

Qualidade de Solo e Água como Indicadores de Recuperação de Áreas Degradadas Submetidas a Manejo Agroflorestal



ISSN 1678-0892

Dezembro, 2006

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro Nacional de Pesquisa de Solos
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 100

Qualidade de Solo e Água como Indicadores de Recuperação de Áreas Degradadas Submetidas a Manejo Agroflorestal

Heitor Luiz da Costa Coutinho

Rachel Bardy Prado

Guilherme Kangussu Donagemma

José Carlos Polidoro

Alexandre Ortega Gonçalves

Aluísio Granato de Andrade

Rio de Janeiro, RJ

2006

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Solos

Rua Jardim Botânico, 1.024 Jardim Botânico. Rio de Janeiro, RJ
Fone: (21) 2179-4500
Fax: (21) 2274.5291
Home page: www.cnps.embrapa.br
E-mail (sac): sac@cnps.embrapa.br

Comitê Local de Publicações

Presidente: Aluísio Granato de Andrade

Secretário-Executivo: Antônio Ramalho Filho

Membros: Marcelo Machado de Moraes, Jacqueline S. Rezende Mattos,
Marie Elisabeth C. Claessen, José Coelho de A. Filho, Paulo Emílio
F. da Motta, Vinícius de Melo Benites, Rachel Bardy Prado, Maria
de Lourdes Mendonça S. Brefin, Pedro Luiz de Freitas.

Supervisor editorial: *Jacqueline Silva Rezende Mattos*

Revisor de Português: *André Luiz da Silva Lopes*

Normalização bibliográfica: *Marcelo Machado Moraes*

Editoração eletrônica: *Pedro Coelho Mendes Jardim*

1ª edição

1ª impressão (2006): online

Todos os direitos reservados.

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

634.99

C871 Coutinho, Heitor Luiz da Costa.

Qualidade de solo e água como indicadores de recuperação de áreas degradadas submetidas a manejo agroflorestal / Heitor Luiz da Costa Coutinho ... [et al.]. – Dados eletrônicos – Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

(Boletim de pesquisa e desenvolvimento/Embrapa Solos, ISSN 1678-0892; 100)

Sistema requerido: Adobe Acrobat Reader.

Modo de acesso: <<http://www.cnps.embrapa.br/solosbr/conhecimentos.html>>

Título da página da Web (acesso em 7 dez. 2006).

1. Condutividade Hidráulica Saturada. 2. Diversidade Bacteriana. 3. Fertilidade do Solo. I. Prado, Rachel Bardy. II. Donagemma, Guilherme Kangussu. III. Polidoro, José Carlos. IV. Gonçalves, Alexandre Ortega. V. Andrade, Aluísio Granato de. VI. Título. VII. Série.

Sumário

Resumo	5
Abstract	7
1. Introdução	9
1.1. Objetivos gerais	10
1.2. Objetivos Específicos	10
2. Revisão bibliográfica	11
2.1. Vantagens dos Sistemas de Produção com utilização de pousios florestais	11
2.2. Indicadores de Qualidade do Solo	11
2.3. Indicadores de Qualidade da Água	12
2.4. Estudos que integram as características do solo e da água	13
3. Área de Estudo	14
4. Metodologia	16
4.1. Georreferenciamento das áreas de estudo	16
4.2. Monitoramento de parâmetros de qualidade da água	18
4.3. Análise da relação entre indicadores de qualidade de solo e água considerando a paisagem	19
4.4. Monitoramento de indicadores de qualidade do solo	20
4.4.1. Indicadores físicos	20
4.4.2. Indicadores químicos	21
5. Resultados e discussão	22
5.1. Monitoramento de parâmetros de qualidade da água	22
5.2. Monitoramento de parâmetros de qualidade do solo	29
5.2.1. Indicadores físicos	29
5.3. Análise integrada de indicadores de solo e água	32
6. Conclusões e recomendações	34
7. Agradecimentos	36
8. Referências bibliográficas	36

Qualidade de Solo e Água como Indicadores de Recuperação de Áreas Degradadas Submetidas a Manejo Agroflorestal

Heitor Luiz da Costa Coutinho¹

Rachel Bardy Prado¹

Guilherme Kangussu Donagemma¹

José Carlos Polidoro¹

Alexandre Ortega Gonçalves¹

Aluísio Granato de Andrade¹

Resumo

O conhecimento sobre os efeitos de diferentes manejos agrícolas sobre os recursos hídricos possibilitou o aprimoramento de modelos hidrológicos e climáticos. No entanto, a avaliação da qualidade dos recursos hídricos de uma microbacia é dificultada em situações de heterogeneidade do padrão de cobertura vegetal. Para tanto se faz necessário aplicar abordagens integradoras e que considerem a dinâmica da paisagem. Este artigo apresenta resultados preliminares de um estudo de caso em uma área de cabeceira de microbacia na região serrana do Estado do Rio de Janeiro, sob um sistema de produção de agricultura familiar migratória, com pousio florestal como manejo de conservação do solo. Um modelo digital de elevação permitiu a análise dos dados de qualidade do solo e da água, relacionando-os ao uso da terra e à disposição dos pontos e parcelas amostradas na paisagem. Os resultados indicam que, apesar das áreas sob cultivo apresentarem sinais pontuais de degradação dos recursos solo e água, a estrutura da paisagem e o sistema de produção baseado em pousio florestal amenizam o impacto

¹Pesquisador Embrapa Solos, Rua Jardim Botânico 1024, Jardim Botânico, Rio de Janeiro, RJ. Email: heitor@cnps.embrapa.br, rachel@cnps.embrapa.br, donagemma@cnps.embrapa.br, polidoro@cnps.embrapa.br, aortega@cnps.embrapa.br, aluisio@cnps.embrapa.br.

negativo, e a água que sai do sistema não apresenta deterioração significativa em sua qualidade, se comparada com a água que entra no sistema, proveniente de áreas sem interferência antrópica. O trabalho de integração de indicadores vai ser continuado para finalmente se selecionar e definir indicadores integrados de qualidade solo e água para recuperação de áreas degradadas na microbacia em estudo.

Palavras-chave: indicadores integrados, condutividade hidráulica saturada, diversidade bacteriana, fertilidade do solo, parâmetros de qualidade da água, solo, paisagem, pousio.

Soil and Water Quality As Land Degradation Indicators Applied to An Agroforestry System

Abstract

Knowledge of the effects of different agricultural management practices over the water resources enabled the improvement of climatic and hydrologic models. However, evaluation of water quality in watersheds with heterogeneous patterns of land cover is a current challenge for researchers and land managers. In this case, application of integrative approaches that consider landscape dynamics is necessary. This article presents preliminary results of a case study in the headwaters of a watershed in the mountainous region of Rio de Janeiro State, under a family based migratory agricultural production system that uses tree fallows as a soil conservation measure. A digital elevation model enabled analyses of soil and water quality data, relating them to land use and to the landscape position of the points and plots sampled. Results indicate that, despite the cultivated fields showing localized signs of water and soil resources degradation, the landscape structure and the tree fallows based agricultural production system reduce the negative impact, so that the water that drains out of the system do not show significant deterioration of its quality, when compared with the water that enters the system, coming from undisturbed areas. This work will be continued with the purpose to finally select and define integrated indicators of soil and water quality in the micro watershed under study.

Index terms: *integrated indicators; saturated hydraulic conductivity; bacterial diversity; soil fertility; water quality parameters; soils; landscape; fallow.*

1. Introdução

No que se refere ao ordenamento do uso das terras e ao planejamento do manejo agropecuário das áreas destinadas ao uso agrícola, é importante que se respeite a aptidão e a vulnerabilidade natural das terras, assim como o perfil sociocultural das comunidades rurais, como requisitos básicos para o alcance da sustentabilidade, em suas dimensões ecológicas e humanas. A região serrana do Estado do Rio de Janeiro é dominada por áreas que, devido à declividade, atualmente seriam definidas, segundo a legislação, como Áreas de Proteção Permanente (APPs). No entanto, graças ao processo histórico de ocupação das terras da bacia do rio Paraíba do Sul, estas se encontram ocupadas por comunidades que exercem atividades agropecuárias muitas vezes sem a preocupação conservacionista necessária para a sustentabilidade dos empreendimentos rurais, exigida para a ocupação das APPs. Desta forma, observa-se que grande parte dos topos de morros e encostas da região está desprovida da vegetação original exuberante que continham no passado. Como consequência, as águas das chuvas escoam em maior quantidade e velocidade pelo declive, arrastando quantidades significativas de solo e nutrientes, que vão sendo depositados nas regiões mais baixas do terreno e nos corpos de água, causando problemas como a sedimentação e eutrofização.

Verifica-se, pois, a importância de se desenvolver e aplicar metodologias para o entendimento da dinâmica de nutrientes na paisagem, através do entendimento das relações entre os recursos solo e água, considerando os diversos usos da terra. Sendo assim, o presente trabalho tem por objetivo colaborar para o preenchimento desta lacuna, visto que poucos estudos no Brasil são voltados ao entendimento da relação entre indicadores de solo e água.

