fina, areia grossa, silte e argila da fração terra fina, através do método da Pipeta (Day, 1965). Quanto a caracterização química, foram analisados os elementos, Ca, Mg, P e K utilizando a técnica de extração de nutrientes pseudo-totais, e para N e C, nutrientes totais, conforme item 3.4.4, Capítulo I.

Para os nutrientes pseudo-totais a técnica de extração utilizada foi a de “água régia” de acordo com metodologia de McGrath & Cunliffe (1985) adaptada por Fadigas (2002) para bloco digestor. Essa metodologia compreende basicamente a digestão das amostras de solo (cerca de 0,25 g) com os ácidos HCl 37% e HNO₃ 65% (proporção 3:1), aquecimento a 140 °C, filtração lenta do material e avolumagem do extrato. A determinação dos nutrientes Ca e Mg a partir dos extratos obtidos, foi feita por espectrometria de emissão, em plasma induzido de argônio (ICP-AES) Perkin-Elmer, modelo Optima 3000.

Para os nutrientes P e K, as leituras foram feitas por colorimetria e fotometria de chama, respectivamente. Todas essas análises foram realizadas na Embrapa Solos.

Para a determinação de P, foi feita uma reação dos extratos com uma solução (1:1) de metavanadato de amônio (0,25%) e molibdato de amônio 5% durante meia hora. Logo em seguida foi feita a leitura em absorvância (420 λ) em um espectrofotômetro modelo 600 S. Após a obtenção das leituras e curva padrão, foram calculados os nutrientes contidos nas amostras. Para K, as amostras foram lidas em fotômetro de chama, modelo Digimed-DM 61.

As análises de N e C total dos sedimentos coletados foram realizadas na Embrapa Agrobiologia, semelhante ao descrito no Capítulo 1.

Para determinação dos estoques de K e P trocáveis/disponíveis na área de entorno e parte interna da voçoroca recuperada, o procedimento consistiu da multiplicação do teor dos nutrientes na camada avaliada pela massa de solo correspondente, através da fórmula: Massa solo (kg) = espessura (0,1 m) x Ds (Mg m⁻³) x 1000 m² x 1000.

Para o cálculo do estoque dos nutrientes, multiplicou-se os teores pela massa de solo em cada camada avaliada, e os resultados foram expressos em Mg ha⁻¹.

4.4.6 Valor Econômico dos Nutrientes Perdidos nos Sedimentos das Voçorocas

Com o objetivo de quantificar as perdas econômicas dos nutrientes, foi realizada a conversão da quantidade de nutrientes perdidos para fontes comerciais de adubos disponíveis na região. Os preços foram cotados na Casa Agropecuária Seropec, localizada na cidade de Seropédica-RJ, em fevereiro de 2007.

Para a transformação da quantidade do nutriente perdido para as fontes disponíveis, os teores de Ca, K e P foram multiplicadas pelos fatores 1,4, 1,2 e 2,3 para transformação nas formas CaO, K₂O, e P₂O₅, respectivamente. Para uréia foi considerado o teor direto de N no fertilizante. Como fonte de Ca foi utilizado o calcário dolomítico com 30 % de CaO, para potássio, o KCl (60 % de K₂O), para P, o super fosfato simples (20 % P₂O₅) e para N a uréia (45 % de N).

Após obtido a quantidade correspondente a essas fórmulas, multiplicou-se o custo unitário de mercado pelas quantidades totais, pseudo-totais e trocáveis/disponíveis dos nutrientes. Para o cálculo da quantidade trocáveis/disponíveis, foi considerada como 5 % da forma pseudo-total, como sendo um valor médio que se encontra no solo.

4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.5.1 Precipitação Pluviométrica

Na Figura 17, é mostrado o gráfico de distribuição de chuvas mensais entre o período experimental de julho de 2005 a junho de 2006, no município de Pinheiral-RJ. Durante o período experimental foi registrado uma precipitação total de 1.149 mm, onde os maiores índices ocorreram entre os meses de novembro de 2005 e março de 2006, com um total de 954 mm, correspondendo a 83 % do total. O mês de fevereiro destacou-se entre os mais chuvosos com 340 mm, e a partir daí as chuvas decresceram caracterizando a transição para a época das secas, ocorrendo ainda uma precipitação de 82 mm no mês de março, equivalente a 33 % da precipitação média dos três meses de maior precipitação.

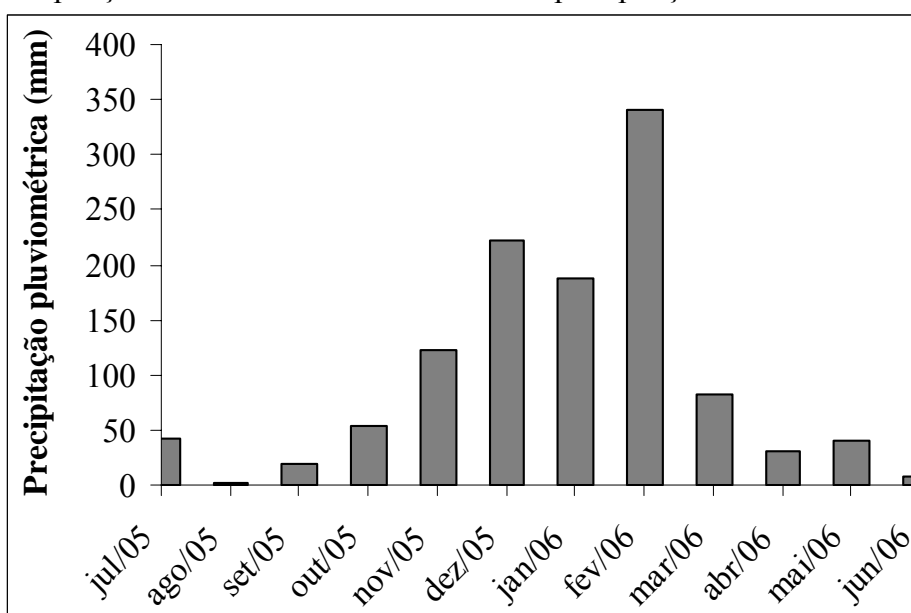


Figura 17: Precipitação pluviométrica ocorrida entre julho de 2005 e junho de 2006 em Pinheiral-RJ, registrada no posto meteorológico instalado no CANP-UFF.

Para efeito de análise da distribuição da precipitação pluviométrica ao longo do ano, a Figura 18 apresenta valores de uma série mensal de 20 anos (1985 a 2005) de uma das estações meteorológicas mais próximas de Pinheiral, chamada de Fazenda Santa Marta, localizada no Município de Piraí-RJ. Desconsiderando a variação existente entre os dois locais, pode ser visto que, o mês de maior precipitação da região é o mês de janeiro. Nesse sentido, conclui-se que o comportamento observado no período experimental desse trabalho foi considerado um pouco atípico.

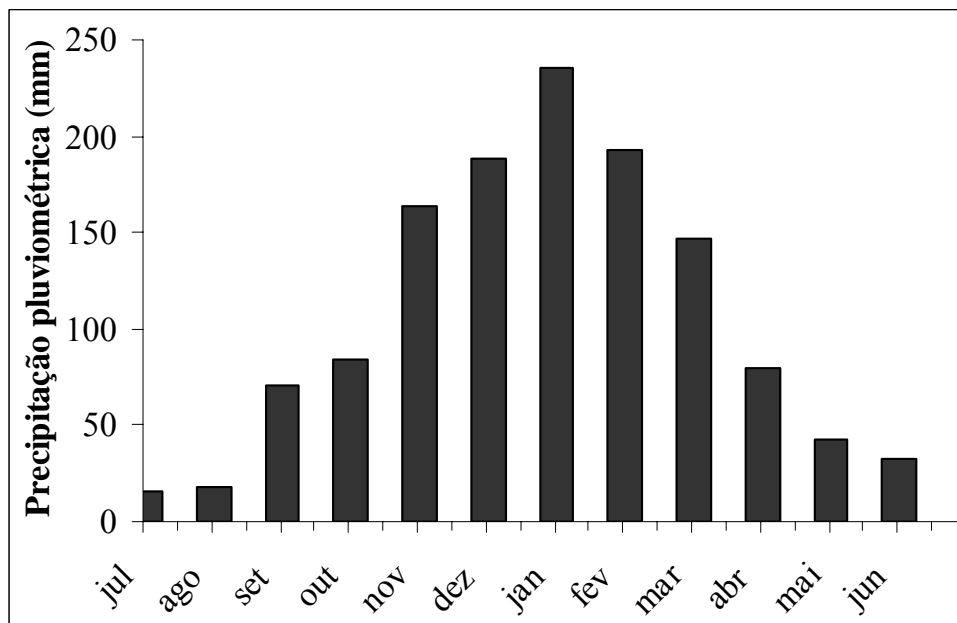


Figura 18: Precipitação pluviométrica média mensal da estação climática “Fazenda Santa Marta”, Município de Piraí-RJ. (Série de dados de 1985 a 2005).

Na Tabela 14 estão apresentadas as características das chuvas individuais e o índice de erosividade EI_{30} calculado para o período de avaliação da perda de solo.

Houve várias chuvas entre as avaliações de sedimentos realizadas, mas nem todas foram consideradas erosivas. De acordo com o acompanhamento diário dos moradores locais, os eventos que carregaram cargas significativas de sedimentos em cada intervalo de avaliação, foram de 1 a 3, podendo-se inferir àqueles que apresentaram os maiores valores de erosividade com ocorrência em 25 e 29/11, 6 e 10/12/05 na primeira avaliação, em 24/12/05, 01 e 04/01/06 na segunda avaliação, em 27 e 29/01/06 na terceira avaliação e 23/02/06 referente à quarta avaliação.

Nota-se que o período de 25/11/05 a 23/02/06, houveram 25 chuvas consideradas erosivas, com destaque para o mês de fevereiro que apresentou 12 dessas chuvas, sendo portanto, o mês mais crítico na região no que diz respeito aos processos erosivos.

Conforme se observa na Tabela 14, a distribuição da erosividade esteve bem concentrada entre o período avaliado, com uma erosividade acumulada equivalente a $4.559,8 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, o que representa quase a erosividade anual encontrada para essa região, que de acordo com Montebeller (2005), está na faixa de 4.000 e $6.000 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

Tabela 14: Características das chuvas erosivas e não erosivas ocorridas em Pinheiral entre 25/11/05 e 23/02/06, determinado pelo Software *Chuveros* (Cogo et al., 2003).

Data	Nº chuva	Perfil chuva ¹	Precipitação mm	duração	EI30 MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹
Avaliação 1					
25/11/05	10*	1	4	1h36min	3,1
25/11/05	11	1	46	17h	205,7
29/11/05	12	1	23	30h	164,5
1/12/05	1	1	7	12min	24,9
2/12/05	2	1	18	8h24min	66,7
3/12/05	3*	1	1	24min	0,3
6/12/05	4	1	41	28h12min	203,2
8/12/05	5*	1	1	3h36min	0,4
10/12/05	6	1	34	7h12min	188,3
12/12/05	7*	2	5	6h48 min	2,6
Acumulado	10		180		859,7
Avaliação 2					
13/12/05	8*	1	2	3h12min	1,4
16/12/05	9*	1	8	3h	21,4
18/12/05	10	1	20	17h4min	36,0
24/12/05	11	3	31	6h	306,2
25/12/05	12*	3	1	8h	0,4
30/12/05	13*	2	1	1h12min	0,3
1/1/06	1	1	29	3h48min	142,1
2/1/06	2*	2	6	17h	2,7
3/1/06	3*	1	1	12min	0,4
4/1/06	4	1	29	24h24min	80,0
6/1/06	5*	1	6	12h36min	2
Acumulado	11		134		592,9
Avaliação 3					
23/1/06	6*	3	5	48min	11,1
25/01/06	7	1	16	6h	49,3
26/01/06	8*	2	2	3h48min	0,6
27/01/06	9	1	40	9h36min	445,6
29/01/06	10	2	29	2h24min	279,5
31/01/06	11	1	14	3h48min	30,2
1/02/06	1	2	17	2h36min	3,1
Acumulado	7		123		819,4
Não avaliado					
2/2/06	2	1	16	2h24min	43,2
8/2/06	3	1	60	5h12min	917,9
9/2/06	4*	2	10	9h24min	18,7
10/2/06	5	1	14	4h	39,3
11/2/06	6	1	16	28h48min	15,3
12/2/06	7	1	25	11h48min	65,5
14/2/06	8*	3	10	4h36min	8,9
14/2/06	9	3	20	9h48min	116,2
15/2/06	10	1	18	12h48min	30,4
16/2/06	11	3	13	3h24min	58,2
17/2/06	12	2	34	1h0min	608,9
18/2/06	13*	2	1	0h24min	0,4
21/2/06	14	3	22	7h48min	76,1
Acumulado	13		259,0		1999,0
Avaliação 4					
23/02/06	15*	1	1	1h24 min	0,3
23/02/06	16	3	25	4 h	288,5
Acumulado	2		26	-	288,8
Total período			722		4.559,8

1/ Perfil chuvas: (1) avançado, (2) intermediário e (3) atrasado; * chuvas não erosivas (Cabeda, 1976).

4.5.2 Avaliação da Perda de Solo

Na Figura 19 estão os valores da perda de solo de quatro avaliações realizadas na voçoroca sem intervenção e três nas voçorocas em recuperação e recuperada. Nas três primeiras avaliações na voçoroca sem intervenção foram quantificados 33,9, 13,2 e 18,7 Mg ha⁻¹ de sedimentos, enquanto que na voçoroca em recuperação, a quantidade medida em cada avaliação foi de 1,3; 2,2 e 2,3 Mg ha⁻¹, resultando numa redução de 96, 83 e 88 % na perda de solo, respectivamente. Na voçoroca recuperada, a produção de sedimentos nesse período foi tão baixa que não pôde ser adequadamente quantificada (Figura 20).

Após as três primeiras avaliações o coletor da voçoroca sem intervenção encontrava-se completamente cheio e precisou ser esvaziado para que se pudesse continuar realizando as avaliações. Com isso, uma quarta avaliação foi realizada. A primeira chuva erosiva após o esvaziamento foi suficiente para encher todo o coletor novamente, sendo quantificado nesta avaliação, 60 Mg ha⁻¹ de solo.

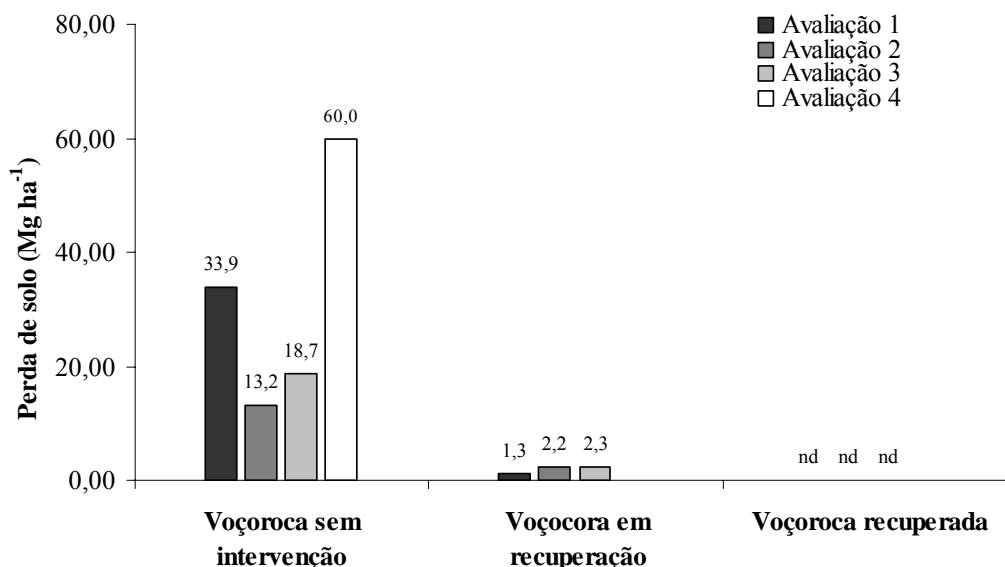


Figura 19: Perda de solo em diferentes avaliações níveis de controle da erosão em voçorocas.



Figura 20: Vista do coletor de sedimentos vazio na voçoroca recuperada, contendo serapilheira e água, em 24 de janeiro de 2006, próximo à terceira avaliação.

Um dos motivos principais para esse grande volume de sedimentos na quarta avaliação, em uma única chuva erosiva, foi devido ao desmoronamento de taludes dessa voçoroca, com desprendimento de grande quantidade de material depositado sobre o leito da voçoroca, ficando sujeito ao transporte pelo fluxo erosivo (Figura 21). As características da chuva parecem ter contribuído também para essa maior perda. Tal chuva apresentou erosividade de $288,5 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$, e quanto ao perfil de precipitação, foi classificada como atrasado (3), o qual é relatado na literatura como o que causa maior potencial de carreamento por ocorrer em momento em que o solo já se encontra com muita umidade, e assim, de fácil desprendimento e transporte.



Figura 21: Desmoronamento de talude da voçoroca em recuperação. À esquerda, foto em 24/01/06 e à direita em 25/02/06.

Deve-se ressaltar que os valores de EI_{30} na erosão em voçorocas nem sempre ajudam a explicar a perda de solo, que também está fortemente associada ao desmoronamento de taludes o que acaba tornando o material disponível para carreamento em cada evento muito variável, dificultando assim estabelecer correlações.

Resultados de perda de solo em voçorocas são praticamente inexistentes na literatura, bem como, no que diz respeito a avaliação da eficiência de métodos de recuperação, o que impossibilita a comparação do estudo com os de outros autores. O único trabalho encontrado sobre quantificação de perda de solo em voçorocas foi o de um estudo realizado em Piracicaba-SP, desenvolvido por Montolar-Sparovek et al. (1999), que registraram uma perda média de $12,7 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ em 16 voçorocas estudadas. Nesse trabalho, a avaliação da perda de solo foi feita pela quantificação da perda de sulcos no entorno, e desse modo não foi considerada a perda de solo proveniente do desmoronamento de taludes, o que sugere que os dados desses autores estão subestimados.

Embora nas três primeiras avaliações não tenha sido observado sedimentos na voçoroca recuperada, no final do período chuvoso (em abril) se constatou um acúmulo no coletor que foi quantificado em 2,7 Mg de sedimentos. Essa perda de solo nessa voçoroca parece estar relacionada a eventos de alta erosividade que ocorreram no mês de fevereiro e março de 2006.

Deve-se considerar no entanto, que a perda nessa voçoroca, representa todo material retido no coletor no período chuvoso, que mesmo assim, é inferior ao encontrado na voçoroca em recuperação em metade desse período e pouco mais de 1 % do valor encontrado na voçoroca sem intervenção. Deve-se ressaltar que nessa última voçoroca, além da avaliação não ter considerado todo o período chuvoso, devido o enchimento dos coletores, acredita-se

ter ocorrido muitas perdas de sedimentos mais finos, que extravasaram os coletores, subestimando assim os resultados aqui apresentados.

Somando os valores obtidos em todas as avaliações, sem relacionar com a área de captação (por não ter sido realizado levantamento topográfico na voçoroca recuperada), registrou-se uma perda de 195, 4,5 e 2,72 Mg de solo nas voçorocas sem intervenção, em recuperação e recuperada, respectivamente (Figura 22). Isso resulta em uma redução na produção de sedimentos de 98 % na voçoroca em recuperação e 99 % na voçoroca recuperada em relação a sem intervenção, comprovando a eficiência das práticas de controle.

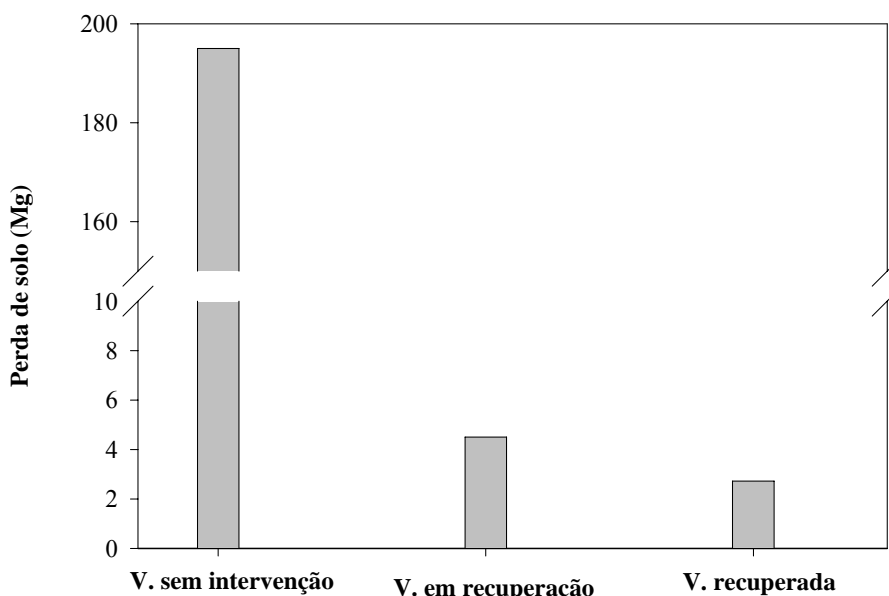


Figura 22: Perda total de solo nas três voçorocas em estudo no verão 2005/2006.

Ressalta-se que esses resultados apresentados devem ser vistos com cautela, pois os diferentes ambientes apresentam algumas características que não são exatamente iguais tais como, a forma das vertentes, área de captação, etc., e a padronização dos dados não é um procedimento simples por envolver estudos mais detalhados. No entanto, devido a magnitude das diferenças, pode-se inferir com segurança sobre a alta eficiência da técnica.

4.5.3 Atributos Físicos dos Sedimentos Coletados nas Voçorocas

a) Densidade

Na Tabela 15 estão os resultados da densidade dos sedimentos depositados no coletor da voçoroca sem intervenção, em função da avaliação realizada e do tipo de material (textura grossa e fina). O sedimento de textura fina foi aquele que passou pelo compartimento do coletor construído de bambu e tela clarite, como filtro, para retenção de sedimentos.

Observa-se que no geral, a densidade do sedimento fino foi menor que o sedimento de textura mais grosseira. Em relação à densidade dos sedimentos por avaliação, os resultados foram relativamente próximos para cada classe de textura expedita, mesmo se tratando dos sedimentos serem resultado de uma mistura de solo de diferentes posições do perfil que sofreu lavagem através do fluxo de água da erosão.

Tabela 15: Densidade e umidade gravimétrica dos sedimentos na voçoroca sem intervenção, em função da textura expedita.

Avaliações realizadas	Sedimento grosso (kg dm ⁻³)	% Ug	Sedimento fino (kg dm ⁻³)	% Ug
1	1,32	21,20	1,02	48,00
2	1,25	11,57	0,88	46,23
3	1,30	13,69	1,11	21,75
4	1,22	5,85	-	-

Na voçoroca em recuperação (Tabela 16), os sedimentos também apresentavam textura mais fina como resultado da filtragem do material na paliçada com sacos de ráfia e muita umidade no momento da amostragem. Analisando-se o perfil do sedimento depositado, as médias de densidade mostram uma pequena variação, que pode estar relacionada com a granulometria do material, com maior quantidade de areia.