Em meados do século XX, imigrantes suíços e alemães se estabeleceram na região serrana do Estado do Rio de Janeiro, tendo como pólos urbanos as cidades de Nova Friburgo e Teresópolis. Eles trouxeram uma forma diferenciada de tratar a terra, se comparado ao modelo de exploração próprio da colonização portuguesa. Este sistema de produção tem como característica principal o uso do pousio como manejo das terras, visando à

recuperação da qualidade do solo, parcialmente degradado após alguns anos de cultivo e, conseqüentemente, evitando a degradação dos recursos hídricos. O sucesso deste sistema de produção repousa sobre a eficiência dos processos de ciclagem de nutrientes e preservação dos recursos naturais de modo geral, pois se sabe que sistemas produtivos que favorecem a sua ciclagem são sistemas mais sustentáveis. Neste sentido foi realizado o presente trabalho, vinculado ao projeto “Manejo agroflorestral para recuperação de áreas degradadas vis-a-vis seqüestro de carbono, armazenamento de água do solo e valoração econômica e ambiental” (Prodetab 036-01/01), sob coordenação da Embrapa Agrobiologia, sendo a Embrapa Solos parceira e responsável pelo subprojeto “Qualidade de solo e água como indicadores de recuperação de áreas degradadas submetidas a manejo agroflorestral”.

1.1 Objetivos gerais

- Estudar indicadores físicos, químicos e biológicos de qualidade do solo e físico-químicos de qualidade da água, discutindo a sua relação para compreender a dinâmica dos elementos analisados em relação ao uso das terras, em uma área com manejo agroflorestral, no município de Bom Jardim, RJ.
- Avaliar uma estratégia de monitoramento integrado da qualidade do solo e da água aplicada à gestão de microbacias hidrográficas, considerando os conceitos de ecologia da paisagem.

1.2 Objetivos específicos

- Selecionar e monitorar indicadores físicos, químicos e biológicos da qualidade do solo em usos distintos do solo em um sistema de agricultura migratória na região serrana do Rio de Janeiro.
- Selecionar e monitorar indicadores de qualidade da água na microbacia estudada.
- Relacionar resultados dos indicadores de qualidade do solo com os de água.

2. Revisão bibliográfica

2.1 Vantagens dos sistemas de produção com utilização de pousios florestais

O sistema de “agricultura com pousio” (“shifting cultivation”) consiste no cultivo temporário de uma parcela de terra (até 3-5 anos) com posterior descanso, ou seja, manutenção do solo intocável durante um período de tempo que pode variar entre três e 10 anos, permitindo a regeneração da vegetação a partir do banco de sementes existente no solo ou de propágulos originados em fragmentos florestais adjacentes, trazidos pelo vento ou animais. Para ser efetivo, este sistema necessita da manutenção permanente de áreas florestadas nas propriedades. Caso contrário, o tempo de pousio necessário para a recuperação da qualidade do solo seria muito longo, inviabilizando o sistema em pequenas propriedades. Trata-se, portanto, de um sistema agroflorestal seqüencial, onde áreas em produção são sucedidas por florestas sucessionais, e vice-versa.

Sistemas baseados em pousio florestal, por manter parcelas da propriedade cobertas por vegetação durante um determinado período e, portanto, mantendo o solo com maior agregação e permitindo maior infiltração da água, têm maior probabilidade de evitar os processos erosivos intensos e diminuir a quantidade de partículas que chegam até os rios e lagos. Com isto, ameniza-se o processo de sedimentação nos corpos de água, o que pode trazer sérios problemas como a redução da calha dos rios, provocando inundações indesejáveis, alteração da qualidade da água e da biodiversidade aquática, redução da água disponível para abastecimento e irrigação, entre outros.

2.2 Indicadores de qualidade do solo

Indicadores de qualidade do solo são compostos por parâmetros físicos, químicos e biológicos, analisados de forma integrada, que refletem a capacidade do solo em exercer suas funções básicas nos ecossistemas, controlando: a ciclagem de nutrientes, o fluxo de energia e matéria, o clima e a dinâmica da água. Indicadores de qualidade do solo, portanto, são essenciais para monitorar impactos, positivos ou negativos, de fenômenos naturais ou de ações antrópicas, como é a atividade agrícola (ARSHAD, 2002).

A maioria dos trabalhos encontrados na literatura relaciona indicadores de qualidade do solo a diferentes ocupações da terra e formas de manejo, na maior parte relativa ao uso agrícola das terras (ARSHAD, 2002). Como referência para análises comparativas, é comum a utilização de solos que suportam uma vegetação nativa e que tenham sofrido mínimos distúrbios antropogênicos, tendo em vista o estado de equilíbrio atingido por todos os subsistemas florestais (DORAN; PARKIN, 1994). Os resultados normalmente encontrados apontam para uma redução na atividade e diversidade biológica, nos índices de agregação, e nos teores de carbono orgânico em solos convertidos de florestas para a prática agrícola (ABOIM, 2004). Esta redução pode ser menos acentuada quando são adotadas práticas de conservação de solos, recuperação de áreas degradadas (LEFROY et al. 2000), ou sistemas de pousio. O monitoramento da qualidade do solo através de indicadores pode subsidiar a gestão de bacias hidrográficas, uma vez que solos degradados estão associados a maiores níveis de escoamento superficial, menores taxas de infiltração e retenção de água no solo, e maiores perdas de solo e nutrientes, podendo causar o assoreamento e a eutrofização de rios, represas, açudes e lagoas.

2.3 Indicadores de qualidade da água

Diversos são os fatores que levam à deterioração da qualidade da água, podendo ser classificados em fontes pontuais e difusas. As fontes pontuais se caracterizam, essencialmente, pelos efluentes domésticos e industriais; já as difusas são caracterizadas pelos resíduos provindos principalmente da agricultura. Este último tipo de poluição pode ser intensificado devido à irrigação mal conduzida, ao tráfego excessivo de máquinas acarretando compactação do solo, ao desflorestamento (inclusive de mata ciliar), à ausência de práticas conservacionistas do solo, aos processos erosivos, além da interferência de fatores de vulnerabilidade natural da microbacia (geologia, geomorfologia, declividade, pedologia, formato e densidade da bacia de drenagem, regime de chuvas, permeabilidade do solo e outros). A situação é grave visto que existem estimativas de que aproximadamente 30 a 50% dos solos da Terra sejam afetados por poluentes provindos de fontes difusas, que podem atingir os cursos de água gradativamente (LOAGUE et al. 1998). A agricultura responde por 25% das fontes de poluição dos rios e 19% dos lagos (BREZONIK et al. 1999). A maior parte destes poluentes,

provindos das atividades agrícolas, é constituída por material em suspensão resultante dos processos erosivos, formas de nitrogênio e fósforo oriundos da aplicação de fertilizantes, além dos pesticidas (herbicidas, inseticidas e fungicidas) que podem contaminar os solos e as águas, e ainda causar sérios danos aos seres vivos, com destaque para a saúde humana.

Neste contexto, é preciso que se conheça o nível de degradação da água em bacias hidrográficas, visando identificar as fontes de poluição para o melhor planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos. Para tal, um importante instrumento é o monitoramento de parâmetros de qualidade da água.

Sperling (1998) salienta que a qualidade de uma água é resultante dos inúmeros processos que ocorrem em sua bacia de drenagem. Portanto, o estudo das características da água deve ser feito obtendo-se uma série de informações físicas, químicas e biológicas que permitam inferir a respeito da qualidade da água.

2.4 Estudos que integram as características do solo e da água

Poucos são os estudos integrados de indicadores de qualidade do solo e da água, sendo que os existentes, na maior parte das vezes, focam as variáveis biológicas, mais sensíveis a mudanças ambientais, ou variáveis químicas, mais diretamente relacionadas à produtividade agrícola. No entanto, são necessários maiores esforços no entendimento das correlações observadas entre variáveis físicas, químicas e biológicas do solo, e entre estas e parâmetros que representem a dinâmica da água no solo e os indicadores físico-químicos das águas que saem do sistema (infiltração e escoamento). Estes estudos são fundamentais para o desenvolvimento de modelos numéricos que auxiliem a gestão dos recursos hídricos de um território.

Allan (2004) faz uma interessante revisão da literatura no que se refere à relação do uso e ocupação das terras com os ecossistemas aquáticos, tratando tanto as fontes de poluição pontuais como difusas. Este autor salienta que os sistemas aquáticos são fortemente afetados pelas ações humanas, em diferentes escalas espaciais. Os impactos são numerosos (diretos e indiretos), porém, o nosso entendimento dos caminhos e mecanismos pelos quais a relação dos ecossistemas terrestres e aquáticos ocorre ainda é limitada, em parte devido aos múltiplos efeitos da dinâmica do

uso das terras e pela própria variação das características naturais como clima, vegetação, topografia, geologia, entre outros.

Existem ainda numerosos estudos que demonstram haver uma alta correlação entre a distribuição espacial das atividades humanas, o estado de conservação da cobertura vegetal na bacia hidrográfica e o nível de degradação dos recursos hídricos (THORTON, 1990; KIRA; SAZANAMI, 1995; TUFFORD et al. 1998). Porém, no Brasil são poucos os estudos relacionando o uso da terra e as características do solo com as propriedades da água, podendo citar Pereira-Filho (2000), entre outros.

O desenvolvimento e aplicação de modelos preditivos de impactos de atividades antrópicas aos recursos hídricos será otimizado com a maior disponibilidade de indicadores confiáveis e mensuráveis, e do conhecimento das relações quantitativas entre eles. Este trabalho busca aumentar nosso conhecimento sobre as relações dinâmicas encontradas entre parâmetros de qualidade de solo e de água em uma pequena área de cabeceira de uma microbacia ocupada por um sistema de produção agrícola familiar que utiliza o pousio florestal como manejo.