Na voçoroca recuperada a densidade dos sedimentos apresentaram valores semelhantes à voçoroca em recuperação e apresentavam muita umidade na coleta.

Tabela 16: Densidade e umidade gravimétrica dos sedimentos coletados nas voçorocas em recuperação e recuperada.

Avaliações	Densidade do solo kg dm ⁻³	Umidade gravimétrica %	Camadas (cm)	Densidade do solo kg dm ⁻³	Umidade gravimétrica %
Voçoroca em recuperação*					
1	1,1	51,6	0-10	0,86	57,6
2	0,94	39,45	10 - 20	0,98	36,2
3	1,05	15,89	20 - 30	1,02	17,14
Voçoroca recuperada					
1	1,01	55,15	0 - 10	0,96	54,67
-	-	-	10 - 20	1,17	46,87
-	-	-	20 - 30	0,90	63,92

*Referentes à avaliação 2.

b) Granulometria

A Tabela 17 apresenta a granulometria realizada na parte delimitada (sedimento grosso) e não delimitada (sedimento fino) do coletor da voçoroca sem intervenção. De acordo com essa tabela, observa-se que nas duas primeiras avaliações, os sedimentos finos e grossos diferiram de forma significativa entre si em praticamente todas as frações granulométricas.

O sedimento fino apresentou maior teor de argila e silte e menor de areia como resultado da filtragem na tela clarite implantada no cercado de bambu. Na terceira avaliação no entanto, somente para areia grossa a diferença entre os sedimentos foi significativa. Esse resultado se deve ao fato de ter havido enchimento da caixa coletora e daí os sedimentos dessa avaliação deixaram de ser filtrados no clarite.

Tabela 17: Granulometria dos sedimentos nas áreas delimitadas (sedimento “grosso”) e não delimitadas (sedimento “fino”) nas três primeiras avaliações e sem compartimentalização (avaliação 4) no coletor da voçoroca sem intervenção.

Fração granulométrica	Avaliação 1		Avaliação 2		Avaliação 3		Avaliação 4
	grosso	fino	grosso	fino	grosso	fino	grosso+fino
	.....g kg ⁻¹						
Areia grossa	626 a	240 b	645 a	90 b	704 a	649 b	715
A. fina	118 b	272 a	152 a	191 a	132 a	151 a	91
A. total	744 a	512 b	797 a	281 b	836 a	800 a	806
Silte	79 b	243 a	63 b	433 a	37 a	69 a	55
Argila	177 b	245 a	140 b	286 a	127 a	131 a	139

Médias de mesma letra nas linhas para cada avaliação (colunas), não diferem entre si pelo teste t de Bonferroni (5 %). Valores médios de 3 repetições em função da camada depositada (a cada 10 cm). Área delimitada do coletor: Avaliação 1 (0-50 cm), Avaliação 2 (0-30 cm), Avaliação 3 (0-20 cm) e na Avaliação 4 (0-70 cm). Área não delimitada (fino): Avaliação 1, 2 e 3 (0-30 cm).

Os resultados da classificação da voçoroca sem intervenção quanto à classe textural dos sedimentos “finos e grossos”, estão apresentados na Tabela 18. Como pode ser observado, a classe textural dos sedimentos que ficaram retidos na tela clarite (“sedimentos grossos”) mais aqueles da avaliação 4, variou de franco arenosa a arenosa. Ao longo das avaliações, a quantidade de argila tendeu a diminuir, indicando sua remoção pela enxurrada à medida que as chuvas de verão vão se sucedendo.

Em relação ao “sedimento fino”, observa-se que nas duas primeiras avaliações esse apresentou-se mais fino, e foi classificado nas classe franco argilo arenosa e franco argilosa, respectivamente. Já os sedimentos da terceira avaliação foram mais arenosos, classificando como franco arenoso. Nessa última avaliação a parte delimitada do coletor já se encontrava cheia, e com isso, os sedimentos não estavam mais sendo filtrados na tela clarite, para a parte não delimitada, resultando em um material misto e sob a ação de remoção de partículas mais finas pela erosão.

Tabela 18: Classe textural dos sedimentos em cada avaliação na voçoroca sem intervenção.

Fração granulométrica	Avaliação 1		Avaliação 2		Avaliação 3		Avaliação 4
	grosso	fino	grosso	fino	grosso	Fino	grosso+fino
Classe textural	Franco arenosa	Franco argilo arenosa	Franco arenosa	Franco argiloso	Areia franca	Franco arenosa	Areia franca

Na voçoroca em recuperação os sedimentos analisados apresentaram uma granulometria distinta da encontrada na voçoroca sem intervenção (Tabela 19). Nessa voçoroca houve a predominância de frações mais finas como argila e silte, onde na primeira avaliação estas somaram cerca de 90 % do total, classificando-se na classe textural franco argilo siltosa.

Este material com textura mais fina observado nos sedimentos dessa voçoroca, comparado com a voçoroca sem intervenção, pode ser explicado pelo menor fluxo da enxurrada atuante após a implantação das práticas físicas, e também, devido a filtragem dos sedimentos nas paliçadas com sacos de ráfia, implantados internamente na linha de drenagem da voçoroca.

No entanto, ao longo das avaliações ocorreu a diminuição dessas frações mais finas, e conseqüentemente, aumento das frações mais grossas como areia, semelhante ao observado na voçoroca sem intervenção, o que pode ser explicado pela “lavagem” do sedimento devido o fluxo de enxurrada no coletor. Mesmo assim, na última avaliação, a textura ainda permaneceu

na classe textural franca. Na voçoroca recuperada a textura dos sedimentos no coletor foi classificada na classe textural franco arenosa.

Tabela 19: Granulometria dos sedimentos coletados nas voçorocas em recuperação e recuperada (média de três repetições \pm erro padrão).

Avaliações	Areia			Silte	Argila	Classe textural
	grossa	fina	total			
.....g kg ⁻¹						
Voçoroca em recuperação						
1	30,5 \pm 15,1	72,0 \pm 18,0	102,5 \pm 29,0	545,5 \pm 26,5	352,0 \pm 8,5	Franco argilo siltosa
2	187,4 \pm 62,2	174,1 \pm 26,4	361,6 \pm 66,0	368,9 \pm 52,4	269,5 \pm 16,6	Franca
3	471,4 \pm 74,8	171,8 \pm 21,2	643,2 \pm 58,5	178,9 \pm 47,7	177,8 \pm 20,1	Franco arenosa
Média	260,0 \pm 56,0	155,3 \pm 17,1	415,3 \pm 60,0	333,0 \pm 43,5	251,7 \pm 18,5	Franca
Voçoroca recuperada						
Única	521 \pm 42	238 \pm 24	759 \pm 59	177 \pm 46	64 \pm 13	Franco arenosa

A granulometria dos sedimentos é variável e sofre influência direta das práticas de contenção, intensidade das chuvas e do tempo, uma vez que parece haver uma tendência das partículas mais finas serem carregadas primeiro. Mas deve-se ressaltar que é possível que nem sempre essa premissa seja verdadeira em função de novos desabamentos que podem ocorrer dentro das voçorocas, apresentando novo material, com características diferentes, a ser carregado.

Outro ponto a ser destacado é a presença de cascalhos e calhaus (Figura 23) material carregado que, possivelmente, depende da sua disponibilidade na área e da intensidade do fluxo erosivo.



Figura 23: Aspecto de partículas mais grosseiras nos sedimentos da erosão, no coletor da voçoroca sem intervenção.

4.5.4 Atributos Químicos dos Sedimentos

a) Nutrientes pseudo-totais

A Tabela 20 apresenta o teor de alguns nutrientes contidos nos sedimentos coletados na voçoroca sem intervenção. Os resultados estão divididos em textura grossa e fina, conforme já comentado no material e métodos.

Os sedimentos de textura mais grossa apresentaram maior concentração de nutrientes que o de textura mais fina confirmando que o tipo de amostragem foi importante para o cálculo da perda, de modo a ter maior precisão na estimativa. Esse maior teor de nutrientes no material mais grosseiro pode ser explicado pela maior quantidade de minerais primários e secundários nos sedimentos, na fração areia.

Tabela 20: Teor de nutrientes pseudo-totais e totais, e densidade do solo na área delimitada (“sedimento grosso”) e não delimitada (“sedimento fino”) no coletor da voçoroca sem intervenção nas três primeiras avaliações (médias de 3 repetições).

Atributos	Sedimento grosso	Sedimento fino
	.....g kg ⁻¹	
Ca	0,11 a	0,06 b
Mg	5,54 a	3,86 b
K	6,12 a	4,37 b
P	0,14 a	0,12 b
Ctotal	1,93 a	0,92 b
Ntotal	0,27 a	0,21 b
Ds (kg dm ⁻³)	1,00 b	1,30 a
Relação C/N	7,03 a	4,10 b

Médias seguidas de letras diferentes nas linhas diferem entre si pelo teste t de Bonferroni (5%);

A Tabela 21 apresenta a concentração dos nutrientes perdidos na voçoroca sem intervenção em cada compartimento e em cada avaliação realizada. Constatou-se variações dos teores de nutrientes, presentes nos sedimentos, ao longo das avaliações, não sendo possível determinar nenhum comportamento padrão.

A Tabela 22 apresenta a concentração dos nutrientes nos sedimentos em função da altura depositada nas avaliações 1 e 4, avaliações essas onde se considerou ter ocorrido menores perdas no coletor. Essa análise foi realizada para avaliar se havia diferença na concentração dos nutrientes analisados ao longo da altura/profundidade dos sedimentos depositados. Como se observa, os teores de nutrientes, com exceção do magnésio na primeira avaliação e nos primeiros 20 cm, não apresentaram diferença ao longo das camadas. A partir dessa informação, optou-se por utilizar para o cálculo dos estoques de nutrientes perdidos junto com os sedimentos, um valor médio de teor de cada nutriente.

A Tabela 23 apresenta os teores dos nutrientes pseudo-totais até 30 cm de profundidade nas áreas de entorno, parte interna e nos sedimentos das voçorocas recuperada e sem intervenção.

Analisando os teores perdidos de K nos sedimentos, nota-se valores significativamente maiores em relação aos teores da área de entorno e parte interna da voçoroca sem intervenção.

Para P (com exceção da camada de 10-20 cm na voçoroca recuperada) e C as médias dos teores não apresentaram diferenças significativas, embora seja observada uma tendência de maiores valores na área de entorno. A ausência de diferenças significativas pode ser devido aos altos valores de coeficiente de variação observados.

Tabela 21: Teores de nutrientes pseudo-totais e totais e densidade do solo na área delimitada (sedimento grosso) e não delimitada (sedimento fino) do coletor, em cada avaliação realizada na voçoroca sem intervenção.

Atributo	Avaliação						
	1		2		3		4
	grosso	fino	grosso	fino	grosso	fino	grosso
	.....g kg ⁻¹						
Ca	0,08	0,06	0,09	0,06	0,16	0,07	0,12
Mg	6,14	3,96	4,88	3,98	5,79	3,45	3,94
K	7,10	4,27	5,51	4,58	6,36	4,32	4,62
P	0,14	0,11	0,20	0,08	0,07	0,18	0,1
Ctotal	1,93	1,17	2,63	0,68	1,23	0,65	0,15
N total	0,29	0,24	0,33	0,20	0,18	0,18	0,65
Ds (kg dm ⁻³)	1,02	1,32	0,88	1,25	1,11	1,3	1,22
C/N	6,59	4,79	7,86	3,31	6,51	3,56	3,73

Tabela 22: Teores dos nutrientes pseudo-totais e totais ao longo da camada de sedimentos coletada na voçoroca sem intervenção

Avaliação	Profundidade (cm)				
	0 - 10	10 - 20	20 - 30	30 - 40	40 - 50
	.....g kg ⁻¹				
	Ca				
1	0,08 a	0,08 a	0,04 a	0,05 a	0,04 a
4	0,10 a	0,14 a	0,15 a	0,13 a	0,11 a
	Mg				
1	5,78 a	6,00 a	2,35 b	2,64 b	3,04 b
4	3,05 a	3,73 a	4,57 a	4,46 a	4,357 a
	K				
1	6,21 a	6,35 a	2,56 a	3,24 a	3,01 a
4	4,36 a	4,55 a	3,92 a	5,43 a	4,95 a
	P				
1	0,19 a	0,17 a	0,07 a	0,05 a	0,08 a
4	0,06 a	0,10 a	0,19 a	0,08 a	0,08 a
	C total				
1	1,20 a	1,60 a	0,63 a	1,07 a	1,37 a
4	0,27 a	0,77 a	0,63 a	0,77 a	0,70 a
	N total				
1	0,23 a	0,23 a	0,20 a	0,23	0,27 a
4	0,13 a	0,17 a	0,17 a	0,20	0,20 a
	Relação C/N				
1	5	7	3	5	5
4	2	5	4	4	4

Médias seguidas de mesma letra nas linhas para cada avaliação não diferem entre si pelo teste t de Bonferroni (5 %).

Para nitrogênio, o teor na área de entorno foi superior às demais áreas para a camada de 0-10 cm, evidenciando a contribuição das leguminosas fixadoras de nitrogênio implantadas na área, no aporte de N. Quanto à relação C/N nessa voçoroca, na parte interna os valores foram próximos de 10:1 indicando a importância do nitrogênio para o enriquecimento do carbono do solo (Sisti, 2004). Na área de entorno os resultados nas camadas de 10-20 e 20-30

cm foram considerados atípicos e podem estar relacionados com a presença de carvão oriundo da queima ocorrida na área 2 anos após a revegetação.

Na voçoroca sem intervenção, somente para o K foi encontrado diferenças significativas entre os teores nos sedimentos e nas demais áreas amostradas, mostrando que há um enriquecimento desse elemento nos sedimentos desta voçoroca. Já para P, os sedimentos apresentam uma tendência de menores teores que nas áreas de entorno e parte interna.

De acordo com Unamba-Oparah (1985), citado por Melo et al. (2004), a maior quantidade de K nos sedimentos oriundos do horizonte C está relacionado com os minerais que ainda não foram intemperizados. Sobre as formas de K nos solos, Melo et al. (2004) citam trabalhos em que grande parte das reservas de K, o Ktotal, está na fase mineral e os minerais mais comuns como fontes desse nutriente são as micas e os feldspatos com a seguinte ordem crescente de facilidade de liberação: biotita, ortoclásio, microclína e muscovita.

Tabela 23: Teores pseudo-totais e totais de nutrientes no entorno das voçorocas (terço médio), parte interna e sedimentos das voçorocas recuperada e sem intervenção (médias de três repetições).

Profundidade (cm)	Voçoroca recuperada			Voçoroca sem intervenção		
	entorno	parte interna	sedimentos	entorno	parte interna	Sedimentos ¹
.....g kg ⁻¹						
K						
0-10	10,41 ab	4,644 b	11,747 a	0,198 b	0,557 b	4,362 a
10-20	4,19 a	3,673 a	9,373 a	0,231 b	0,140 b	4,552 a
20-30	1,483 b	2,408 b	10,028 a	0,224 b	0,254 b	3,918 a
CV (%)	88,46					
P						
0-10	0,179 a	0,130 a	0,141 a	0,263 a	0,255 a	0,064 a
10-20	0,847 a	0,146 b	0,073 b	0,345 a	0,306 a	0,096 a
20-30	0,257 a	0,109 a	0,126 a	0,282 a	0,369 a	0,186 a
CV (%)	112,87					
Ctotal ²						
0-10	9,367 a	3,367 a	1,200 a	6,900	-	0,730
10-20	6,867 a	2,733 a	1,933 a	5,000	-	1,180
20-30	2,633 a	2,067 a	2,200 a	5,000	-	0,630
CV (%)	126,62					
Ntotal ²						
0-10	0,700 a	0,353 b	0,160 b	0,570	-	0,190
10-20	0,217 a	0,300 a	0,253 a	0,480	-	0,210
20-30	0,150 a	0,263 a	0,280 a	0,400	-	0,180
CV (%)	74,25					
Relação C/N						
0-10	13	10	8	12	-	4
10-20	32	9	7	8	-	6
20-30	17	8	8	9	-	3

1/ Médias referentes à 4ª avaliação; 2/ Os valores de C e N total para a área de entorno da voçoroca sem intervenção foram tomados da voçoroca em recuperação (mesmo tempo zero) como referência (médias de 4 repetições). Médias seguidas de mesma letra nas linhas para cada profundidade e voçoroca não diferem entre si pelo teste t de Bonferroni (5%).

A Tabela 24 mostra os estoques de nutrientes do entorno e parte interna das voçorocas recuperadas e em recuperação. Analisando os nutrientes das voçorocas recuperada e sem

intervenção observa-se que o estoque de K no entorno da voçoroca recuperada foi significativamente superior em relação à parte interna para 0–10 cm, e quase o dobro nos primeiros 30 cm.

Em relação ao N, exceto de 0-10 cm, os estoques entre o entorno e parte interna nas demais profundidades avaliadas foram relativamente semelhantes. Isso evidencia que as leguminosas implantadas na área de entorno e parte interna da voçoroca, vem contribuindo para elevar o estoque de N nessas áreas, através da deposição de serapilheira das plantas.

Em relação a K e P na voçoroca sem intervenção, o estoque na camada superficial de 30 cm do solo, em uma área de 1 m², corresponde há 218 g desses nutrientes. Desconsiderando as diferenças nas formas e concentrações desses elementos no solo e utilizando a informação de suas perdas nos sedimentos dessa voçoroca, que foi de 965,6 kg (ver Tabela 26), pode-se inferir que o potencial de perda de nutrientes nessa voçoroca, foi equivalente ao contido em uma camada de 13 cm de espessura em uma área de 1 ha. Deve-se destacar que este valor é somente uma parte do que é perdido a cada período de verão numa voçoroca com as características semelhantes a do estudo. Isso dá a dimensão da perda ocorrida nessas áreas, além de todas as outras conseqüências negativas desse tipo de erosão.

Tabela 24: Estoque de nutrientes pseudo-totais e totais no entorno (terço médio) e parte interna das voçorocas recuperada e sem intervenção (médias de 3 repetições).

Profundidade (cm)	Voçoroca recuperada		Voçoroca sem intervenção	
	entorno	dentro	entorno	dentro
.....g m ⁻²				
K				
0-10	1.249,81 a	568,72 b	23,98 a	65,33a
10-20	592,96 a	412,78 a	34,12 a	14,53 a
20-30	204,47 a	281,70 a	34,48 a	24,48 a
Soma	2.047,23	1.263,20	92,58	104,34
CV (%)	151,78			
P				
0-10	23,67 a	14,62 a	31,91 a	26,92 a
10-20	17,14 a	15,58 a	50,43 a	32,20 a
20-30	35,978 a	13,18 a	43,09 a	36,08 a
Soma	76,78	43,39	125,43	95,19
CV (%)	120,52			
Ctotal				
0-10	1.110,27 a	369,77 a	-	-
10-20	1.021,63 a	270,20 a	-	-
20-30	365,80 a	233,00 a	-	-
Soma	2.497,70 a	872,97 a	-	-
CV (%)	129,30			
Ntotal				
0-10	83,77 a	38,71 a	-	-
10-20	31,84 a	30,92 a	-	-
20-30	21,22 a	30,77 a	-	-
Soma	136,83 a	100,40 a	-	-
CV (%)	67,80			
Relação C/N				
0-10	13	10	-	-
10-20	32	9	-	-
20-30	17	8	-	-

Médias seguidas de mesma letra para cada profundidade e voçoroca não diferem ente si pelo teste t de Bonferroni a 5%.

Analisando a relação entre K trocável e P disponível quanto ao estoque pseudo-total na área de entorno, verifica-se que para potássio, o estoque trocável representa menos de 1% do pseudo-total, e para P, como o estoque disponível é muito baixo, não pôde ser determinado (Tabela 25). Esses resultados de K são concordantes com Mielniczuk (1977), que afirma que nos solos brasileiros o Ktotal é constituído de 90 a 98 % em formas estruturais e o K trocável, contribui para o K total de 2 a 8 %.

Na parte interna da voçoroca, a relação entre K trocável e pseudo-total foi menor que na área de entorno. Nesse local, o estoque na forma de K trocável corresponde à cerca de 2 % do pseudo-total, o que indica que a maior quantidade de K se encontra em formas pouco trocáveis do elemento, como minerais primários e secundários de origem de horizontes subsuperficiais devido aos desabamentos de taludes. Para fósforo, o comportamento foi similar à área de entorno.

Tabela 25: Teores e estoques de K pseudo-total e trocável e P pseudo-total e disponível no entorno e parte interna da voçoroca recuperada.

Profundidade (cm)	Teores (g kg ⁻¹)		Estoques (g m ⁻²)	
	Pseudo-total	Trocável/ Disponível	Pseudo-total	Trocável/ Disponível
Entorno				
K				
0-10	10,41	0,05	1.249,81	6,03
10-20	4,19	0,01	592,96	1,28
20-30	1,48	0,01	204,47	1,03
Soma	16,08	0,07	2.047,23	8,34
P				
0-10	0,18	0	23,67	0
10-20	0,85	0	17,14	0
20-30	0,26	0	35,97	0
Soma	1,29	0	76,78	0
Parte interna				
K				
0-10	4,64	0,10	568,72	11,50
10-20	3,67	0,07	412,78	7,83
20-30	2,41	0,04	281,70	4,50
Soma	10,72	0,21	1.263,20	23,83
P				
0-10	0,13	0	14,62	0
10-20	0,15	0	15,58	0
20-30	0,11	0	13,18	0
Soma	0,39	0	43,39	0

A Tabela 26 apresenta a quantidade de nutrientes perdidos nos sedimentos das voçorocas sem intervenção e em recuperação, nas avaliações realizadas. Conforme pode ser observado, na primeira e quarta avaliações as perdas foram maiores que nas demais, tendo em vista a maior quantidade de sedimentos.

Os elementos K e Mg foram, em todas as avaliações realizadas, os nutrientes perdidos em maior quantidade, em razão da maior concentração nos sedimentos, como resultado da maior abundância desses elementos no material de origem no solo.

Na voçoroca sem intervenção a ordem decrescente de perda de nutrientes foi K > Mg > P > Ca > C > N, enquanto que na voçoroca em recuperação, este comportamento foi K > Mg > C > P > Ca > N. Essas diferenças parecem estar associadas a granulometria do material.

Analisando a perda total de K e Mg nas quatro avaliações de sedimentos na voçoroca sem intervenção, observa-se que do total de 195 Mg de solo perdidos no período avaliado, foram carregados juntos, quase 1,77 Mg desses nutrientes, o que permite fazer uma comparação aproximada de que para cada 100 Mg de solo perdido nessa voçoroca, seguem juntos quase 1 tonelada de K e Mg na forma pseudo-total.

Embora a perda desses dois elementos esteja na forma pseudo-total, essa quantidade está subestimada em função do estoque dos sedimentos coletados representarem somente um período do verão. Em adição a isso, deve-se ressaltar a perda ocorrida na água escoada que carrega boa parte dos nutrientes mais solúveis juntamente com aqueles associados às partículas mais finas em suspensão.