3. Área de estudo

A área de estudo refere-se a uma propriedade rural, localizada no 4º Distrito de Barra Alegre, pertencente ao Município de Bom Jardim, na região serrana fluminense. A propriedade denominada "Sítio da Cachoeira" fica na região da cabeceira do córrego do Pito Aceso, inserido na bacia do rio Paraíba do Sul, com coordenadas geográficas 22º 09'62" S e 42º 17'14" W, possuindo altitudes em torno de 900m (Figura 1). Nesta propriedade, há mais de 50 anos vem sendo praticado um sistema de agricultura migratória (sistema agroflorestal), onde as terras são divididas em glebas com diferentes tipos de cultivos e diferentes estágios de pousios ou estágios sucessionais de vegetação, visto que os pousios são parcelas em descanso, isentas de cultivo. As culturas são anuais e rotativas, com destaque para o inhame, milho e feijão, cultivadas ao longo de aproximadamente três anos, sendo depois deixadas em pousio. A reincorporação das glebas de pousio ao sistema de produção ocorre de três a sete anos após o início do pousio. As dimensões de cada gleba são de aproximadamente 25m x 70m.

De maneira geral, a região possui ainda fragmentos florestais em estágios sucessionais de diferentes idades. O relevo é bastante movimentado, do tipo montanhoso, predominando declividades variando entre 45 e 60%, o que pode ser observado no trecho de Mata Atlântica de altitude no Estado do Rio de Janeiro. O clima é do tipo Mesotérmico, com temperaturas bem distribuídas ao longo do ano. A precipitação média anual, segundo informações da estação Meteorológica de Nova Friburgo, é de 1.400 mm, concentrados no período chuvoso. Os principais tipos de solos das áreas amostradas foram: Cambissolos Háplicos, Argissolos Amarelos e Acinzentados e Latossolo Vermelho.

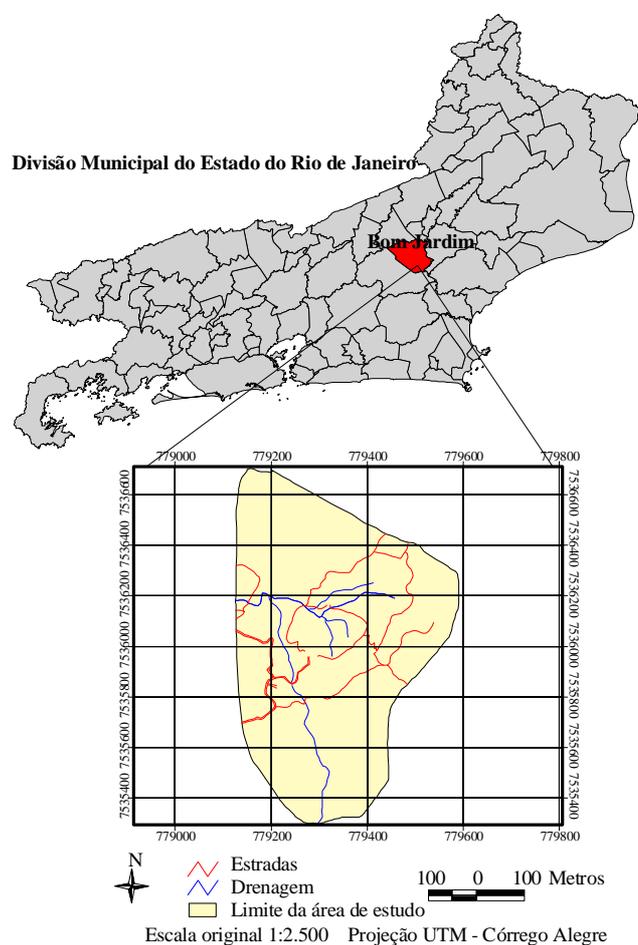


Fig. 1. Localização da área de estudo.

4. Metodologia

4.1 Georreferenciamento das áreas de estudo

As áreas de cultivos diferenciados, pastagem, pousio em diferentes estágios de sucessão, além de áreas de mata permanente, foram georreferenciadas com o auxílio de GPS. Apesar do erro associado a esta ferramenta na escala em que se trabalha (aproximadamente 1:10.000), este procedimento foi adotado uma vez que não se dispunha de uma imagem de satélite de alta resolução ou uma foto aérea da área de estudo atualizada que permitisse o mapeamento do uso e cobertura da terra. A Figura 2 apresenta as áreas georreferenciadas, destacando as áreas de pousio, matas e cultivos anuais e perenes.

4.2 Monitoramento de parâmetros de qualidade da água

Percorreu-se a área de estudo e foram identificados quatro pontos para o monitoramento de parâmetros de qualidade de água ao longo da drenagem que percorre a propriedade. O primeiro ponto (1A) localiza-se no córrego Pito Aceso, em local praticamente isento de fontes de poluição, tanto pontuais como difusas, que servirá de referência em termos de qualidade da água. O segundo ponto (2A) localiza-se na confluência da drenagem originária das parcelas experimentais com predomínio de culturas, pretendendo-se monitorar a influência dos resíduos provindos da aplicação de fertilizantes, na qualidade da água. O terceiro ponto de amostragem (3A) recebe a contribuição das fontes de poluentes da propriedade como um todo, inclusive esgoto doméstico. O quarto ponto de coleta (4A) situa-se à jusante de glebas onde predominam florestas e pousios em diversos estágios sucessionais. Estes pontos podem ser visualizados na Figura 2.

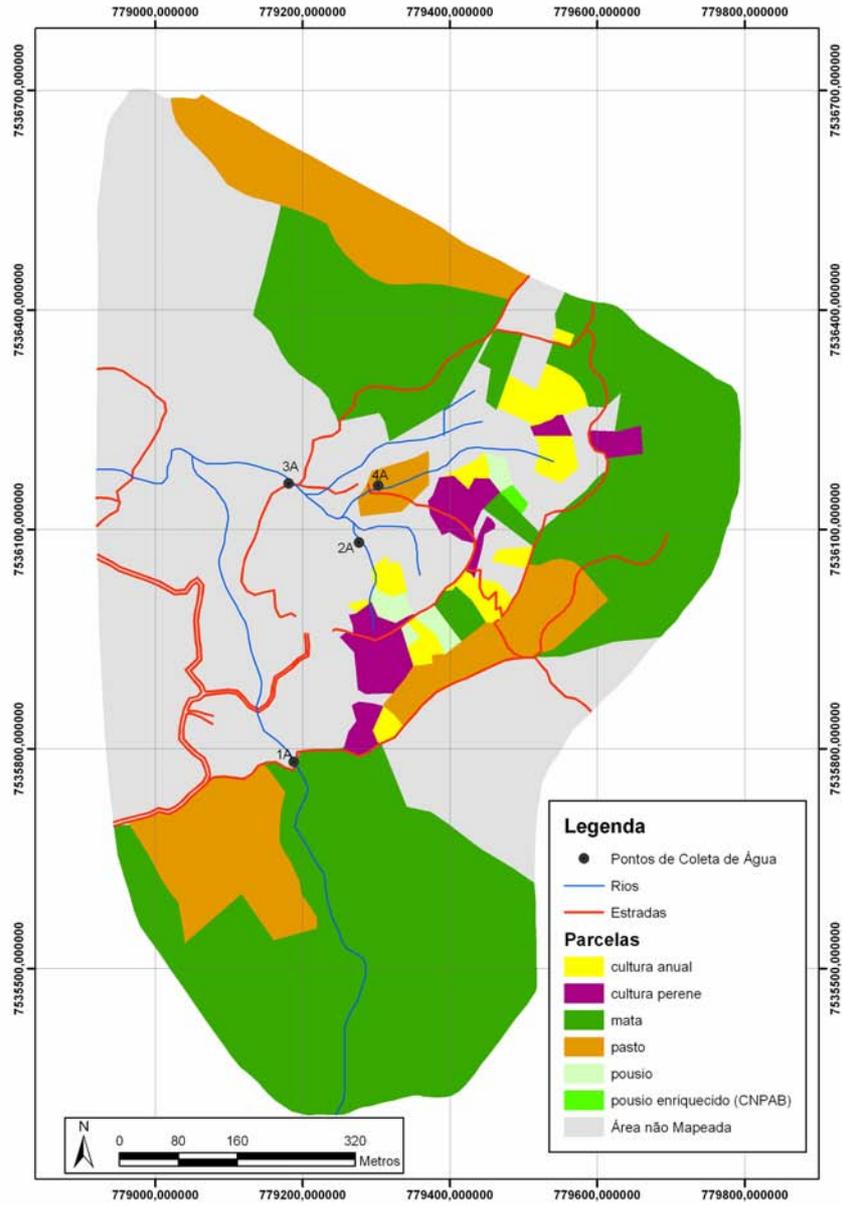


Fig. 2. Mapeamento das áreas georreferenciadas dentro da área de estudo.