Desconsiderando a heterogeneidade existente entre os dois ambientes, conclui-se que as medidas de controle da erosão utilizadas através de práticas físicas, por si só foram capazes de reduzir a perda de nutrientes em mais de 90 % ao longo das três 3 avaliações, comparando com a voçoroca sem intervenção.

Em relação a perda total quantificada nas 3 voçorocas, essa redução nas voçorocas em recuperação e recuperada foi de mais de 96 % quando comparada à voçoroca sem intervenção.

Tabela 26: Perda total de nutrientes pseudo-total e total nas três voçorocas em estudo no verão de 2005/2006.

Avaliação	Ca	Mg	K	P	C*	N*
kg						
Voçoroca sem intervenção						
1	3,42	236,70	261,43	6,18	7,14	1,33
2	1,34	86,45	97,28	2,33	2,47	0,48
3	3,19	131,50	152,75	3,77	2,66	0,52
4	10,7	368,68	432,69	9,17	6,08	1,40
Sub-total (1 a 3)	7,95	454,65	511,46	12,28	12,27	2,33
Total	18,71	823,33	944,15	21,45	18,36	3,73
Voçoroca em recuperação						
1	0,32	4,32	6,30	0,13	0,41	0,04
2	0,35	10,60	11,01	0,47	0,44	0,05
3	0,17	11,76	13,22	0,34	0,22	0,03
Total	0,84	26,68	30,53	0,93	1,07	0,12
Voçoroca recuperada						
única	1,32	35,06	29,44	0,30	0,45	0,06
Total	1,32	35,06	29,44	0,30	0,45	0,06

*Nutrientes totais

Esses resultados indicam o potencial de perda de nutrientes em área de voçorocas, reforçando que a baixa fertilidade da área hoje é fruto desse processo histórico de remoção de nutrientes. Os sedimentos e nutrientes removidos pela erosão são acumulados nas áreas mais baixas das encostas em função das características do seu transporte pela enxurrada, onde parte desses está chegando até o rio Paraíba do Sul, contribuindo não somente para seu assoreamento, mas também para o processo de eutrofização, já perceptível em reservatórios da Light em Piraí, onde a quantidade de plantas aquáticas recobrimo o espelho d' água vem crescendo anualmente.

4.5.5 Custo da Perda de Nutrientes na Erosão em Voçorocas

A Tabela 27 apresenta as quantidades perdidas dos nutrientes pseudo totais Ca, K, P e N, nas respectivas formas químicas dos fertilizantes comerciais, e o custo dessas perdas nas voçorocas em estudo, com base nos nutrientes pseudo-totais dos sedimentos.

Em relação ao valor econômico das perdas de nutrientes, excluindo o magnésio, que normalmente não apresenta reposição comercial, observa-se que as maiores perdas ocorreram para K e P, devido aos seus maiores teores nos sedimentos.

Comparando os resultados da voçoroca sem intervenção com as voçorocas em recuperação com práticas físicas, e a voçoroca recuperada com práticas físicas e biológicas, têm-se uma redução nas perdas econômicas de nutrientes pseudo-totais carregados sedimentos de 96 e 99 %, respectivamente.

Em relação ao custo das perdas de nutrientes no período estudado, a quantidade dos macronutrientes: Ca, Mg, K, P (pseudo-total) e N total na voçoroca sem intervenção, foi de 1.811 Kg em 1.145 m² de voçoroca, o que corresponde a um custo superior a R\$ 2.190,60 para reposição direta desses nutrientes.

Ao considerar a perda em todo período de formação da voçoroca, tendo em vista que a a voçoroca sem intervenção apresenta uma cavidade de 10.718 m³ e a voçoroca em recuperação 6.500 m³ de volume, e assumindo a densidade do solo igual a 1 kg dm⁻³ e o teor médio dos nutrientes aquele obtido nas avaliações realizadas, a perda total e o custo dos nutrientes (pseudo-total) nessas voçorocas podem chegar a mais de 70 e 56 Mg, e com um custo de mais de R\$ 130.000,00 e 102.000,00, respectivamente.

Deve-se ressaltar que embora a diferença entre práticas físicas e biológicas tenha sido pequena, a não introdução de práticas biológicas implicaria em manutenção constante, como limpeza dos terraços e bacias de contenção, reconstrução de paliçadas, etc., o que aumentaria os custos a longo prazo e não atingiria o objetivo final que é o de tornar a necessidade de intervenção humana o mais baixo possível, após a intervenção.

As práticas biológicas funcionam de forma complementar às físicas, havendo interceptação da água da chuva pelo dossel, formação de um ambiente de proteção do solo através da deposição de serapilheira que também funciona como uma “esponja” e filtro na retenção de água, e sedimentos carregados. Além disso, as raízes e troncos das árvores funcionam como barreiras físicas contra as enxurradas, reduzindo sua velocidade, e conseqüentemente, seu efeito abrasivo. Serve também de ancoramento para solos mais soltos como também aumento da resistência ao deslizamento de encostas, conforme Gray (1989).

Assim, o uso complementar de práticas biológicas se faz fundamental, uma vez que após a cobertura vegetal, não há mais a necessidade de refazer paliçadas internas e/ou efetuar manutenção freqüente de terraços. No caso das voçorocas em estudo, as paliçadas deixaram de ser feitas nos primeiros 18 meses após a intervenção.

Tabela 27: Custos dos nutrientes perdidos nas voçorocas.

Quantidade perdida e custo do nutriente e função da fonte	CaO	K₂O	P₂O₅	N	Total
Valor unitário do nutriente (R\$ kg ⁻¹)*	0,59 ^y	1,77 ^w	3,24 ^k	2,66 ^z	-
Voçoroca sem intervenção					
	Estimativa do período experimental				
Perda pseudo-total (kg)	26,19	1.132,98	49,34	3,73	1212,24
Perda trocável/disponível (kg)**	1,31	56,65	2,47	0,19	60,61
Valor perda pseudo-total (R\$)	15,45	2.005,37	159,85	9,92	2.190,60
Valor perda trocável/disponível (R\$)	0,77	100,27	7,99	0,50	109,53
	Estimativa da perda em todo período de formação da voçoroca				
Perda pseudo-total (kg)	1.349,63	67.019,06	3.130,55	240,39	71.739,63
Perda trocável/disponível (kg)**	67,48	3.350,95	156,53	12,02	3.586,98
Valor perda pseudo-total (R\$)	796,28	118.623,74	10.142,97	639,44	130.202,43
Valor perda trocável/disponível (R\$)	39,81	5.931,19	507,15	31,97	6.510,12
Voçoroca em recuperação					
	Estimativa da perda no período experimental				
Perda pseudo-total (kg)	1,18	36,64	2,14	0,12	40,07
Perda trocável disponível (kg)**	0,06	1,83	0,11	0,01	2,00
Valor perda pseudo-total (R\$)	0,69	64,85	6,93	0,32	72,79
Valor perda trocável/disponível (R\$)	0,03	3,24	0,35	0,02	3,64
	Estimativa da perda em todo período de formação da voçoroca				
Perda pseudo-total (kg)	1.859,69	51.775,44	2.899,25	184,17	56.718,54
Perda trocável/disponível (kg)**	92,98	2.588,77	144,96	9,21	2.835,93
Valor perda pseudo-total (R\$)	1.097,21	91.642,54	9.393,55	489,88	102.623,19
Valor perda trocável/disponível (R\$)	54,86	4.582,13	469,68	24,49	5.131,16
Voçoroca recuperada					
	Estimativa da perda no período experimental				
Perda pseudo-total (kg)	1,85	35,33	0,69	0,06	37,93
Perda trocável disponível (kg)**	0,09	1,77	0,03	0	1,90
Valor perda pseudo-total (R\$)	1,10	62,53	2,24	0,20	66,00
Valor perda trocável/disponível (R\$)	0,05	3,13	0,11	0,01	3,30

Fonte dos nutrientes: ^y/ calcário dolomítico (30 % CaO), ^w/ KCl (60 %), ^k/ super fosfato simples (20 %); ^z/ Uréia (45 %); */ Cotação de preços obtidos no Seropec Casa Agropecuária (Seropédica-RJ), fev/2007; **/ considerou-se a forma trocável/disponível equivalente a 5 % da pseudo-total.

4.6 CONCLUSÕES

O índice de erosividade EI_{30} e/ou volume de chuva total não explicaram a quantidade de sedimentos removidos das voçorocas estudadas;

A quantidade de solo perdido por erosão na voçoroca estudada sem intervenção foi de $125,8 \text{ Mg ha}^{-1}$ no período, associada a uma precipitação acumulada de 463 mm;

O uso de práticas físicas para proteção de curto prazo associadas a revegetação com leguminosas noduladas e micorrizadas reduziu em 99 % a perda de solo em voçorocas de alta atividade;

As perdas dos macronutrientes: Ca, Mg, K, P (pseudo-total) e N (total), na voçoroca sem intervenção, que tinha uma área de 1.145 m^2 , foram de 1.811 kg, equivalente a um valor superior a R\$ 2.190,00.

5. CONCLUSÕES GERAIS

A elevada espessura e instabilidade do horizonte C, aliado ao relevo acidentado da região e a forma das encostas, contribuíram para a grande perda de solo e nutrientes nas voçorocas estudadas.

O índice de erosividade EI_{30} e/ou volume de chuva total não explicaram a quantidade de sedimentos removidos das voçorocas estudadas.

A quantidade de solo perdido por erosão na voçoroca estudada sem intervenção foi de $125,8 \text{ Mg ha}^{-1}$ no período, associada a uma precipitação pluviométrica acumulada de 463 mm.

O uso de práticas físicas para proteção de curto prazo associadas a revegetação com leguminosas noduladas e micorrizadas reduziu em 99 % a perda de solo em voçoroca de alta atividade.

As perdas dos macronutrientes: Ca, Mg, K, P (pseudo-total) e N (total), na voçoroca sem intervenção, que tinha uma área de 1.145 m^2 , foram de 1.811 kg, o que equivale a um valor superior a R\$ 2.190,00, na reposição desses nutrientes.

A revegetação com leguminosas arbóreas noduladas e micorrizadas, além da eficiência em estabilizar o processo erosivo, contribui para o aumento da matéria orgânica no solo, podendo assim, melhorar a qualidade do sistema e ativar a sucessão natural, proporcionando formas de uso econômico às áreas ou adequação à legislação ambiental através da regeneração da vegetação em áreas declivosas de preservação permanente.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SABER, A. N. **Províncias geológicas e domínios morfo-climáticos no Brasil**. Geomorfologia, São Paulo, p. 1-26, 1970.

ALMEIDA, J. R. de. Erosão dos solos e suas conseqüências. **Informe agropecuário**, Belo Horizonte, v. 7, n. 80, p. 17-26, 1981.

AMORIM, R. S. S. **Desprendimento e araste de partículas de solo decorrentes de chuvas simuladas**. 1999. 75f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1999.

BAHIA, V. G. CURI, N.; CARMO, D. N. Fundamentos da erosão do solo. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 16, n. 176, p. 25-31, 1992.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 2. ed. São Paulo: Editora Ícone, 1993. 352p.

BOTELHO, R. G. M.; GUERRA, A. J. T. Erosão dos solos. In: CUNHA, S. B. da; GUERRA, A. J. T. **Geomorfologia do Brasil**. 3.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. p. 181-220.

BREMNER, J. M.; MULVANEY, C. S. Nitrogen total. In: Page, A. L.; MILLER, R. A.; KEENEY, D. R. (ed.) **Methods of soil analysis**. 2.ed. Madison: **American Society of Agronomy**, 1982. p. 595-624, (Agronomy, 9).

CABEDA, M. S. V. **Computation of storm EI value**. West Lafayette: Purdue University, 1976. 6p.

CAMPELLO, E. F. C. Sucessão vegetal na recuperação de áreas degradadas. In: DIAS, L. E; MELLO, J. W. V. de (Ed.). **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa: UFV, 1998. p. 183-194.

CARVALHO, D. F. de; MONTEBELLER, C. A.; FRANCO, E. M.; VALCARCEL, R.; BERTOL, I. Padrões de precipitação e índices de erosividade para as chuvas de Seropédica e Nova Friburgo-RJ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 1, p. 7-14, 2005.

CARVALHO, D. F. de; MONTEBELLER, C. A.; CRUZ, E. S. da; CEDDIA, M. B.; LANA, A. M. Q. Perda de solo e água em Argissolo Vermelho Amarelo, submetido a diferentes intensidades de chuva simulada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 3, p. 385-389, 2002.

CASTRO, O. M. de. Conservação do solo e qualidade dos sistemas produtivos. **O Agrônomo**, Campinas, v. 43, n. 2-3, p. 1-43, 1991.

CAVAGUTI, N. Análise global da erosão linear na área urbana de Bauru-SP. SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 5., Bauru. **Anais...** Bauru: Boletim de Campo, 1995. p. 301-304.

CEIVAP–Comitê para Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul – **Diagnóstico da situação atual dos recursos hídricos**. Rio de Janeiro. Fundação Coppetec/UFRJ/Agência Nacional das Águas (ANA), 2002. 8v.

CHAVES, H. M. L. Método estocástico para a estimativa da erosão em sulcos e voçorocas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 18, p. 285-294, 1994.

COELHO NETO, A. L. Hidrologia de encosta com a interface com a geomorfologia. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da (Ed.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. p. 93-148.

COGO, C. M.; ELTZ, F.L.F.; CASSOL. A.; SANTOS, M. V. Erosividade das chuvas de Uruguaiana-RS, determinada pelo índice EI₃₀, no período de 1963-1990. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 29., 2003, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: SBCS, 2003. CD-ROM.

DAEE-Departamento de águas e energia elétrica. **Controle de erosão: bases conceituais e técnicas; diretrizes para o planejamento urbano e regional; orientações para o controle de voçorocas urbanas**. São Paulo: DAEE/IPT, 1989. 92p.

DAY, P. R. Particle fractionation and particle size analysis. In: BLACK, C. A. (Ed.). **Methods soil analysis. American Society of Agronomy**, Madyson, n.1, p. 545-567. 1965.

DERPSCH, R.; SIDIRAS, N.; HEINZMANN, F. X. Manejo do solo com coberturas verdes de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília-DF. v. 20, p. 761-773. 1986.

DIAS, J. E. **Análise ambiental por geoprocessamento do município de volta redonda**. 1999. 180f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) - Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural Rio de Janeiro, Seropédica, 1999.

ELTZ, F. L. F.; CASSOL, E. A.; SCOPEL, I.; GUERRA, M. Perdas de solo e água por erosão em diferentes sistemas de manejo e coberturas vegetais em solo Laterítico bruno avermelhado distrófico (São Jerônimo) sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 8, n. 1, p. 117-125, 1984.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do abastecimento, 1997. 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de classificação de solos**. Brasília, CNPS, 1999. 412p.

FADIGAS, F. de S. **Estimativa das concentrações naturais (pseudo-total) de Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, e Zn em solos brasileiros e proposição de valores de referência utilizando técnicas da estatística multivariada**. 2002. 103f. Tese (Doutorado em Agronomia - Ciência

do Solo) - Instituto de Agronomia. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2002.

FAO-TERRASTAT. Land and Water Development Division. Terrastat-Land Resource Potential and Constraints Statistics. Terrastat database: **Land degradation severity and human-induced land degradation due to agricultural activities**. FAO. AGL. 2003. Disponível em: www.fao.org. Acesso em: 15 ago. 2005.

FARIAS, R. C.; CARVALHO, J. M. de; PALMEIRA, E. M. Sistema de barramentos para recuperação de e voçorocas. In: CARVALHO, J. C. de; SALES, M. M.; SOUZA, N. M.; MELO, M. T. da S. (Org.). **Processos Erosivos no Centro-Oeste Brasileiro**. Brasília: Finatec, 2006, v. 1, p. 387-425.

FENDRICH, R.; OBLADEN, N. L.; AISSE, M. M.; GARCIAS, C. M. **Drenagem e controle da erosão urbana**. Curitiba: Ibrasa Champagnat, 1988. p. 1-442.

FERREIRA, L. **Avaliação indireta da erodibilidade em solos com altos teores de ferro e aspectos relacionados com a mineralogia e micromorfologia**. 1992. 82f. Dissertação (Mestrado em Agronomia- Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 1992.

FIGUEIREDO, L. H. A.; BAHIA, V. G. Controle da erosão em terras não cultivadas. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 19, n. 191, p. 79-84, 1998.

FRANCO, A. A.; CAMPELLO, E. F. C.; MONTEIRO, E. M. R. da S.; FARIA, S. M. de. **Revegetação de solos degradados**. Seropédica, Embrapa Agrobiologia, 1992. p. 1-19 (Embrapa Agrobiologia. Comunicado Técnico, 9).

FRANCO, A. A.; DÖBEREINER, J. A biologia do solo e a sustentabilidade dos solos tropicais. **Summa Phytopathologica**, Piracicaba, v. 20, n. 1, p. 68-74, 1994.

FREIRE, L. R.; BLOISE, R. M.; MOREIRA, G. N. C.; EIRA, P. A. da. Análise química do solo. In: DE-POLLI, H. (COR.). **Manual de adubação para o estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: Editora UFRJ, 1988. n. 2., p.25-68.

GARCIA, S. L. R. **Estatística experimental**. Curso de extensão ministrado pela Faculdade de Viçosa. Viçosa: p. 1-130+. 2001.

GESTIN: Sistema de Gestão integrada da Bacia do Paraíba do Sul: Serviço de Informações da Bacia do Paraíba do Sul. Disponível em: <http://pbs.ana.gov.br>. Acessado em: 31/05/06.

GOULART, R. M. **Atributos de solos e comportamento de espécies florestais em processo de estabilização de voçorocas**. 2005. 91f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal – Manejo Ambiental) - Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 2005.

GRAY, D. H.; LEISER, A. T. **Biotechnical slope protection and erosion control**. Florida: Krieger Publishing Company Malabar, 1989. 271p.

GUERRA, A. J. T. Processos erosivos nas encostas. In: GUERRA, A. J. T. & CUNHA, S. B. da (Org.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. p.149-199.

GUERRA, J. A. T.; COELHO, M. C. N.; MARÇAL, M. dos S. Açailândia: cidade ameaçada pela erosão. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 138, p. 36-45, 1998.

HERNANI, L. C.; FREITAS, P. L.; PRUSKI, F. F.; De MARIA, I. C.; CASTRO FILHO, C.; LANDERS, J. C. A erosão e seu impacto. In: MANZATTO, C. V.; FREITAS JÚNIOR, E.; PERES, J. R. R. (Ed.). **Uso agrícola dos solos brasileiros**. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2002. p.47-60.

HORNER, W.W.; JENS, S. W. Surface runoff determination from rainfall without using coefficients. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 107, p. 1039-1117, 1941.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo demográfico brasileiro. Disponível em: [http://: www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br). Acesso em: 12 fev. 2007.

IZIDORIO, R.; MARTINS FILHO, M. V.; MARQUES JUNIOR, J.; SOUZA, Z. M. de; KEMPER, W. D.; ROSENAU, R. C. Aggregate stability and size distribution. In: Klute, A. (Ed.). *Methods of soil analysis*. **American Society of Agronomy, Soil Science Society of America**, Madison, 1986. p. 425-441.

KLAMT, E. Solos arenosos da região de Campanha no Rio Grande do Sul. In: PEREIRA, V. P.; CRUZ, M. E. (Ed.). **Solos altamente suscetíveis à erosão**. Jaboticabal: SBCS, 1994. p. 19-37.

KLUTE, A. Laboratory measurement of hydraulic conductivity of saturated soil. In: BLACK, C. A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Part 1. Madison, American Society of Agronomy, 1965. p.210-221.

LAL, R. Managing world soils for food security and environmental quality. **Advances in Agronomy**, Academic Press. v.74, p. 155-192, 2001a.

LAL, R. Soil degradation by erosion. **Land degradation & Development**, v 12, 519-539. 2001b.

LEPRUN, J. C. **A erosão, a conservação e o manejo do solo no Nordeste Brasileiro: balanço, diagnóstico e novas linhas de pesquisa**. Recife: SUDENE-DRN, 1981. 106p. (Série: Brasil. SUDENE, Recursos de Solos, 15).

LEPSCH, I. F. **Solos - Formação e Conservação**. 5 ed. São Paulo: Melhoramentos, 1994. v. 1., 157p.

MACÊDO, A. B. Panoramas da degradação de terras no Brasil. In: REBOUÇAS, A. da C. (Org.). **Panoramas da degradação do ar, da água doce e da terra no Brasil, Rio 92: cinco anos depois**. São Paulo: IEA/USP; Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 1997. p. 115-119.

MACEDO, J. R. de; CAPECHE, C. L.; SILVA MELO, A. da; MENEGUELLI, N. do A.; FRANCO, A. A. **Revegetação da área de contribuição e estabilização de voçorocas através de práticas mecânicas e vegetativas**. Pesquisa em andamento. Embrapa Solos. p. 1-6, 1998.

MACHADO, J. A.; BRUM, A. C. R. Efeito de sistemas de cultivo em algumas propriedades físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 2, n. 2, p. 81-84, 1978.

MACHADO, R. L.; RESENDE, A. S. de; CAMPELLO, E. F. C.; MENEZES, C. E. G.; SOUZA, C. M. de; FRANCO, A. A. **Recuperação de voçorocas em áreas rurais**. Seropédica, Embrapa Agrobiologia, 2006. p. 1-63 (Embrapa Agrobiologia. Sistemas de Produção, 4).

MACHADO, R. L.; RESENDE, A. S. de; FRANCO, A. A. Recuperação de voçoroca no município de Pinheiral-RJ empregando técnicas alternativas: atividades desenvolvidas, resultados preliminares de adubação de leguminosas arbóreas e custos envolvidos. In: SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE REGENERAÇÃO AMBIENTAL DE CIDADES: Águas Urbanas, 1., 2004, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABAP/IPP/PROARQ/FAU-UFRJ/EBA/IAB-RJ, 2005. CD ROM.

MACIAS, F.; CHESWORTH, W. Weathering in humid regions, with emphasis on igneous rocks and their metamorphic equivalents. In: MARTINI, I. P.; CHESWORTH, W. **Weathering, soils and Paleosols**. Amsterdam, Elsevier Science Publishers, 1992, p. 283-305.

MARQUES, J. Q. A. **Política de Conservação do Solo**. Ministério da Agricultura, 1949. 73 p. (Boletim SIA, Serviço de informação Agrícola, 734).

McGRATH, S. P.; CUNLIFFE, C. H. A simplified method for the extration of metals Fe, Zn, Cu, Ni, Cd, Pb, Cr, Co and Mn from soils and sewage sludges. **Journal Science Food Agriculture**, Barking, v. 36, p. 794-798, 1985.

MELO, V. F.; RIBEIRO, A. N.; MASCHIO, P. A.; CORRÊA, G. F.; LIMA, V. C. Mineralogia e formas de potássio e magnésio em diferentes classes de pesos e tamanhos da fração areia de solos do Triângulo Mineiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 219-231, 2004.