Foram realizadas quatro coletas, sendo elas em abril, julho, setembro e outubro de 2005, sendo que a coleta de outubro foi após um evento de chuva intensa seguida à coleta de solos. Alguns parâmetros de qualidade de água foram analisados *in situ* com o auxílio de um medidor de qualidade da água da marca Horiba U-10, sendo eles: pH, condutividade elétrica, turbidez, oxigênio dissolvido, temperatura e salinidade. Foram coletadas amostras de água, em recipientes adequados, nos quatro pontos especificados acima, sendo as mesmas acondicionadas e transportadas refrigeradas até o laboratório. Na seqüência as amostras foram filtradas em filtros do tipo Glass Fiber 0,45mm de porosidade para análise de cátions dissolvidos e ânions. Para a análise dos cátions totais foi realizada uma digestão com 2mL de HNO₃ e 5mL de HCl. Foram analisados os parâmetros: sólidos totais em suspensão por método gravimétrico, cátions dissolvidos e totais (Al, As, B, Ca, Na, Ni, Zn, Mg, Pb, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Sb e Se) utilizando Espectrômetro de Emissão por Plasma (ICP-OES) marca Perkin Elmer, modelo OPTIMA 3000 e ânions (sulfatos, fosfatos, cloretos, nitritos, nitratos, fluoretos e brometos), utilizando cromatógrafo de íons da DIONEX modelo DX-120, com detector condutivimétrico, aplicando em todos os casos metodologias de APHA (1995).

Os dados resultantes do monitoramento foram tabelados e comparados aos limites estabelecidos para a Classe 2, segundo Resolução CONAMA 357 de 17/03/05. Esta resolução preconiza que as águas enquadradas na Classe 2 são as que podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato primário. Além da comparação realizada, foram destacados os teores em inconformidade segundo a legislação mencionada, para cada parâmetro, visando facilitar a identificação dos pontos onde a situação da qualidade da água se encontra de alguma forma comprometida.

4.3 Análise da relação entre indicadores de qualidade de solo e água considerando a paisagem

Para realizar uma análise integrada e espacial dos parâmetros de qualidade de solo e água, primeiramente, foi gerado o Modelo Digital de Elevação do terreno (MDE) e obtidas as classes de declividade em percentual, utilizando-se o software ArcGIS da ESRI. Para tal foram utilizados os *shapes* de curvas

de nível, pontos cotados como massa de pontos e o de drenagem da área de estudo como linha de quebra. Posteriormente, o MDE foi transformado para 3D no módulo *3D Analyst*, exportando-o para o ArcScene que permite maior visualização em 3D.

Para uma avaliação da abordagem proposta para análise integrada de indicadores de qualidade de solo e água foram sobrepostos ao MDE os *shapes* das parcelas de amostragem de solo realizadas entre 2000 e 2003, agrupadas em 3 grupos (pousio, cultivos e mata) – como se observa na Figura 4, além dos *shapes* dos pontos de coleta de água de 2005, permitindo visualizar o caminho preferencial do escoamento superficial em relação à declividade do terreno, considerando que se trata de área com elevado declive. Foram calculadas médias para os parâmetros de qualidade de solo para cada grupo de parcelas, considerando os dados obtidos na profundidade de 0-5 cm, nas três coletas anuais realizadas de 2001 a 2003. Porém, os dados referentes à qualidade da água foram obtidos em abril de 2005, sendo que neste período não houve alteração significativa no padrão de uso da terra, como pode ser observado na Figura 2.

Os critérios adotados para se relacionar e discutir os parâmetros de solo e água foram o de localização das parcelas, tendo em vista a sua potencial contribuição aos pontos de amostragem de água e o histórico de uso e manejo das parcelas. Na análise foram considerados apenas os grupos nos quais se esperava apresentar valores extremos (culturas e matas). Sendo assim os dados de qualidade de solo do grupo 1 e 2 foram relacionados com o ponto 2A e 4A de qualidade da água, respectivamente.

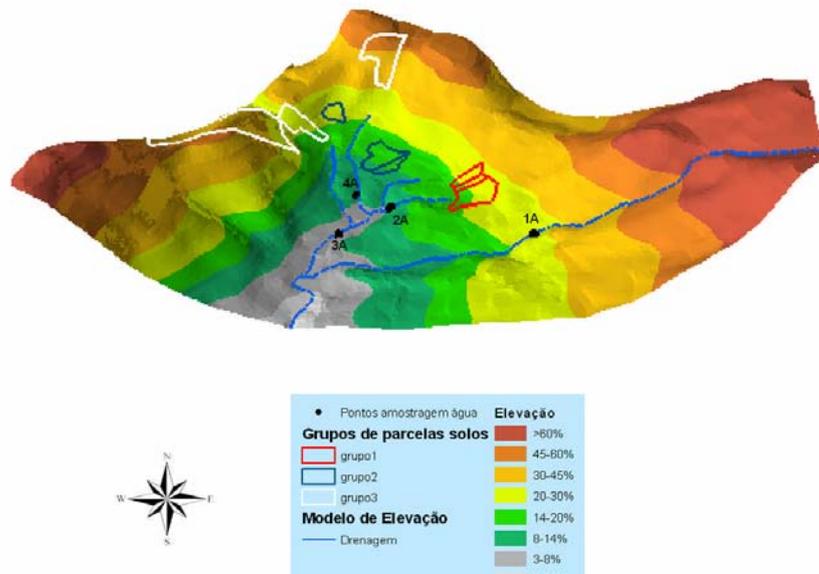


Fig. 4. Declividade da área de estudo, a partir do MDE em 3D, apresentando os grupos de parcelas de solos e os pontos de amostragem de água.

4.4 Monitoramento de indicadores de qualidade do solo

4.4.1 Indicadores físicos

Os tratamentos foram cinco sistemas de uso e manejo do solo: Mata, Pousio cinco anos, Pousio dois anos, cultivo com café e cultivo com banana, com três repetições. Foram retiradas amostras para análises físicas em quatro profundidades: 0-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,30 m. Amostras indeformadas foram coletadas para análises de condutividade hidráulica e estabilidade de agregados via úmida. Amostras deformadas foram coletadas para análises de textura. Foi monitorada também a dinâmica da água no solo utilizando tensiômetros, nas profundidades de 0,15, 0,30 e 0,60 m. Já para condutividade hidráulica saturada no campo, por limitações impostas para uso do cálculo da condutividade hidráulica que vem no manual do equipamento, a determinação foi realizada nas seguintes profundidades: 0-0,12, 0,12-0,22 e 0,22-0,32 m.

Os parâmetros de textura do solo e de estabilidade de agregados por via úmida foram determinados segundo métodos propostos pela Embrapa (1997). Os índices de estabilidade de agregados, diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e IEA (Índice de estabilidade de agregado) foram calculados conforme Kemper e Rosenau, (1986). A condutividade hidráulica saturada no campo foi realizada utilizando o permeâmetro de Guelph (SOILMOISTURE, 1991) e a condutividade hidráulica saturada no laboratório conforme Embrapa (1997).

4.4.2 Indicadores químicos

As análises químicas foram realizadas segundo EMBRAPA (1997). O pH em água e em solução de KCl 1 mol.L⁻¹ foi medido utilizando-se as proporções 1:2,5 ($v_{\text{solo}}/v_{\text{solução}}$).

Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ foram extraídos por solução de KCl 1 mol.L⁻¹, enquanto K e P pelo extrator de Mehlich. Os teores de Ca²⁺, Mg²⁺ nos extratos foram determinados por espectrometria de absorção atômica e a acidez potencial (H + Al) e o Al³⁺, por titulação. O P foi determinado por fotolorimetria, e o K, por fotometria de chama.

A partir dos resultados obtidos pela análise do complexo sortivo, foram calculadas a soma de bases (SB), a capacidade de troca catiônica total (T) e efetiva (t), a saturação por bases (V%) e a saturação por Al³⁺ (m%). (EMBRAPA, 1997).

5. Resultados e discussão

5.1. Monitoramento de parâmetros de qualidade da água

Os resultados dos principais parâmetros de qualidade da água, analisados para os quatro pontos de amostragem, encontram-se nas Tabelas 1 (abril/2005), Tabela 2 (julho/2005), Tabela 3 (setembro/2005) e Tabela 4 (outubro/2005). A maior parte deles foi comparada aos limites estabelecidos para a Classe 2, segundo Resolução CONAMA 357 de 17/03/05. Os teores em inconformidade com a legislação encontram-se em destaque, como já mencionado na metodologia.

Tabela 1 - Teores de parâmetros de qualidade da água comparados com os limites da Resolução CONAMA 357 de 17/03/05 (Classe 2) – Coleta 1 – abril de 2005.

Pontos de amostragem	1A	2A	3A	4A	Limites CONAMA 357/05 Classe 2
Descrição	Nascentes Pito Acesso (1A)	Abaixo parcelas cultivo (2A)	Exutório (3A)	Abaixo parcelas poisio (4A)	
Turbidez	4	15	5	5	100 UNT
pH - in situ	6,08	6,37	5,69	6,25	6 a 9
TSS (mg/L)	0,60	50,200	6,000	7,400	NE
Condutividade Elétrica (mS/cm)	0,013	0,031	0,036	0,030	NE
Ca (mg/L) - Total	0,868	2,560	2,400	2,500	NE
Mg (mg/L) - Total	0,220	1,070	0,628	0,599	NE
K (mg/L) - Total	0,372	0,993	0,650	0,520	NE
Na (mg/L) - Total	1,330	1,820	2,730	1,900	NE
Mn (mg/L) - Total	0,004	0,256	0,033	0,046	0,1mg/L
Fe (mg/L) - Dissolvido	0,038	0,246	0,384	0,213	0,3 mg/L
Zn (mg/L) - Total	0,005	0,014	0,006	0,010	0,18 mg/L
Cu (mg/L) - Dissolvido	ND	ND	ND	ND	0,009 mg/L
Cr (mg/L) - Total	0,002	0,008	0,004	0,008	0,05 mg/L
Co (mg/L) - Total	ND	0,002	ND	ND	0,05 mg/L
Ni (mg/L) - Total	ND	ND	ND	ND	0,025 mg/L
Al (mg/L) - Dissolvido	0,276	1,800	0,275	0,283	0,1 mg/L
Cd (mg/L) - Total	ND	ND	ND	ND	0,001 mg/L
Pb (mg/L) - Total	ND	ND	ND	ND	0,01 mg/L
As (mg/L) - Total	ND	ND	ND	ND	0,01 mg/L
Se (mg/L) - Total	ND	ND	ND	ND	0,01 mg/L
Sb (mg/L) - Total	ND	ND	ND	ND	0,005 mg/L
B (mg/L) - Total	1,370	2,360	1,750	1,680	0,5 mg/L
Fluoreto (mg/L)	0,022	0,046	0,056	0,055	1,4 mg/L
Cloreto (mg/L)	1,785	2,260	2,530	1,977	250 mg/L
Nitrito (mg/L)	0,000	0,000	0,000	0,000	1 mg/L
Nitrato (mg/L)	0,313	0,304	0,025	0,000	10 mg/L
Sulfato (mg/L)	0,352	0,309	0,412	1,382	250 mg/L

ND = Teor do elemento abaixo do limite de detecção da técnica utilizada.