MENEZES, C. E. G. **Diagnóstico de degradação do solo em função da topografia e cobertura vegetal no município de Pinheiral-RJ**. 1999. 186f. Dissertação (Mestrado em Agronomia-Ciência do Solo) - Instituto de Agronomia. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 1999.

MENEZES, C. E. G.; ANJOS, L. H. C.; PEREIRA, M. G.; SOUZA, J. M. P. F.; TOLEDO, L. O. Influência da topografia e cobertura vegetal em propriedades edáficas em ambiente Mar de Morros, Pinheiral - RJ. **Revista Agronomia**, Seropédica, v. 34, p. 70-77, 2000.

MIELNICZUK, J. Formas de potássio em solos do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 1, p. 55-61, 1977.

MONTEBELLER, C. A. Variabilidade espacial do potencial erosivo das chuvas no Estado do Rio de Janeiro. 2005. 103f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Ciências do Solo) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2005.

MONTOLAR-SPAROVEK, R. B.; VIDAL-TORRADO, P.; SPAROVEK, G. Erosão em sulcos, entressulcos e voçorocas em uma microbacia de Piracicaba (SP) intensivamente cultivada. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 56, n. 4, p. 859-865. 1999.

MORAIS, F.; BACELLAR, L. A. P.; SOBREIRA, F. G. Análise da erodibilidade de saprolitos de gnaiss. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 1055-1062, 2004.

MUNIZ, L. da S.; VIEIRA, A. F. G.; OLIVEIRA, J. A. de. Erosão por voçorocas no distrito industrial II –MANAUS (AM). Disponível em: <http://www.igeo.uerj.br>. Acesso em: 25 set. 2005.

OLIVEIRA, J. A. **Caracterização física do Ribeirão Caximbal Pinheiral-RJ, e suas Principais paisagens degradadas**. 1998. 143f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) – Instituto de Florestas. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 1998.

OTTONI FILHO, T. B. Uma classificação físico-hídrica dos solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 211-222, 2003.

PARANÁ. Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento. **Manual técnico do subprograma de manejo e conservação do solo**. Curitiba, 1994. 372p.

PARCHEN, C. A. P.; BRAGAGNOLO, N. **Erosão e conservação de solos no Paraná**. Curitiba: EMATER, 1991. 16p.

PARZANESE, G. A. C. **Gênese e desenvolvimento das voçorocas em solos originados de rochas granitóides da região de Cachoeira do Campo, Minas Gerais**. 1991. 117f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Solos e nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1991.

PEREIRA, M. J. F. da C. História Ambiental do Café no Rio de Janeiro- Século XIX a transformação do capital natural e uma análise de desenvolvimento sustentável. In: Simpósio de história histórica: guerra e paz, 23., 2005. Londrina. **Anais...** Londrina: ANPUH/UUEL, 2005. Disponível em: www.anpuh.uepg.br. Acesso em: 31 mai. 2006.

PIRES, F. R.; SOUZA, C. M. de. **Práticas mecânicas de conservação do solo e da água**. 2. ed. Viçosa: Suprema Gráfica, 2006. 216p.

PROJETO RADAM BRASIL. Folhas. SF23/24. **Levantamento de recursos naturais**. Rio de Janeiro, 1983. v. 32., 775p.

PRUSKI, F. F.; GRIEBLER, N. P.; SILVA, J. M. A. da. Práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica. In: PRUSKI, F. F. **Conservação do solo e da água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. Viçosa: Editora UFV. 2006. p. 131–171.

REICHARDT, K. A água em sistemas agrícolas: **Infiltração da água no solo**. São Paulo: Editora Manole, 1990. p.79-111.

RESENDE, A. S. de; FRANCO, A. A.; MACEDO, M. O.; CAMPELLO, E. F. C. Leguminosas associadas a microrganismos como estratégia de recuperação de áreas degradadas. In: MANSUR, R. J.; NOGUEIRA, C.; ARAÚJO, E. de L.; WILLADINO, L. G.; CAVALCANTE, U. M. T. (Org.). **Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas**. Recife: MXM Gráfica e Editora, 2005. p. 475-489.

RESENDE, M. N. Aplicações de conhecimentos pedológicos à conservação de solos. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 11, n.128, p. 3-18, 1985.

RESENDE, M.; CURI, N.; RESENDE, S. B. de. CORRÊA, G. F. **Pedologia: base para distinção de ambientes**. Viçosa: UFV, 1995. 304p.

RESENDE, S. B.; RESENDE, M. Solos dos mares de morros: ocupação e uso. In: ALVAREZ, V. H.; FONTES, L. E. F; FONTES, M. P. F (Ed.). **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa: SBCS/UFV, 1996. p. 261-288.

RIBEIRO, J. C.; SALOMÃO, F. X. de T. Abordagem morfopedológica aplicada ao diagnóstico e prevenção de processos erosivos na Bacia Hidrográfica do Alto Rio da Casca/MT. **Geociências**, Rio Claro, v. 22, n. 1, p. 83-95, 2003.

ROCHA, W. W. **Resistência ao cisalhamento e estabilidade de taludes de voçorocas em solos da região de Lavras (MG)**. 2003. 101f. Tese (Doutorado em Agronomia - Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 2003.

ROQUE, C. G. **Erosividade da chuva: distribuição, probabilidade de ocorrência, período de retorno e correlação com o coeficiente de chuva para o município de Piraju-SP**. São Luiz: UEMA, 2002. 109p.

SALES, L. E. O.; FERREIRA, M. M.; OLIVEIRA, M. S. de; CURI, N. Estimativa da velocidade de infiltração básica do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 11, p. 2091-2095, 1999.

SALES, M. M.; CARVALHO, J. C. de; PALMEIRA, E. M. Controle de erosões. In: CARVALHO, J. C. de; SALES, M. M.; SOUZA, N. M.; MELO, M. T. S. (Org.). **Processos erosivos no Centro-Oeste brasileiro**. Brasília: FINATEC, 2006, v. 1, p. 427-464.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P. C.; FABRÍCIO A. C.; MACEDO, M.; BROCH, D.; GUTERRES, D. B. In: Matéria orgânica do solo e índices de manejo do carbono em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 30., 2005, Recife. **Anais ...** Recife: SBCS. 2005. CD ROM.

SANTOS, A. C.; SALCEDO, I. H. & CANDEIAS, A. L. B. Relação entre o relevo e as classes texturais do solo na microbacia de Vaca Brava (PB). **Revista Brasileira de Cartografia**, Pernambuco, v. 54, p. 86-94, 2002.

SANTOS, C. A.; SOBREIRA, F. G.; COELHO NETO, A. L. Comportamento hidrológico superficial e erodibilidade dos solos da região de Santo Antônio do Leite, Ouro Preto, MG.. **REM - Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 55, n. 4, p. 24-28, 2003.

SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. Manual **de descrição e coleta de solo no campo**. 5. ed. Viçosa-MG: Folha de Viçosa Ltda., 2005. v. 1., 100p.

SCHAEFER, C. E. R.; SILVA, D. D.; PAIVA, K. W. N.; PRUSKI, F. F.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R.; ALBUQUERQUE, M. A. Perda de solo, nutrientes, matéria orgânica e efeitos microestruturais em Argissolo Vermelho-Amarelo sob chuva simulada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 5, p. 669-678, 2002.

SEGANFREDO, M. L. ELTZ, F. L. F.; BRUM, A. C. R. Perdas de solo, água e nutrientes por erosão em sistemas culturais em plantio direto. **Revista Brasileira de ciência do solo**, Campinas, v. 21, 287-291, 1997.

SHEN, H. W.; LAI, J. S. Sustain reservoir useful life by flushing sediment. **International Journal of Sediment Research**, Beijing, v. 11, n. 3, p. 11-17, 1996.

SILVA, A. B. da; RESENDE, M.; SOUSA, A. R. de; MARGOLIS, E. Mobilização do solo, erosão e produtividade de milho e feijão em um Regossolo no Agreste de Pernambuco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 2, p. 299-307, 1999a.

SILVA, A. C. **Relação entre voçorocas e solos na região de Lavras (MG)**. 1990. 124f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 1990.

SILVA, A. C.; LIMA, J. M.; CURI, N. Relação entre voçorocas usos da terra, solos e materiais de origem na região de Lavras (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 17, p. 459-464, 1993.

SILVA, I. F. & MIELNICZUK, J. Avaliação do estado de agregação do solo afetado pelo uso agrícola. **Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, p. 313-319, 1997.

SILVA, A. B. da; RESENDE, M.; SOUSA, A. R. de; MARGOLIS, E. Mobilização do solo, erosão e produtividade de milho e feijão em um Regossolo no Agreste de Pernambuco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 2, p. 299-307, 1999a.

SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M.; LIMA, J. M. de; FERREIRA, D. F. Proposição de modelos para a estimativa da erodibilidade de latossolos brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 12, p. 2287-2298, 1999b.

SIQUEIRA, J.; FRANCO, A. A. **Bioteχνologia do solo** – fundamentos e perspectivas. ciências agrárias nos trópicos brasileiros. Brasília, DF: MEC-ESAL-FAEPE-ABEAS, 1988. 235p.

SISTI, C. P. J.; SANTOS, H. P. dos; KOCHHANN, R. A.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY R.M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of

conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, Netherlands, v. 76. p. 39-58, 2004.

SOUZA, J. A. de.; BAHIA, V. G. Seleção de práticas conservacionistas baseada em critérios pedológicos. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.19, n. 191, p. 19-27, 1998.

TCE-RJ- Tribunal de contas do estado do Rio de Janeiro - Secretaria geral de planejamento. **Estudo sócio-econômico de Pinheiral**. Rio de Janeiro, 2004. 102p.

TOLEDO, L. de O.; PEREIRA, M. G.; MENEZES, C. E. G. Produção de Serapilheira e transferência de nutrientes em florestas secundárias localizadas na Região de Pinheiral-RJ. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 9-16, 2002.

UNAMBA-OPARAH. The potassium status of the sandy soils of Northern Imo State, Nigeria. **Soil Science Society American Journal**, v. 5, p. 437-445, 1985.

VENTURIM, R. P.; BAHIA, V. G. Considerações sobre os principais solos de Minas Gerais e sua susceptibilidade à erosão. In: LACERDA, V. L. A. Conservação de Solos. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 19, n. 191, p. 7-9, 1998.

VERHAEGEN, T. H. The influence of soil properties on the erodibility of Belgian loamy soils: a study base on rainfall simulation experiments. **Earth Surface Processes and Landforms**, Sussex, v. 9, p. 499-507, 1984.

WISCHMEIER, W. H. & MANNERING, J. V. Relation of soil properties to its erodibility. **Soil Science Society of American Proceedings**, Madison, v. 33, p. 131-137. 1969.

WISCHMEIER, W. H. & SMITH, D. D. Predicting rainfall-erosion losses, a guide to conservation planning. Washington, USDA (Agric. Handbook, 537). 1978.

WISCHMEIER, W. H. A rainfall erosion index for a universal soil loss equation. **Soil Science of American Proceedings**, Madison, v. 20, n. 3, p. 246-249, 1959.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Rainfall energy and its relationships to soil loss. **Transactions of the American Geophysical Union**, Washington, v. 39, p. 285-291, 1958.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning**. Washington: USDA, 1965. 52p. Agricultural Handbook, 282.

7 ANEXOS

Anexo A

DESCRIÇÃO GERAL DE PERFIL

Perfil nº: 1 - Voçoroca recuperada

Data: 14/12/2006

Classificação: Latossolo Vermelho-Amarelo

Localização: “Morro da Erosão”, local onde fica a torre receptora de TV da Cidade de Pinheiral, Propriedade do CANP/UFF, Pinheiral-RJ.