NE = Limite não estabelecido pelo CONAMA 357/05 para a Classe 2.

Em vermelho: Valores acima dos limites estabelecidos pelo CONAMA 357/05 para a Classe 2.

Sombreado: Maior teor encontrado para o elemento, considerando-se todos os pontos amostrados.

Tabela 2 - Teores de parâmetros de qualidade da água comparados com os limites da Resolução CONAMA 357 de 17/03/05 (Classe 2) – Coleta 2 – julho de 2005.

Pontos de amostragem	1A	2A	3A	4A	Limites CONAMA 357/05 Classe 2
Descrição	Nascentes Pito Aceso (1A)	Abaixo parcelas cultivo (2A)	Exutório (3A)	Abaixo parcelas pousio (4A)	
Turbidez	4	234	3	8	100 UNT
pH - in situ	7,03	6,95	7,13	7,00	6 a 9
TSS (mg/L)	1,00	11,00	1,67	2,33	NE
Condutividade Elétrica (mS/cm)	0,160	0,340	0,036	0,410	NE
Ca (mg/L) - Total	1,305	2,125	2,215	3,235	NE
Mg (mg/L) - Total	0,373	0,733	0,626	0,862	NE
K (mg/L) - Total	1,380	2,075	1,470	1,615	NE
Na (mg/L) - Total	2,125	2,260	3,895	3,810	NE
Mn (mg/L) - Total	0,006	0,019	0,059	0,033	0,1mg/L
Fe (mg/L) - Dissolvido	0,069	0,186	0,157	0,104	0,3 mg/L
Zn (mg/L) - Total	0,006	0,002	ND	0,014	0,18 mg/L
Cu (mg/L) - Dissolvido	0,001	0,001	ND	ND	0,009 mg/L
Cr (mg/L) - Total	ND	ND	ND	0,006	0,05 mg/L
Co (mg/L) - Total	ND	ND	ND	ND	0,05 mg/L
Ni (mg/L) - Total	ND	ND	ND	0,009	0,025 mg/L
Al (mg/L) - Dissolvido	0,069	0,125	0,040	0,035	0,1 mg/L
Cd (mg/L) - Total	ND	ND	ND	ND	0,001 mg/L
Pb (mg/L) - Total	ND	ND	ND	ND	0,01 mg/L
As (mg/L) - Total	ND	ND	ND	ND	0,01 mg/L
Se (mg/L) - Total	ND	ND	ND	ND	0,01 mg/L
Sb (mg/L) - Total	ND	ND	ND	ND	0,005 mg/L
B (mg/L) - Total	ND	ND	ND	ND	0,5 mg/L
Fluoreto (mg/L)	0,035	0,035	0,055	0,050	1,4 mg/L
Cloreto (mg/L)	3,275	5,090	3,695	5,900	250 mg/L
Nitrito (mg/L)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	1 mg/L
Nitrato (mg/L)	0,640	0,445	0,375	0,385	10 mg/L
Sulfato (mg/L)	0,650	0,710	0,870	1,300	250 mg/L

ND = Teor do elemento abaixo do limite de detecção da técnica utilizada.

NE = Limite não estabelecido pelo CONAMA 357/05 para a Classe 2.

Em vermelho: Valores acima dos limites estabelecidos pelo CONAMA 357/05 para a Classe 2.

Sombreado: Maior teor encontrado para o elemento, considerando-se todos os pontos amostrados.

Tabela 3 - Teores de parâmetros de qualidade da água comparados com os limites da Resolução CONAMA 357 de 17/03/05 (Classe 2) – Coleta 3 – setembro de 2005.

Pontos de amostragem	1A	2A	3A	4A	Limites CONAMA 357/05 Classe 2
Descrição	Nascentes Pito Aceso (1A)	Abaixo parcelas cultivo (2A)	Exutório (3A)	Abaixo parcelas pousio (4A)	
Turbidez	0	1	1	1	100 UNT
pH - in situ	7,03	6,93	7,32	6,95	6 a 9
TSS (mg/L)	2,75	45,00	3,50	0,75	NE
Condutividade Elétrica (mS/cm)	0,013	0,033	0,030	0,022	NE
Ca (mg/L) - Total	1,160	2,920	2,180	1,920	NE
Mg (mg/L) - Total	0,222	0,915	0,483	0,418	NE
K (mg/L) - Total	0,392	0,857	0,413	0,384	NE
Na (mg/L) - Total	1,420	2,610	2,790	1,950	NE
Mn (mg/L) - Total	0,001	0,060	0,063	0,020	0,1mg/L
Fe (mg/L) - Dissolvido	0,040	0,049	0,213	0,078	0,3 mg/L
Zn (mg/L) - Total	0,010	0,020	0,008	0,008	0,18 mg/L
Cu (mg/L) - Dissolvido	ND	ND	ND	ND	0,009 mg/L
Cr (mg/L) - Total	ND	ND	ND	ND	0,05 mg/L
Co (mg/L) - Total	ND	ND	ND	ND	0,05 mg/L
Ni (mg/L) - Total	ND	ND	ND	ND	0,025 mg/L
Al (mg/L) - Dissolvido	0,038	0,019	0,023	0,015	0,1 mg/L
Cd (mg/L) - Total	ND	ND	ND	ND	0,001 mg/L
Pb (mg/L) - Total	ND	ND	ND	ND	0,01 mg/L
As (mg/L) - Total	ND	ND	ND	ND	0,01 mg/L
Se (mg/L) - Total	ND	ND	ND	ND	0,01 mg/L
Sb (mg/L) - Total	ND	ND	ND	ND	0,005 mg/L
B (mg/L) - Total	ND	ND	ND	ND	0,5 mg/L
Fluoreto (mg/L)	0,030	0,0300	0,040	0,030	1,4 mg/L
Cloreto (mg/L)	1,430	1,460	1,250	0,830	250 mg/L
Nitrito (mg/L)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	1 mg/L
Nitrato (mg/L)	0,200	0,480	<0,01	<0,01	10 mg/L
Sulfato (mg/L)	0,980	0,450	0,340	0,610	250 mg/L

ND = Teor do elemento abaixo do limite de detecção da técnica utilizada.

NE = Limite não estabelecido pelo CONAMA 357/05 para a Classe 2.

Em vermelho: Valores acima dos limites estabelecidos pelo CONAMA 357/05 para a Classe 2.

Sombreado: Maior teor encontrado para o elemento, considerando-se todos os pontos amostrados.

Tabela 4 - Teores de parâmetros de qualidade da água comparados com os limites da Resolução CONAMA 357 de 17/03/05 (Classe 2) – Coleta 4 – outubro de 2005.

Pontos de amostragem	1A	2A	3A	4A	Limites CONAMA 357/05 Classe 2
Descrição	Nascentes Pito Aceso (1A)	Abaixo parcelas cultivo (2A)	Exutório (3A)	Abaixo parcelas pousio (4A)	
Turbidez	Não medido nesta coleta				100 UNT
pH - in situ	Não medido nesta coleta				6 a 9
TSS (mg/L)	105,75	928,00	584,25	105,00	NE
Condutividade Elétrica (mS/cm)	Não medido nesta coleta				NE
Ca (mg/L) - Total	2,720	5,830	5,200	3,880	NE
Mg (mg/L) - Total	0,650	8,080	3,340	1,220	NE
K (mg/L) - Total	2,270	16,900	7,300	5,450	NE
Na (mg/L) - Total	1,660	2,200	3,040	2,820	NE
Mn (mg/L) - Total	0,107	1,440	3,010	0,600	0,1mg/L
Fe (mg/L) - Dissolvido	0,061	2,55	0,796	0,636	0,3 mg/L
Zn (mg/L) - Total	0,027	0,116	0,066	0,023	0,18 mg/L
Cu (mg/L) - Dissolvido	ND	0,003	ND	ND	0,009 mg/L
Cr (mg/L) - Total	ND	0,033	ND	ND	0,05 mg/L
Co (mg/L) - Total	ND	0,021	0,021	ND	0,05 mg/L
Ni (mg/L) - Total	ND	0,022	ND	ND	0,025 mg/L
Al (mg/L) - Dissolvido	0,106	0,106	0,193	0,047	0,1 mg/L
Cd (mg/L) - Total	ND	ND	ND	ND	0,001 mg/L
Pb (mg/L) - Total	ND	ND	ND	ND	0,01 mg/L
As (mg/L) - Total	ND	ND	ND	ND	0,01 mg/L
Se (mg/L) - Total	ND	ND	ND	ND	0,01 mg/L
Sb (mg/L) - Total	ND	ND	ND	ND	0,005 mg/L
B (mg/L) - Total	0,016	0,116	0,143	0,037	0,5 mg/L
Fluoreto (mg/L)	0,040	0,110	0,090	0,070	1,4 mg/L
Cloreto (mg/L)	2,580	16,810	4,670	6,610	250 mg/L
Nitrito (mg/L)	0,550	<0,01	<0,01	<0,01	1 mg/L
Nitrato (mg/L)	1,700	3,370	1,680	1,040	10 mg/L
Sulfato (mg/L)	0,760	3,490	1,320	2,230	250 mg/L

ND = Teor do elemento abaixo do limite de detecção da técnica utilizada.

NE = Limite não estabelecido pelo CONAMA 357/05 para a Classe 2.

Em vermelho: Valores acima dos limites estabelecidos pelo CONAMA 357/05 para a Classe 2.

Sombreado: Maior teor encontrado para o elemento, considerando-se todos os pontos amostrados.

Os valores da Tabela 1 (coleta de abril de 2005) indicam que os parâmetros pH, Mn, Fe, Al e B apresentaram-se, ao menos em um ponto de amostragem, em inconformidade com os limites estabelecidos pelo CONAMA 357/05 para a Classe 2, destacando o Mn, Al e B, cujos valores extrapolaram os permitidos pela legislação, principalmente no ponto 2A. Este ponto de amostragem foi o que apresentou os maiores teores em relação à maioria dos parâmetros analisados. Este fato pode ser justificado pela contribuição que recebe de uma região da área de estudo onde predominam parcelas com cultivos. Desta forma, periodicamente são aplicados fertilizantes que atingem os corpos d'água no momento das chuvas, aumentando os teores dos nutrientes na água.

O ponto 1A foi o que apresentou menores teores quanto aos parâmetros analisados, visto que se trata de um trecho do córrego Pito Acesso, a montante da propriedade estudada, cuja área de contribuição não tem ocupação antrópica há muitos anos. Na Tabela 1 apenas o Al apresentou-se inconforme também no ponto 1A. No caso da coleta de setembro (Tabela 2), nenhum parâmetro analisado apresentou-se em inconformidade com a legislação adotada. Já a Tabela 3 mostra que no mês de outubro novamente o Mn e o Al, assim como Fe, apresentaram teores acima do permitido pela legislação, sendo mais elevados nos pontos 2A (abaixo das parcelas com cultivos) e 3A (exutório da área estudada). Este fato provavelmente ocorreu porque as amostras foram coletadas após uma chuva intensa, que traz para os cursos d'água elementos presentes nos solos provindos de fontes naturais ou antrópicas.

Com relação ao Mn, pode-se dizer que este está presente em pesticidas aplicados nas culturas e por isto aparece com teores mais elevados nos pontos que recebem contribuição das parcelas com cultivos ou na confluência da área de estudo (região mais baixa). Segundo a CETESB (2006), o manganês raramente atinge concentrações de 1 mg.L^{-1} em águas superficiais naturais e, normalmente, está presente em quantidades de $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$ ou menos e geralmente encontra-se associado ao ferro, estando presente em alguns fertilizantes e pesticidas. Já no caso do Al todos os pontos estavam em inconformidade, apresentando o ponto 2A maior teor nas coletas de abril e outubro de 2005. Ainda de acordo com a CETESB (2006), o aumento da

concentração de alumínio está associado também com o período das chuvas e, portanto, com a alta turbidez, visto que é um elemento naturalmente encontrado nos solos, pois é constituinte mineral das argilas. Já o B, que se apresentou em inconformidade apenas em abril de 2005, pode estar relacionado à aplicação de algum fertilizante, também por ter apresentado teor maior no ponto 2A.

Quanto aos parâmetros que avaliam a entrada de materiais sólidos provindos dos processos erosivos e de áreas descobertas, destaca-se o Total de Sólidos em Suspensão (TSS), que tanto visualmente quanto numericamente foi bem representativo. Observa-se na coleta de abril que os filtros utilizados para a filtragem da amostra 1A e 1AR (réplica), por exemplo, retiveram pouquíssimo material em suspensão (3,2 e 0 mg.L⁻¹, respectivamente), indicando que se trata de uma água com pouca contribuição de fontes de poluição, tanto pontual como difusa. Já os filtros utilizados para fazer a filtragem da amostra 2A e 2AR retiveram muito mais material em suspensão (41,6 e 58,8 mg.L⁻¹, respectivamente), em destaque na Figura 5. Estes dados mostram que a região de parcelas de culturas que contribui diretamente para o ponto 2A está exportando partículas de solo e argila até o curso d'água em questão, pelo fato do solo ficar mais exposto e mais suscetível a processos erosivos, visto que na área não há práticas conservacionistas, como o plantio direto, o cultivo em nível, cordões vegetados, entre outros. Esta hipótese pode ser confirmada ao longo do monitoramento, uma vez que observou-se que este ponto 2A apresentou teores mais elevados para o TSS em todas as coletas conforme mostra a Figura 6, com destaque para o mês de outubro, quando a coleta foi realizada após uma chuva intensa.

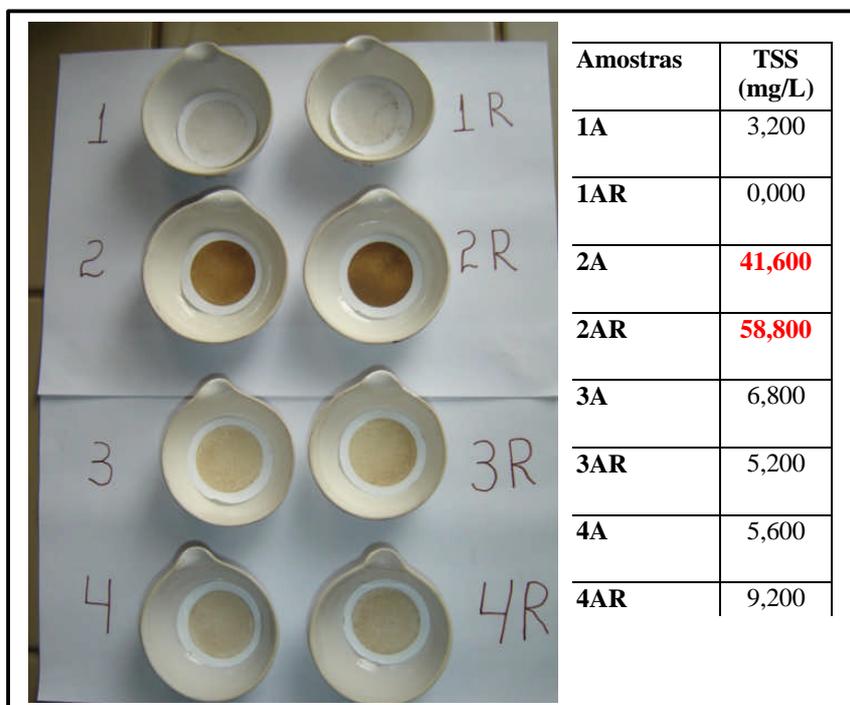


Fig. 5. Filtros tipo *Glass Fiber* 0,45mm com o total de sólidos em suspensão, referentes aos pontos de amostragem de água e suas réplicas.

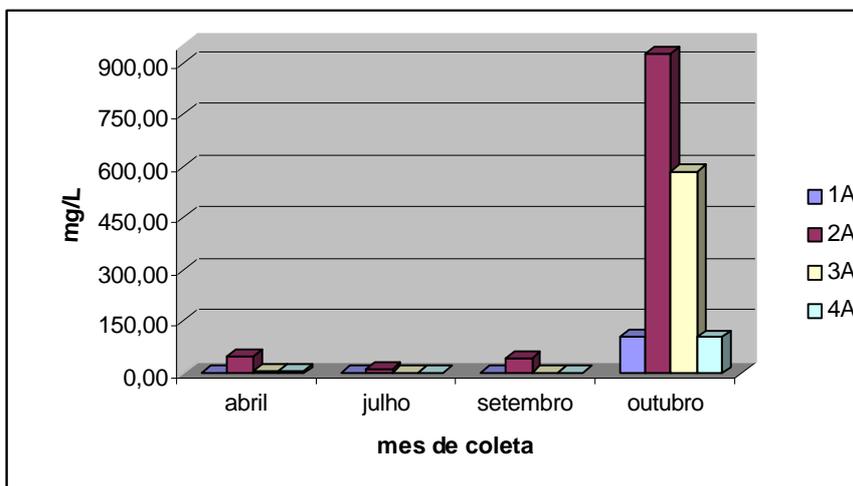


Fig. 6. Total de Sólidos Suspensos (TSS) nos diferentes pontos de coleta ao longo do monitoramento.

5.2. Monitoramento de parâmetros de qualidade do solo

5.2.1. Indicadores físicos

O solo apresenta textura franco-arenosa, predominando a fração areia (Areia grossa + Areia fina). Os resultados médios dos blocos são apresentados na Tabela 5. Com relação a posição na encosta: terço superior, médio e inferior (blocos), não houve diferença expressiva.