Situação: Terço médio de encosta com vertente convexa, com aproximadamente 30 % de declividade, sob pastagem degradada

Latitude: 22° 31' 29,4" S

Longitude: 43° 59' 08,4" W

Geologia: Complexo Paraíba do Sul

Litologia: Biotita muscovita gnaiss

Cronologia: Pré-cambriano

Material de origem: Material proveniente da alteração da rocha supracitada.

Pedregosidade: Pouca

Rochosidade: Nenhuma

Relevo local: Forte ondulado

Relevo regional: Forte ondulado

Erosão: Laminar e sulcos forte e, em voçorocas

Drenagem: Bem drenado

Vegetação primária: Floresta sub-caducifólia, domínio Mata Atlântica.

Uso atual: Pastagem mista de capim sapê e jaraguá, com infestação de grama batatais; atualmente com elevado grau de degradação.

Descrito e coletado por: Roriz Luciano Machado e Carlos Eduardo Gabriel Menezes, com o apoio dos Professores Marcos G. Pereira e Lúcia H. Anjos - UFRRJ.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A - 0 – 9 cm, cinzento-avermelhado-escuro (5 YR 4/2, úmida) e bruno escuro (7,5 YR 4/2, seca); argila; moderada, pequena a média, granular; dura, firme, plástica e pegajosa; transição plana e difusa.

AB - 9 – 18 cm, cinzento-avermelhado-escuro (5 YR 4/2, úmida) e vermelho acinzentado (2,5 YR 4/2, seca); argilo-arenosa; moderada, muito pequena a pequena, blocos subangulares; dura, firme, plástica e pegajosa; transição plana e gradual.

BA – 18 – 33 cm, vermelho acinzentado (2,5 YR 5/2); argila; moderada, pequena a muito pequena, blocos subangulares; dura, firme, plástica e pegajosa; transição plana e gradual.

Bw1 – 33 – 72 cm, amarelo avermelhado (5 YR 6/6); argila; moderada, muito pequena, granular; ligeiramente dura, friável, plástica e pegajosa; transição plana e difusa

Bw2 – 72 – 104 cm+, amarelo avermelhado (5 YR 6/6); muito argilosa; moderada, muito pequena, granular; ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e pegajosa; transição plana e gradual.

Observações: Raízes - comuns e finas de gramíneas no horizonte A e AB.

ANÁLISES FÍSICAS

Horizontes		Granulometria terra fina g kg ⁻¹					Argila dispersa em água g kg ⁻¹	Grau de flocculação %	Relação silte/argila
Simb.	Prof cm	Areia grossa	Areia fina	Areia total	Silte	Argila total			
A	0-9	310	120	430	80	490	390	20	0,16
AB	9-18	360	110	470	60	470	410	12	0,13
BA	18-33	310	110	420	60	520	430	17	0,12
Bw1	33-72	260	100	360	60	580	510	12	0,10
Bw2	72-104	230	90	320	50	630	50	92	0,08

ANÁLISES QUÍMICAS

Simb.	pH 1:2,5	Complexo sortivo cmol _c kg ⁻¹								Valor V	Sat. por Al	P assimi	CTC fração argila
		Água	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Valor S	Al ⁺³	H ⁺				
A	4,8	0,3	0,2	0,16	0,01	0,68	1,6	3,43	5,7	12	70	0	12,0
AB	4,6	0,2	0	0,05	0,01	0,25	2,0	3,03	5,3	5	89	0	9,1
BA	4,5	0,1	0	0,04	0,01	0,15	2,1	1,942	4,2	4	93	0	9,1
Bw1	4,5	0,1	0	0,02	0,01	0,13	2,3	1,247	3,7	4	95	0	6,5
Bw2	5,0	0	0	0,01	0,01	0,02	2,1	1,282	3,4	1	99	0	6,8

Anexo A1: Vista do perfil 1



Anexo B

DESCRIÇÃO GERAL DE PERFIL

Perfil nº: 2 - Voçoroca em recuperação

Data: 13/12/2006

Classificação: Latossolo Vermelho-Amarelo

Localização: Propriedade particular, Antiga Fazenda Santa Bárbara, no Bairro Vila Verde, Pinheiral-RJ, situada próximo ao viaduto na estrada Pinheiral - Barra do Piraí, Pinheiral-RJ e próximo à linha férrea da MRS Logística.

Situação: Terço médio de encosta com vertente linear, com 56 % de declividade, sob pastagem degradada

Latitude: 22° 31' 16,6" S

Longitude: 43° 58' 52,5" W

Geologia: Complexo Paraíba do Sul

Litologia: Biotita muscovita gnaiss

Cronologia: Pré-cambriano

Material de origem: Material proveniente da alteração da rocha supracitada.

Pedregosidade: Pouca

Rochosidade: Nenhuma

Relevo local: Forte ondulado

Relevo regional: Forte ondulado

Erosão: Laminar e sulcos forte e, em voçorocas

Drenagem: Bem drenado

Vegetação primária: Floresta sub-caducifólia, domínio Mata Atlântica.

Uso atual: Pastagem mista de brachiária e espécies como, capim gordura, capim sorvenola e Jaraguá, com infestação de grama batatais; atualmente com elevado grau de degradação.

Descrito e coletado por: Roriz Luciano Machado e Carlos Eduardo Gabriel Menezes, com o apoio dos Professores Marcos G. Pereira e Lúcia H. Anjos - UFRRJ.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A - 0 – 15 cm, cinzento-avermelhado-escuro (5 YR 4/2, úmida e seca); argilo-arenosa; moderada, muito pequena a pequena, blocos subangulares; ligeiramente dura, firme, plástica e pegajosa; transição plana e gradual.

AB - 15 – 24 cm, vermelho acinzentado (2,5 YR 4/2, úmida e seca); argilo-arenosa; moderada, muito pequena a pequena, blocos subangulares, ligeiramente dura, friável, plástica e pegajosa ; transição plana e clara.

Bw1 – 24 – 56 cm, bruno avermelhado (5 YR 5/4); argilo- arenosa; moderada, muito pequena, blocos subangulares e granular; ligeiramente dura, friável, plástica e pegajosa; transição plana e clara.

Bw2 – 56 – 105 cm+, bruno avermelhado (5 YR 5/4); argila; moderada, muito pequena a pequena, granular; macia, friável, ligeiramente plástica e ligeira pegajosa; transição plana e clara.

Observações: Raízes - Comuns e finas de gramíneas no horizonte A e AB.

ANÁLISES FÍSICAS

Horizontes		Granulometria terra fina g kg ⁻¹					Argila dispersa em água g kg ⁻¹	Grau de floculação %	Relação silte/argila
Simb.	Prof cm	Areia grossa	Areia fina	Areia total	Silte	Argila total			
A	0-15	330	130	460	90	450	330	27	0,20
AB	15-24	350	110	460	80	460	380	18	0,17
Bw1	24-56	380	110	490	60	450	360	20	0,13
Bw2	56-105	260	100	360	50	590	500	15	0,08

ANÁLISES QUÍMICAS

Simb.	pH 1:2,5	Complexo sortivo cmol _c kg ⁻¹								Valor V	Sat. por Al	P Assimi	CTC fração argila
	Água	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Valor S	Al ⁺³	H ⁺	Valor T	%	mg dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³	
A	4,7	0,4	0,2	0,07	0,01	0,68	1,3	3,4	5,4	13	66	0	12,0
AB	4,8	0,3	0	0,05	0,01	0,35	1,5	2,4	4,2	8	81	0	9,1
Bw1	4,8	0,2	0	0,02	0,01	0,22	1,5	1,9	3,6	6	87	0	6,1
Bw2	4,7	0,2	0	0,02	0,01	0,23	1,7	1,7	3,6	6	88	0	8,0

Anexo B1: Vista perfil 2



Anexo C

DESCRIÇÃO GERAL DE PERFIL

Perfil nº: 3 - Voçoroca sem intervenção

Data: 13/12/2006

Classificação: Argissolo Vermelho-Amarelo

Localização: Propriedade particular, Antiga Fazenda Santa Bárbara, localizada do lado esquerdo da estrada Pinheiral Barra do Piraí, Pinheiral-RJ.

Situação: Terço médio de encosta com vertente côncava, com 34 % de declividade, sob pastagem atualmente muito degradada

Latitude: 22° 31' 26,6" S

Longitude: 43° 58' 45,5" W

Geologia: Complexo Paraíba do Sul

Litologia: Biotita muscovita gnaiss

Cronologia: Pré-cambriano

Material de origem: Material proveniente da alteração da rocha supracitada.

Pedregosidade: Cascalho no horizonte transicional AB

Rochosidade: Nenhuma

Relevo local: Forte ondulado

Relevo regional: Forte ondulado

Erosão: Laminar e sulcos forte e, em voçorocas

Drenagem: Bem drenado

Vegetação primária: Floresta sub-caducifólia, domínio Mata Atlântica.

Uso atual: Pastagem mista de brachiária e espécies como capim sapê e jaraguá, com infestação de grama batatais; atualmente com elevado grau de degradação.

Descrito e coletado por: Roriz Luciano Machado e Carlos Eduardo Gabriel Menezes, com o apoio dos Professores Marcos G. Pereira e Lúcia H. Anjos - UFRRJ.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A - 0 – 16 cm, bruno escuro (7,5 YR 4/2, úmida e seca); franco-argilo-arenosa; moderada, muito pequena, granular; ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.

AB - 16 – 26 cm, bruno avermelhado (5 YR 5/3, úmida e seca); franco-argilo-arenosa; moderada, muito pequena a pequena, blocos subangulares; ligeiramente dura, friável, plástica e ligeiramente pegajosa; transição ondulada e gradual.

BA - 26 – 37 cm, bruno avermelhado (5 YR 5/3); argilo-arenosa; moderada, muito pequena a pequena, blocos subangulares; ligeiramente dura, friável, plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.

Bt - 37 – 69 cm, bruno avermelhado (5 YR 5/4); argila; moderada, muito pequena a pequena, blocos subangulares; dura, firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.

BC – 69 – 102 cm+, vermelho (10 R 5/6); argila; moderada, muito pequena a pequena, blocos subangulares; ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição ondulada e gradual.

Observações: Raízes - Comuns e finas de gramíneas nos horizontes A e AB. Linha de cascalho no AB

ANÁLISES FÍSICAS

Horizontes		Granulometria terra fina g kg ⁻¹					Argila dispersa em água g kg ⁻¹	Grau de flocculação %	Relação silte/argila
Simb.	Prof cm	Areia grossa	Areia fina	Areia total	Silte	Argila total			
A	0-16	490	180	670	50	280	210	24	0,18
AB	16-26	470	160	630	60	310	230	27	0,19
BA	26-37	350	130	480	60	460	370	19	0,13
Bt	37-69	250	80	330	100	570	80	86	0,18
BC	69-102	230	110	340	160	500	70	86	0,32

ANÁLISES QUÍMICAS

Simb.	pH 1:2,5	Complexo sortivo cmol _c kg ⁻¹								Valor V	Sat. por Al	P Assimi	CTC fração argila
	Água	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Valor S	Al ⁺³	H ⁺	Valor T	%	mg dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³	
A	4,7	0,3	0,20	0,08	0,015	0,60	1,40	2,0	4,0	15	70	0	20,4
AB	4,6	0,4	0,30	0,12	0,013	0,83	1,20	2,5	4,5	18	59	0	17,1
BA	4,6	0,3	0,10	0,04	0,013	0,45	2,00	2,0	4,5	10	82	0	9,1
Bt	4,5	0,1	0,10	0,03	0,013	0,24	2,80	1,4	4,4	5	92	0	6,5
BC	4,6	0,1	0,10	0,01	0,013	0,23	2,80	1,2	4,3	5	93	0	6,8

Anexo C1: Vista perfil 3