Avaliando a textura com o aumento da profundidade os resultados indicam que não houveram diferenças expressivas entre as profundidades, indicando homogeneidade dessa propriedade ao longo da posição na encosta para as profundidades estudadas. Comparando os sistemas de uso e manejo, observa-se que possivelmente não há efeito expressivo desses sobre a textura. Assim, observa-se, que a textura não foi influenciada pelos sistemas de uso e manejo do solo. Portanto, a textura não constituiu para esse solo e condição de manejo um indicador sensível da qualidade do solo. Apesar disso, a mesma é importante para caracterização do solo e entendimento do seu comportamento em resposta aos sistemas de uso e manejo do solo, bem como para a compreensão da dinâmica de água no solo.

Tabela 5 - Textura do solo e relação silte/argila considerando o uso.

Manejo	Profundidade m	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila	Silte/Argila %
		g/kg				
Café	0-0,05	489	123	195	193	1,02
Café	0,05-0,10	498	119	183	200	0,92
Café	0,10-0,20	511	117	179	193	0,95
Café	0,20-0,30	513	119	181	187	0,99
Banana	0-0,05	459	114	217	210	1,03
Banana	0,05-0,10	463	115	229	193	1,21
Banana	0,10-0,20	471	99	223	207	1,08
Banana	0,20-0,30	493	92	202	213	0,95

Obs: Os valores das frações texturais são média de três repetições (terço superior, terço médio e terço inferior da encosta).

Avaliando os índices de agregação (Tabela 6) e comparando pousio, cultivos e mata, observou-se que os índices de estabilidade de agregados foram sensíveis a esse manejo, e verificou-se a seguinte ordem de valores para os índices de agregação (DMP, DMG, IEA): Mata > Pousio > Cultivos (PRADO et al. 2005). A agregação do solo medida pelos índices de agregação, respondeu à intensidade de uso do solo. Quanto menor a intensidade de uso (Mata < Pousio < Cultivos), maior é a estabilidade de agregados, devido ao menor revolvimento do solo. Além disso, em geral no uso com mata e pousio, os valores de matéria orgânica são mais elevados, favorecendo a agregação do solo. Assim, a estabilidade de agregados constitui-se em um bom indicador físico de qualidade do solo para avaliar a sustentabilidade de sistemas de manejo, considerando-se a classe de solo estudada (Cambissolo). Observou-se também que o DMP e o IEA variaram com o tipo de sistema de uso e manejo de solo, sendo sensível não só para mostrar diferenças na estabilidade entre os grupos de sistemas de uso e manejo, mas também foi sensível a diferenças entre os cultivos. Ressalta-se que este é um indicador que envolve determinações de fácil mensuração e baixo custo. Seria interessante posteriormente avaliarmos a forma em que o poro se apresenta, para compreendermos melhor a dinâmica de água no solo, bem como monitorarmos a sustentabilidade do sistema de manejo.

Tabela 6 - Índices de agregação do solo considerando o uso.

Manejo	DMP	DMG	IEA
	mm	mm	%
Banana	3,62	1,26	87,80
Café	2,65	1,16	78,61
Cultivo1	1,84	1,09	59,33
Média	2,71	1,17	75,28
Pousio 3 anos	4,41	1,15	83,29
Pousio 5 anos	8,75	1,34	93,26
Média	6,58	1,24	88,27
Mata 150	9,31	1,31	94,16
Mata 15	9,63	1,39	97,17
Mata 30	9,14	1,35	92,96
Média	9,36	1,35	94,76

DMP: Diâmetro médio ponderado, DMG: Diâmetro médio Geométrico, IEA: Índice de estabilidade de agregados. Obs: Os valores de DMP, DMG e IEA são médios de três repetições. Fonte: Prado et al. (2005).

Os valores da condutividade hidráulica saturada de campo (Tabela 7), em geral foram inferiores se comparados com outros solos arenosos. Isto está relacionado a maior heterogeneidade de tamanhos de partícula nesse solo, apresentando uma distribuição mais equilibrada de areia grossa e areia fina. Em geral, os solos tropicais apresentam uma proporção expressiva de areia grossa e baixa proporção de areia fina. Esta heterogeneidade leva ao ajuste de partículas no solo, reduzindo o volume de macroporos, e assim, diminuindo o fluxo de água.

Com relação ao efeito da posição na encosta, os resultados sugerem que não há diferença expressiva entre os terço inferior, médio e superior, uma vez que os sistemas de uso são bastante conservacionistas, não havendo remoções expressivas do solo superficial.

Tabela 7 - Condutividade hidráulica saturada no campo considerando o uso do solo e a posição na encosta.

Manejo	Terço da Parcela	Profundidade	Condutividade Hidráulica
		m	cm/h
Café	Inferior	0-0,12	19,88
Café	Inferior	0,12-0,22	4,66
Café	Inferior	0,22-0,32	2,06
Café	Médio	0-0,12	19,15
Café	Médio	0,12-0,22	6,59
Café	Médio	22-32	2,12
Café	Superior	0-0,12	18,64
Café	Superior	0,12-0,22	5,36
Café	Superior	0,22-0,32	2,21
Banana	Inferior	0-0,12	17,56
Banana	Inferior	0,12-0,22	15,93
Banana	Inferior	0,22-0,32	16,94
Banana	Médio	0-0,12	17,77
Banana	Médio	0,12-0,22	16,32
Banana	Médio	0,22-0,32	15,38
Banana	Superior	0-0,12	18,09
Banana	Superior	0,12-0,22	15,25
Banana	Superior	0,22-0,32	14,23

Avaliando os resultados em cada uso e manejo e, considerando as profundidades estudadas, observou-se que, em geral, a condutividade hidráulica saturada no campo diminuiu com o aumento da profundidade. Isto pode estar relacionado ao maior teor de argila das duas últimas profundidades, em relação a primeira que é mais arenosa. Deve-se considerar ainda, que, não havia chovido há cerca de uma semana antes das análises, levando as camadas mais profundas do solo a apresentarem um maior teor de água, o que diminui a condutividade hidráulica.

Avaliando o efeito do uso do solo, os valores de condutividade hidráulica não diferiram na profundidade de 0-0,12 m, e para as profundidades de 0,12-0,22 e 0,22-0,32 m foram menores para o cultivo com café em relação ao cultivo com banana. O maior valor de condutividade hidráulica saturada nas profundidades de 0,12-22 m e 0,22-0,32 m está relacionado ao tipo de sistema radicular da bananeira, onde as raízes são em geral, mais grossas que as do café e quando morrem formam bioporos maiores do que na área de café. Além disso, na banana foi observado maior presença de minhocas, que levam a formação desses poros, contribuindo assim, para uma maior condutividade hidráulica saturada. Estes resultados sugerem que a condutividade hidráulica foi um indicador de qualidade do solo sensível não só ao manejo, mas também a cultura, particularmente a diferença no tipo de sistema radicular.

5.3. Análise integrada de indicadores de solo e água

Na Figura 2, apresentada anteriormente, foi possível observar que a área de estudo apresenta declives acentuados, além de verificar o posicionamento das parcelas de perda de solo e dos pontos de amostragem de água. O grupo 1 é composto por parcelas de cultivos perenes e anuais sob manejo convencional, sendo considerado como situação potencialmente mais impactante à qualidade de água; o grupo 2 é composto por parcelas que permaneceram sob pousio durante a maior parte do período analisado, sendo considerada uma situação intermediária. Já o grupo 3 é composto por parcelas com maior nível de preservação (mata 15, 30 e 150 anos).

A figura 7 ilustra parte destes diferentes grupos e os locais onde se encontram os pontos de amostragem de água. O grupo 1 encontra-se muito próximo ao ponto 2A e contribui diretamente para o mesmo, apesar de que este ponto recebe a contribuição de outras parcelas que não foram amostradas, mas também com predomínio de cultivo. O grupo 2 encontra-se mais próximo ao ponto 4A, contribuindo para o mesmo. Entretanto, este ponto recebe contribuição de uma parcela do grupo 3, além de outras parcelas não amostradas, que incluem áreas sob cultivo, mas com predomínio de áreas sob pousio em diversos estágios sucessionais. Finalmente o ponto 1A encontra-se isento da contribuição de áreas sob cultivo e por isto apresentou melhor qualidade da água.

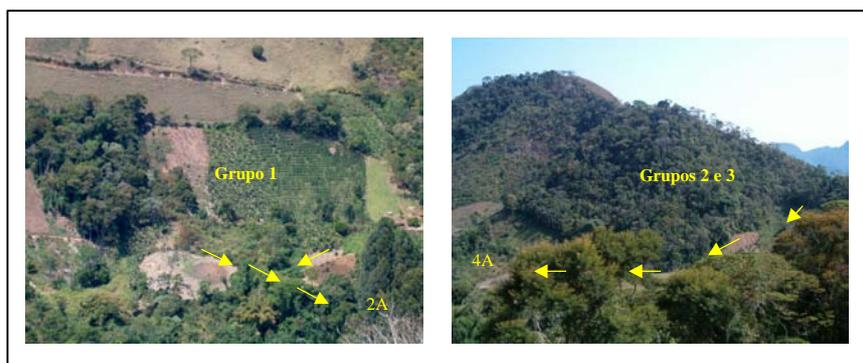


Fig. 7. Localização dos grupos de parcelas de perda de solo 1 e 3 e pontos de amostragem de água 2A e 4A (As setas indicam o caminho preferencial da água na paisagem).

Ao comparar os resultados dos parâmetros de qualidade de solo da Tabela 8 com os de qualidade de água da Tabela 9, pode-se observar que alguns parâmetros (em destaque) estão relacionados. Por exemplo, a média do V% que se refere à saturação por bases (incluindo Ca, Mg e K) apresentou maior valor no grupo 1 em relação ao grupo 2 e também estes elementos apresentaram teores mais elevados na água no ponto 2A, sendo importante destacar que estes nutrientes são aplicados nas culturas (grupo 1), por meio da adubação.

Os parâmetros de qualidade de solo relacionados à agregação (DMP e IEA) apresentaram teores menos expressivos e, portanto, menor agregação do solo, maior escoamento superficial e maior perda por erosão no grupo 1

(menor cobertura vegetal que o grupo 2 – parcelas com culturas). Os resultados relacionam-se aos parâmetros de qualidade água que indicam presença de sólidos na água (TSS, Si, Turbidez), cujos teores foram maiores no ponto 2A, devido a contribuição do grupo 1A.

Tabela 8 - Médias dos parâmetros de qualidade de solo por agrupamento.

Grupos	Indicadores de fertilidade do solo					Indicadores de agregação do solo		
	K	P	% V	Carb	Nitrogênio	DMP	DMG	IEA
Grupo 1	270,142	63,055	0,644	16,651	1,924	2,706	1,174	75,278
Grupo 2	276,370	40,775	0,628	16,944	2,128	6,583	1,244	88,272

Tabela 9: Teores de alguns parâmetros de qualidade de água para o ponto 2A e 4A.

Pontos água	Indicadores da composição química da água										Indicadores de sólidos na água		
	Ca	Mg	K	Na	Mn	Fe	Zn	B	Al	Nitrato	TSS	Si	Turbidez
2A	2,560	1,070	0,993	1,820	0,256	0,246	0,014	2,360	1,670	0,313	50,200	5,430	15
4A	2,500	0,599	0,520	1,900	0,046	0,213	0,010	1,680	0,213	0,000	7,400	4,750	5

Solos com maiores teores de carbono e nitrogênio totais, e com atividade biológica otimizada em função do desenvolvimento vegetal biodiverso e da recuperação da diversidade microbiana, tendem a apresentar níveis de agregação e porosidade superiores, o que resulta potencialmente em menores perdas por erosão e redução de aportes de nutrientes para as águas superficiais, conforme verificado nos dados apresentados.

6. Conclusões e recomendações

- Os resultados obtidos com o monitoramento da qualidade da água demonstraram que a área de estudo não apresenta grandes problemas, uma vez que na maioria das vezes os teores obtidos encontram-se em conformidade com a resolução CONAMA 357, para a classe 2. Porém, os resultados mostraram que em termos de perda de solos (TSS) e de alguns nutrientes como Al, Mn, Fe e B, o ponto de coleta de água abaixo da área mais cultivada vem apresentando teores mais elevados que os outros pontos.

- Os índices de agregação DMP e IEA e a condutividade hidráulica saturada no campo variam com o sistemas de uso e manejo.
- A condutividade hidráulica saturada mostrou-se boa indicadora de qualidade de solo em resposta aos sistemas de uso e manejo.
- Recomenda-se o DMP e o IEA e a condutividade hidráulica saturada de campo como indicadores físicos de qualidade do solo.
- A textura do solo mostrou-se mais importante como informação de caracterização do solo do que como indicador de qualidade de solo.
- Análises integradas de qualidade do solo e da água são mais facilmente interpretadas quando a forma e estrutura da paisagem, incluindo a espacialização do mosaico formado pelos diferentes usos e cobertura vegetal é considerada. O sistema de agricultura migratória analisado produz uma paisagem com uma dinâmica de uso muito complexa, onde co-existem áreas preservadas, com áreas sob cultivo com sinais de perda de nutrientes e degradação, e outras em estágio intermediário, representadas pelos pousios que recondicionam o solo, através do aporte de matéria orgânica, e recuperação de suas propriedades físicas e biológicas.
- A avaliação integrada dos parâmetros da qualidade do solo e da água, assim como as observações em campo, alertam para o fato de que é importante introduzir neste sistema agrícola técnicas de manejo do solo mais conservacionistas, como por exemplo, o plantio direto e em nível, assim como redução da aplicação de fertilizantes e pesticidas, reduzindo custos e preservando o meio ambiente e a saúde humana.
- Recomenda-se que em estudos futuros, na fase de integração de indicadores de qualidade de solo e de água, as amostragens de solo e água sejam realizadas concomitantemente. Em acréscimo devem-se aplicar métodos de análise estatística multivariada.

- O trabalho de integração de indicadores vai ser continuado para finalmente se selecionar e definir um conjunto de indicadores integridade de qualidade solo e água para caracterização e monitoramento da qualidade ambiental de microbacias.

7. Agradecimentos

Ao Programa de Apoio a Núcleos de Excelência (Pronex, MCT/FAPERJ), através do Projeto “Geotecnia Aplicada à Avaliação, Prevenção e Remediação de Problemas Ambientais”, coordenado pelo Prof. Tácio Mauro P. Campos, da Faculdade de Engenharia Civil da PUC Rio. Ao Sr. Antônio Izaltino Tardin Sandre por ter permitido o desenvolvimento deste estudo em sua propriedade sediada em Bom Jardim – RJ. Ao técnico de campo Alexandre Sandre pelo auxílio na obtenção dos dados em campo e ao Sr. Carlos César e Martina do Espaço de Convivência Morgenlicht por facilitarem o desenvolvimento dos trabalhos. À Embrapa Solos pela infra-estrutura nos trabalhos de campo e análises laboratoriais e à Embrapa Agrobiologia, coordenadora do projeto “Manejo agroflorestal para recuperação de áreas degradadas vis-a-vis seqüestro de carbono, armazenamento de água no solo, valoração econômica e ambiental” (Prodetab 036-01/99).

8. Referências bibliográficas

ABOIM, M. C. R. **Impacto à diversidade bacteriana e sua relação com indicadores de qualidade do solo em ecossistemas agrícolas e naturais de mata atlântica, na região serrana do Rio de Janeiro**. 2004. 112 p. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia Vegetal) - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. Orientadores: Heitor L. C. Coutinho e Alexandre S. Rosado.

ALLAN, J. D. Landscapes and riverscapes: the influence of land use on stream ecosystems. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, Palo Alto, v. 35, p. 257-284, Dec. 2004.

APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 19th ed. Washington, DC: American Public Health Association, 1995. 1.134 p. Edição conjunta com a American Water Works Association e a Water Environment Federation. Editado por Andrew D. Eaton, Lenore S. Clesceri, e Arnold E. Greenberg.

ARSHAD, M. A.; MARTIN, S. Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 88, n. 2, p. 153-160, Feb. 2002.

BREZONIK, P. L.; EASTER, K. W.; HATCH, L.; MULLA, D.; PERRY, J. Management of diffuse pollution in agricultural watersheds: lessons from the Minnesota River Basin. **Water Science and Technology**, London, v. 39, n. 12, p. 323-330, 1999.

CETESB. **Parâmetros de Qualidade**. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/rios/parametros.htm>>. Acesso em: 8 jan. 2006.

DORAN, J. W. e PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STAWART, B. A. (Ed.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p.3-21.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997. 212 p.

KEMPER, W. D.; ROSENAU, R. C.. Aggregate stability and size distribution. In Klute, A. (Ed.). **Methods of soil analysis: part I - physical and mineralogical methods**. Madison: Soil Science Society of America, 1986. p. 425-442. (ASA. Agronomy, 9).

KIRA, T.; SAZANAMI, H. Utilização de recursos hídricos e problemas de gerenciamento de lagos. In: HASHIMOTO, M. (Ed.). **Diretrizes para o gerenciamento de lagos**. Otsu: ILEC, 1995. v. 2, p. 6.

LEFROY, R. D. B.; BECHSTEDT, H. D.; RAIS, M. Indicators for sustainable land management based on farmer surveys in Vietnam, Indonesia, and Thailand. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 81, n. 2, p. 137-146, 31 october 2000.

LOAGUE K.; CORWIN, D. L.; ELLSWORTH, T. R. The challenge of predicting nonpoint source pollution. **Environmental Science & Technology News & Research Notes**, v. 32, n.3, p. 130A-133A, Mar.1998.

PEREIRA FILHO, W. **Influência dos diferentes tipos de uso da terra em bacias hidrográficas sobre sistemas aquáticos da margem esquerda do reservatório de Tucuruí – Pará**. 2000. 138 p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo.

PRADO, R. B.; COUTINHO, H. L. C.; BARBOSA, J. C.; ABOIM, M. C. R.; PEREZ, P. R. N.; ANDRADE, A. G.; LEITE, A .S.; DART, R. O. Indicadores de qualidade de solo e água na avaliação da dinâmica de nutrientes na paisagem: subsídios para gestão de bacias hidrográficas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 16., 2005, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: Unius Multimídia Ltda., 2005. p. 21.

SOILMOISTURE. **Guelph permeameter – operating instructions**. Santa Bárbara, 1991. 27 p.

SPERLING, E. V. Qualidade da água em atividades de mineração. In: DIAS, L. E.; MELLO, J. W. V. (Ed.). **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1998. p. 95-105.

THORNTON, W. K. Perspectives on reservoir limnology. In: THORNTON, W. K.; KIMMEL, B. L.; PAYNE, F. E. **Reservoir limnology: ecological perspectives**. J. Wiley, 1990. p. 1-13.

TUFFORD, D. L.; MCKELLAR JUNIOR, H. N.; HUSSEY, J. R. In-stream nonpoint source nutrient prediction with land-use proximity and seasonality. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 27, n. 1, Jan./Feb. 1998.

Embrapa

Solos